نشأة وتكوين وهجرة

النفـــط

د. عبد العاطي أحمد الصادق

يتحقق تجمع النفط بكميات تجارية عند توفر عناصر أساس تبدأ بمرحلة النشأة والتكوين التي تشتمل على صخور المصدر وتوليد النفط ونضجه ، ثم مرحلة الهجرة الأولية والثانوية ، وأخيراً مرحلة التجمع وتشمل عناصر ثلاثة هي صخور السقف (المحابس) ، وهي صخور غير مُنفِذَة تمنع تسرب البترول رأسياً إلى سطح الأرض ، والمصائد وهي تراكيب مغلقة مناسبة لاصطياد النفط المهاجر وحبسه بداخلها ، وأخيراً المكامن وهي صخور ذات مسامية فعالة ونفاذية عالية مثل الصخور الرملية والجيرية .

ويوضح شكل (١) العوامل المذكورة لتجمع النفط والغاز مرتبة حسب المعلومات المتاحة والترتيب المنطقي .

نشأة وتكوين النفط

إن نشأة وتكوين وهجرة النفط موضوع شائك ويكتنفه الغموض في كثير من جوانبه خاصة أن النفط سائل لا يطيب له الإستقرار في مكان نشأته ، بل يهاجر ويستقر به المقام فى مكان آخر ، وقد تعددت الآراء حول طريقة تكوين النفط وإنتهت إلى نظريتى النشأة غير العضوية والنشأة العضوية .

● النشأة غير العضوية

تمثل هذه النظرية مجموعة آراء قديمة منها الإعتماد على تجارب معملية حاولت أن تصطنع الظروف الحقلية لتكوين النفط ، حيث أمكن الحصول على مواد هيدروكربونية بوساطة عمليات كيميائية أساسها تفاعل الماء الساخن مع كربيدات المعادن ، وكذلك الاعتماد على عدة ظواهر طبعية منها وجود كميات من غازات الهيدروكربونات في الأجزاء المحيطة بالأرض والكواكب الأخرى ، وأيضاً خروج غازات هيدروكربونية مع البراكين مما أدى إلى إحتمال أن يكون البترول أصل فضائي أو أصل بركاني أو أصل صهيري .

● النشأة العضوية

إعتمدت نظريات النشأة العضوية على العديد من الشواهد التي تدل على أن النفط نشأ من مواد عضوية من أصل نباتي أو حيواني ، وتتمثل هذه الشواهد في التالي :-

١ ـ إكتشاف معظم التجمعات النفطية (٩٩٪) في الصخور الرسوبية ، وفي الحالات النادرة يمكن وجود النفط في صخور القاعدة المركبة أو الصخور النارية والمتحولة حيث يكون هذا النفط قد هاجر إلى هذه الصخور من الصخور الرسوبية المجاورة .

٢ ـ وجود المركبات النيتروجينية (الأزوتية) واليورفين في النفط والتي توجد فقط في خلايا الكائنات العضوية فقط سواء أكانت حيوانية أم نباتية .

٣ ـ تميز النفط بخاصية النشاط الضوئي التي تكاد تنفرد بها المواد العضوية .

ليس هنالك تأكيد قاطع على نوع الكائنات العضوية التي كونت النفط ، إذ أن التغييرات العديدة التي تتعرض لها هذه الكائنات من وقت موتها حتى تحولها إلى نفط كفيلة بأن تمحو كل الآثار الدالة للتعرف عليها ، ولكن التفكير المنطقي وكثير من الشواهد تدل على أن المواد العضوية المترسبة مع الطين هي المصدر الذي نشأ منه النفط ، لذلك يوجد عدد من المعايير التي يجب أن تطبق لتقييم صخور المصدر من حيث إمكان وجود النفط ونوعيته ، ومن هذه المعايير مايلي : ـ

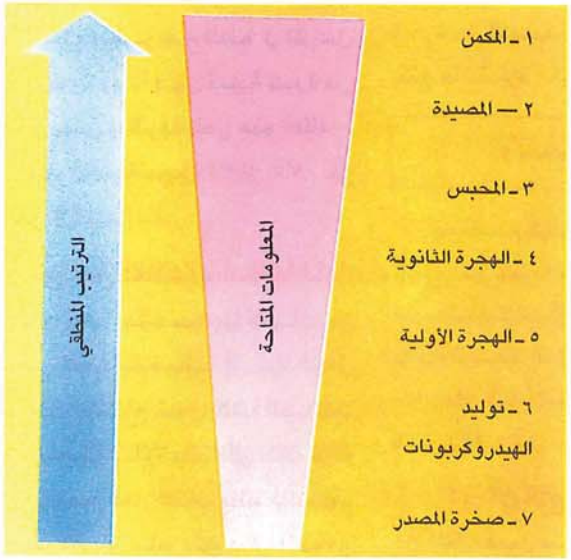
١ ـ أن يكون صخر المصدر غنياً بالمواد العضوية ، ويعد الحد الأدنى للكربون العضوي في صخرة المصدر ٠,٥ ٪ بالنسبة للصخور الفتاتية و ٠,٤ ٪ للصخور الجيرية .

٢ ـ نوع المواد العضوية الموجودة في صخر المصدر إذ أن إختلافها سواء أكانت نباتية أم حيوانية تتحكم فى نوعية النفط .

٣ ـ مستوى توليد ونضخ الهيدروكربونات .

٤ ـ كفاءة طرد الهيدروكربونات المولدة والناضجة .

وتعد صخور الطين الصفحي ذات أهمية كبيرة فى تكوين صخور المصدر لأن قابليتها لإنفاذ السوائل النفطية قليلة ولذلك فهي تحفظ هذه السوائل من الأكسدة ، أما الصخورالرملية والجيرية فقد تكون صخور مصدر للنفط بجانب



● شكل (١) العوامل الهامة لتجمع النفط والغاز (Magara, 1986) .

كونها أهم مكامن له .

توجد صخور المصدر التي تحتوي مادة عضوية كافية لتوليد النفط في بيئة ترسيبية مختزلة تساعد على تفسخ وتحلل المواد العضوية ، ولكن بجانب ذلك فإن إكمال عملية تحول المادة العضوية إلى نفط تحتاج إلى وجود عدة عوامل مثل الحرارة والضغط العاليين ، تأثير البكتيريا ، الأكسدة الجزئية ، تأثير النشاط الإشعاعي بجانب تأثير بعض التفاعلات بالحفز حيث تعمل بعض المحفزات (Catalysts) مثل مركبات الفناديوم والنيكل على تنشيط التفاعلات التي تحدث عند درجات حرارة منخفضة .

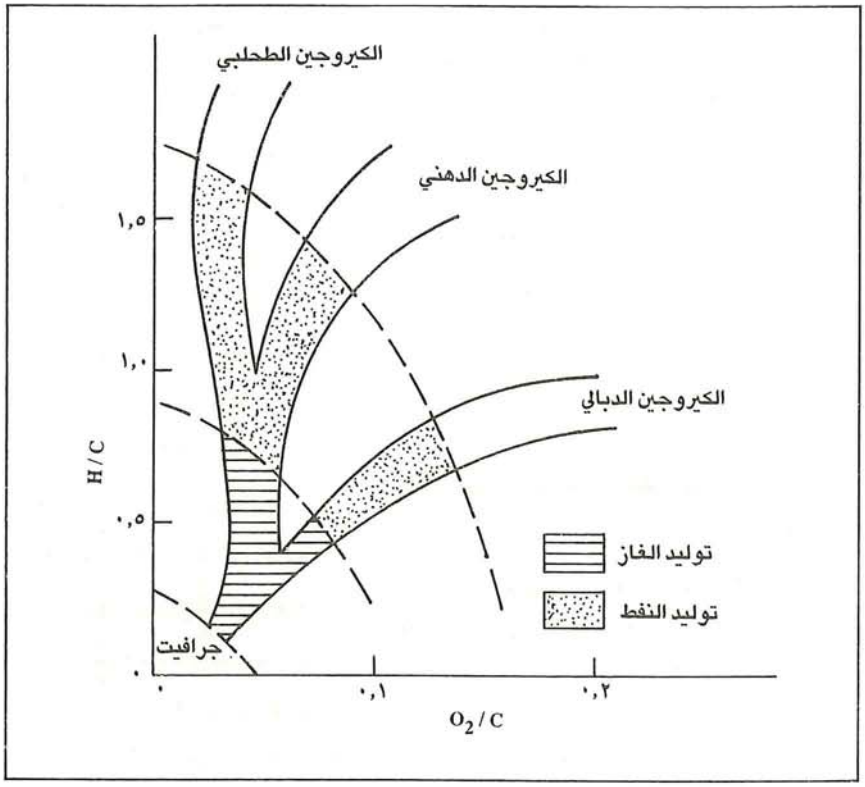
● تأثير الطمر على المادة العضوية

تتعرض المواد المترسبة في حوض رسوبي إلى ازدياد في الحرارة والضغط بازدياد عمق الطمر مع الزمن ، وقد تم التعرف على المراحل الرئيسة التى تمر بها المادة العضوية إستجابة لتأثير الطمر وذلك كما يلي : -

١- مرحلة النشأة البينتكوينية (Diagenesis) : وتبدأ في عمق تحت سطحي ضحل عند درجة حرارة وضغط عاديين ، وتشتمل على تحلل للمواد العضوية بفعل البكتيريا يترتب عليه إطلاق غازي الميثان وثاني أكسيد الكربون وتبقى فضلات هيدروكربونية معقدة أطلق عليها اسم الكيروجين ، وتكون المحصلة الرئيسة لهذا الطور نقص في أكسجين المادة العضوية مع نسبة ثابتة للهيدروجين إلى الكربون .

٢- مرحلة النشأة الوسيطة (Catagenesis) : وتحدث في عمق أكبر من سابقه بإستمرار الطمر وإزدياد درجة الحرارة والضغط ، وعندها يتحرر النفط من الكيروجين أولاً ، ثم يعقبه الغاز ، وتنخفض نسبة الهيدروجين إلى الكربون مع تغير طفيف في نسبة الأكسجين إلى الكربون .

٣- مرحلة النشأة التحويلية (Metagenesis) : وتحدث عند درجة حرارة وضغط عاليين



● شكل (٢) مسارات نضج أنواع الكيروجين الثلاثة (سيلي ١٩٨٥م) .

ينشأ عنهما تحول بطرد آخر نواتج الهيدروكربونات التي غالباً ماتكون في شكل غاز الميثان ، وفيها تنخفض نسبة الهيدروجين إلى الكربون حتى يبقى الكربون فقط على هيئة جرافيت .

● الكيروجين

يطلق اسم الكيروجين على مادة هيدوركربونية صلبة توجد متناثرة في الكثير من أنواع الطين الصفحي (صخور المصدر) ولاتذوب في مذيبات النفط العادية ، لذا فإن هذه الخاصية تميزها عن القار (Bitumen) ، ويتكون الكيروجين كيميائياً من الكربون ، الهيدروجين ، الأكسجين مع كميات ضئيلة من النيتروجين والكبريت . وهناك ثلاثة أنواع من الكيروجين هي :-

* **النوع الأول (Type I) :** وهو طحلبي (Algal) ينتج عنه تكوين النفط .

* **النوع الثاني (Type II) :** وهو شحمي (Lipitinic) ينتج عنه خليط من النفط والغاز .

* **النوع الثالث (Type III) :** وهو دبالي (Humic) ينتج عنه تكوين الغاز .

يعتمد نضج الكيروجين أساساً على درجة الحرارة ولمدى أقل على الزمن ، فعند درجات حرارة تتراوح مابين ٦٠ إلى ١٢٠°م يتولد عنه نفط ، أما الغاز فيتولد عند درجات حرارة تتراوح مابين ١٢٠ إلى ٢٢٥°م ، لذا نجد أن الكيروجين يصل مرحلة النضج عند طور النشأة الوسيطة . أما في مرحلة ما بعد النضج فإن النفط والغاز ينعدمان . ويوضح شكل (٢) المسارات الثلاثة لنضج الكيروجين .

هجرة النفط

تشير كثير من الشواهد بأن النفط والغاز لم يتكونا في الصخور التي وجدا فيها ، لذا يجب أن يكونا قد هاجرا إلى هذه الصخور من مكان آخر ، ومن الشواهد التي تدل على هجرة النفط والغاز ما يلي : -

١ ـ تميز صخور المكمن بالمسامية والنفاذية التي لا تلائم حفظ المادة العضوية التي يتكون منها النفط إذ أن هذه المادة يمكن أن تتلف بفعل الأكسدة (تعرضها للهواء) الناتجة عن نفاذية صخور المكمن ، ولذا لابد من طمرها بطبقات سميكة من الرسوبيات الناعمة وحفظها من الأكسدة ، وعليه فإن النفط المتولد عن هذه المواد لابد أن يكون قد هاجر من بيئة مختزلة (بيئة صخور المصدر) إلى صخور المكمن .

٢ـ وجود الرشوحات النفطية يؤكد حركة النفط من أماكن عميقة إلى سطح الأرض.

٣ـ وجود النفط في بعض الحالات النادرة في صخور القاعدة المركبة والصخورالنارية والمتحولة ، إذ أنه من المستحيل أن يكون النفط قد تكَّون محلياً في هذه الصخور لعدم تواجد كائنات عضوية بها .

٤ـ تواجد النفط والغاز في الطبقات العليا للمصائد التركيبية أو الطبقية وهذا دليل آخر على الهجرة الرأسية والجانبية .

٥ـ تواجد النفط والغاز والماء في صخور المكمن المسامية والمنفذة في ترتيب طبقي (Stratified) تحكمه فروقات الثقل النوعي لهذه المواد (غاز ، نفط ثم ماء في الأسفل) يدل على أن هذه المواد كانت ولازالت تتمتع بحرية الحركة التي تمكنها من الهجرة رأسياً وجانبياً .

أنـــوع الهجـــرة

تم التمييز بين نوعين رئيسين من الهجرة هما ، الهجرة الأولية والهجرة الثانوية ، تعرف الهجرة الأولية بأنها حركة الهيدروكربونات من صخور المصدر إلى صخور المكمن ، أما الهجرة الثانوية فهي هجرته مرة ثانية خلال صخور المكمن .

● الهجـرة الأوليـــة

تلعب عدة عوامل دوراً رئيساً في الهجرة الأولية للنفط من بينها عوامل الضغط ، تأثير الخاصية الشعرية (Capillarity) التيارات المائية (على اختلاف مصادر الماء) تغير حجم المسام ، إضافة إلى أنواع الغازات وأحجامها ، وبناء على ذلك فقد اقترحت عدة نظريات للهجرة الأولية للنفط ، وقد صنَّف سيلي(Selley) عام ١٩٨٥م تلك النظريات كما يلي :ـ

أولاً : الهجرة في هيئة نفط أولي

تشكل خاصية عدم ذوبان الهيدروكربونات في الماء إحدى المشاكل المعقدة في فهم الهجرة الأولية للنفط ، لذا ُح أن تكون الهجرة الأولية للنفط قد تمت قبل أن تنضج هذه الهيدروكربونات لتعطي نفطاً خاماً ، وهذا يعني أن هجرتها تمت عند طور إنتقالي على هيئة نفط أولي (Proto Oil) يتكون من مركبات قابلة للذوبان في الماء وتشمل الكيتونات (Ketones) الأحماض (Acids) والإسترات (Esters) .

الجدير بالذكر أنه من الصعب قبول الكيفية التي هاجرت بها هذه المركبات إلى صخور المكمن ثم انفصلت عن الماء عند وصولها إلى هناك. ذلك لأن هذه المركبات تمتلك خاصية الإمتزاز (Adsorption) بأسطح معادن الصلصال مما يؤدي إلى صعوبة إنفكاكها عنه وطردها من صخور المصدر ثم هجرتها .

وإذا سلمنا جدلاً أن هذه المركبات يمكن أن تهاجر في هيئتها هذه إلى صخور المكمن ، فإنه يصعب تخيل الطريقة التي تتطور بها لتعطى نفطاً خاماً غير قابل للامتزاج (Immecible) في الماء .

ثانياً : الهجرة في هيئة محلول مائي

من الطرق التي تتبادر للذهن والتي تستحق الاهتمام هجرة الهيدروكربونات من صخور المصدر بعد أن اكتمل نضجها على شكل نفط خام وهي ذائبة في الماء ، ورغم أن قابلية ذوبان الهيدروكربونات تكاد تكون معدومة على سطح الأرض ، إلا أن هناك عددا من النظريات تفترض أن إرتفاع درجات الحرارة ووجود المسيلات (Micelles) قد تجعل ذوبانها فى الماء ممكناً ، ومن تلك النظريات ما يلي : ـ

* **نظرية النفط الحار** : دلت التجارب علي أن قابلية ذوبان الهيدروكربونات في الماء لاتصبح ذات مغزى إلا عند درجة حرارة ١٥٠°م . وأن الدرجة المثلى لتوليد النفط هي ١٢٠°م ، غير أن المعلومات المستقاة من التجارب أوضحت أن قابلية ذوبان النفط في الماء عند درجة حرارة ١٥٠°م تتراوح مابين ١٠ إلى ٢٠ جزء في المليون . وهي نسبة ذوبان قليلة جداً لتفسير الهجرة على هذا الشكل .

من جانب آخر أشارت تجارب أخرى إلى تزايد نسبة ذوبان الهيدروكربونات في الماء مع تناقص أعداد الكربون وذلك بالنسبة للبرافينات والسلسلة العطرية ، حيث تكون المركبات الغازية (عدد ذرات كربون أقل) مثل غازات البرافين ذات نسبة ذوبان في الماء أعلى بكثير (عدة آلاف مليجرام /لتر) مقارنة بالهيدروكربونات السائلة والصلبة التى لا تذوب .

وعليه تقترح نظرية النفط الحار أن النفط قد هاجر في هيئة غازية إلى صخور المكمن وذاب في ماء المسام . غير إن هذا الإفتراض لايقدم تفسيراً متكاملاً لهجرة النفط إذ أن أجزاء كبيرة من مكونات النفط مثل الكينات لا تذوب في الماء .

الجدير بالذكر أنه رغم ذلك تبنى الكثيرون نظرية هجرة النفط وهوذائب في الماء على إفتراض أن قابلة الذوبان تزداد إزدياداً ملحوظاً في حالة الهيدروكربونات

المتعرضة للضغط في ماء مالح وكذلك في حالة وجود الغازات .

* **نظرية المسيلات :** الطريقة الأخرى التي تؤدى إلى زيادة قابلية ذوبان الهيدروكربونات في الماء هي وجود المسيلات (Micelles) . وهي أحماض عضوية صابونية غروية (Colloidal) ، أحد طرفي جزيئاتها غير قابل للذوبان في الماء (hydrophobic) ، والآخر يذوب فيه (hydrophilic) ، وعليه يكون لوجودها تأثيراً فاعلاً في زيادة قابلية ذوبان الهيدروكربونات في الماء ، ويتمثل الاعتراض الرئيس على هذه النظرية في ضرورة وجود نسبة كبيرة من المسيلات في الهيدروكربونات ، الأمر الذي يختلف عن الواقع إذ أنها توجد بنسبة ضئيلة جداً . زد على ذلك أن حجم جزيئات المسيلات أكبر من قطر فتحات مسامات صخور المصدر الطينية .

* **نظرية الغازات :** اهتمت هذه النظرية بالدور الذي يمكن أن تلعبه الغازات حيث أن لها دوران أساسيان هما :-

* قد تكون الغازات عوامل محفزة أو تلعب دور الوسط الناقل للهيدروكربونات ، ومن ذلك مثلا أن يكون لغاز غاز ثاني أكسيد الكربون تأثيراً مباشراً بإتحاده مع أيونات الكالسيوم مؤدياً إلى ترسيب كربونات الكالسيوم التي تسبب سمنتة كلسية (Calcite Cement) تؤدي بدورها إلى إنخفاض حجم المسام مسببة ارتفاع ضغطها إرتفاعاً ملحوظاً مما يساعد على خروج وطرد النفط منها ، إضافة لذلك فإن وجود غاز ثاني أكسيد الكربون يساعد على خفض لزوجة النفط ، وهذا بالطبع يزيد حركته وهجرته .

* تحمل غازات الهيدروكربونات في الآبار العميقة النفط في محلول غازي سرعان ما يتكثف إلى نفط بانخفاض الضغط ودرجات الحرارة وذلك أثناء صعود هذه الغازات نحو سطح الأرض ، لذا فإنه من الممكن أن يكون النفط قد هاجر بهذه الطريقة من صخور المصدر ، وعليه يمكن أن تقدم هذه الآلية (Mechanism) تفسيراً مقبولاً للهجرة الثانوية للمكتشفات خلال صخور المكمن ولكنها لاتقدم تفسيراً مقبولاً للهجرة الأولية للنفط الخام .

ثالثاً : الهجرة في هيئة نفط طليق

أشارت هذه النظرية إلى أن النفط لم يهاجر من صخور المصدر في أي من المحاليل المذكورة سابقا ، ولكن بدلاً عن ذلك تمت هجرته على هيئة نفطية منفصلة (Discrete Oil Phase) ، وفي هذه الحالة فإن هجرة النفط قد تكون إما في هيئة جزيئات كروية في الماء (Globules of Oil) وإما في هيئة متصلة ثلاثية الأبعاد . وقد أوضحت العمليات الحسابية إستبعاد هجرة النفط في هيئة جزيئات كروية وذلك لأن قطر هذه الجزيئات أكبر من قطر فتحات مسام صخر المصدر ، لذا يصعب جداً على مثل هذه الجزيئات الكروية أن تخرج من خلال فتحة مسام صخور المصدر سواء عن طريق التعويمية (عدم الامتزاجية) أو عن طريق تدفق الماء . عليه يبقى الإحتمال الوحيد لهجرة النفط تبعاً لمفهوم هذه النظرية هو هجرته في هيئة متصلة ثلاثية الأبعاد ، وفي هذه الحالة فإن صخور المصدر عندما تكون غنية بالمواد العضوية فإنها تكون مبللة بالنفط (Oil -Wet) بدلاً أن تكون مبللة بالماء (Water wet) ، ويساعد مثل هذا الوضع في هجرة النفط على حالة متصلة ثلاثية الأبعاد بدلاً من هجرته في هيئة جزيئات كروية .

أطلق على هذا النظرية اسم الفتيلة الشمعية (Greasy Wick) قياساً على تحرك الشمع الذائب خلال خيط الفتيلة الشمعية ، ومن الواضح أن مثل هذه الآلية مناسبة عندما تكون صخور المصدر غنية جداً بالمواد العضوية .

[قُحت حديثاً نظرية هجرة الهيدروكربونات الأولية عن طريق الإنتشار على طول شبكة الكيروجين ، إذ أن تكوين شبكة من الشقوق الرفيعة يهيء الفرصة إلى إنصهار جزيئات كبيرة من الكيروجين التى كانت موجودة من قبل مكونة بذلك جدائل رقيقة . تمثل شبكة خيوط الكيروجين هذه حالات منفصلة لجدائل متصلة من الكيروجين ، وعندما تصبح الشبكة كلها متصلة وثلاثية الأبعاد فإن النفط أو الغاز أو محلول كل منهما في الآخر سيهاجر عن طريق الإنتشار على طول هذه الشبكة في إتجاه ميل الضغط .

خاتمة

يمثل فهم الهجرة الأولية للنفط إحدى المشاكل في علم جيولوجيا النفط . إذ لم تقدم أي من النظريات المقترحة الأدلة الدامغة والمقنعة لتحوز على رضاء الباحثين في حقل النفط . كما أنه من الصعب حقاً أن نرفض أي من هذه النظريات لكل الظروف ، إضافة لذلك فإنه من غير المحتمل أن تقدم آلية هجرة النفط في هيئة ثلاثية منفصلة تفسيراً معقولاً لكل الحالات نسبة لمجموعة من المتغيرات من بينها : عدم تشابه صخور المصدر ، حالة الضغط والحرارة في مرحلة التوليد ، تيسر وجود كل من الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون و الغازات غير المصاحبة بجانب ذلك تبرز مشكلة معرفة الوقت الذي بدأت فيه الهجرة .

يناصر بعض الباحثين طرد وهجرة النفط في محلول مائي ، وأن دفق الماء من الصلصال المحكم والمدمج يلعب دوراً مناسباً في الهجرة الأولية ، بينما يرى آخرون أن نظرية الانتشار على طول خيوط شبكة الكيروجين هي أكثر النظريات إقناعاً وذلك لعدم اعتمادها على محلول . حقاً أن موضوع الهجرة الأولية شائك ومعقد لذا نرجو من الله أن تؤتي الأبحاث النشطة في هذا المجال أكلها ويماط اللثام عن كل الغموض الذي يكتنفه .