



Petroleum Geology

جيولوجيا البترول

المحاضرة الثالثة

Dr. M. Riad ALGHAZZI
SPU-2019/2020



2-3- الغازات الهيدروكربونية، وأهم الغازات غير الهيدروكربونية في المكامن:

2-3-1- الغازات الهيدروكربونية:

2-3-1-1- الميتان :

يشكل الميتان الجزء الرئيس من الغازات الطبيعية في المكامن، حيث تزيد نسبته في معظم الأحيان عن 90%， ويمكن أن تصل إلى أكثر من 99%， والميتان غاز عديم اللون، ذو رائحة خفيفة جداً، وهو أخف من الهواء بكثير، ويتميز بثبات حراري كبير، حيث لا تقل الحرارة اللازمة لتفكه عن 600 م°، وبطاقة حرارية عالية تصل إلى ما يقارب 9000 كالوري/المتر المكعب، أي أكثر بحوالي 2.5 مرة من الفحم الحجري.

يعد كل غاز الميتان الموجود في المكامن تقريباً من أصل حراري، وذلك لأن الغاز المتشكل تحت تأثير البكتيريا يتشكل بالقرب من السطح، حيث لا توجد صخور غطاء قادرة على حمايته من الهروب.

يتشكل الميتان المبكر من التحجر البكتيري، أو من إرجاع ثاني أكسيد الكربون



* ٢-٣-٢- الaitan : C₂H₆

الaitan هو عبارة عن غاز عديم اللون، أثقل من الهواء، حيث يساوي المتر المكعب منه في الظروف النموذجية من الضغط والحرارة 1.270 كغ، وهو يرافق الميتان عادةً في الخزانات، ولا يوجد في الطبيعة لوحده بشكل نقي، يمكن أن تصل طاقته الحرارية إلى 15751 كالوري/المتر المكعب.



3-1-3- البروبان :C₃H₈

هو عبارة عن غاز عديم اللون، أثقل من الهواء، حيث يزن المتر المكعب منه في الظروف النموذجية من الضغط ، والحرارة 1.967 كغ، وهو أحد المرافقات الأكيدة لمكامن النفط، تصل طاقته الحرارية إلى 22.425 كالوري/المتر المكعب.

3-1-3-4- الايزوبوتان :C₄H₁₀

هو غاز هيدروكربيوني كثافته أعلى من كثافة الهواء بمرتين، ولا يتواجد في الطبيعة كغاز إلا في الضغوط الطبيعية، والحرارة الأعلى من +0.6 °م، وهو يصادف فقط في الغازات المرافقة للنفط، لذلك فإنه يعد أحد المؤشرات على علاقة النفط بالغاز.



2-3-2- الغازات غير الهيدروكربونية: 2-3-2-1- ثاني أكسيد الكربون CO_2 :

هو غاز عديم اللون ، ذو رائحة خفيفة جداً، أثقل من الهواء بحوالى مرة ونصف، ذو احلالية عالية في الماء، لذلك غالباً ما يتواجد في الطبيعة محلولاً بالمياه، وهو يتميز بثبات حراري عالي، حيث لا يتفكك إلى الأكسجين، والكربون إلا في درجات الحرارة التي تزيد عن 2000 م°.

يرافق غاز ثاني أكسيد الكربون غالباً الغازات الهيدروكربونية، ويقدر وسطيّه في المكامن بشكل عام بحوالى 6-7% ، ويمكن أن يصل في أحيانٍ قليلة إلى 35% ، لكن هناك بعض الحالات المعروفة، التي يمكن أن تصل كمية ثاني أكسيد الكربون فيها إلى نسبٍ مرتفعة جداً، كما في حقل ميهاوي في هنغاريا، الذي يحتوي على 95% من ثاني أكسيد الكربون، و 4.5% من الميتان؛



ويعود سبب هذا التوزع الشاذ لثاني أكسيد الكربون في المكامن إلى عدة عوامل، أهمها:

- 1-القدرة التفاعلية العالية لثاني أكسيد الكربون.
- 2-انحلاليته العالية في سوائل التشكيلة: إن انحلالية في الماء في الشروط النظامية من الضغط، والحرارة، هي حجم من إلى حجم من أي نسبة ، وتصبح هذه الانحلالية عند الضغط ، الذي يعادل عمق قدم حوالي ، وفي نفس الضغط يكون المعدل الحجمي لانحلال في النفط، ذو الكثافة الأمريكية 40° API حوالي 170/1 .



3- تعدد المصادر: حيث توجد ثلاثة مصادر رئيسة لثاني أكسيد الكربون، واحد منها عضوي، والاثنان الآخران لا عضويان، وهذه المصادر هي:

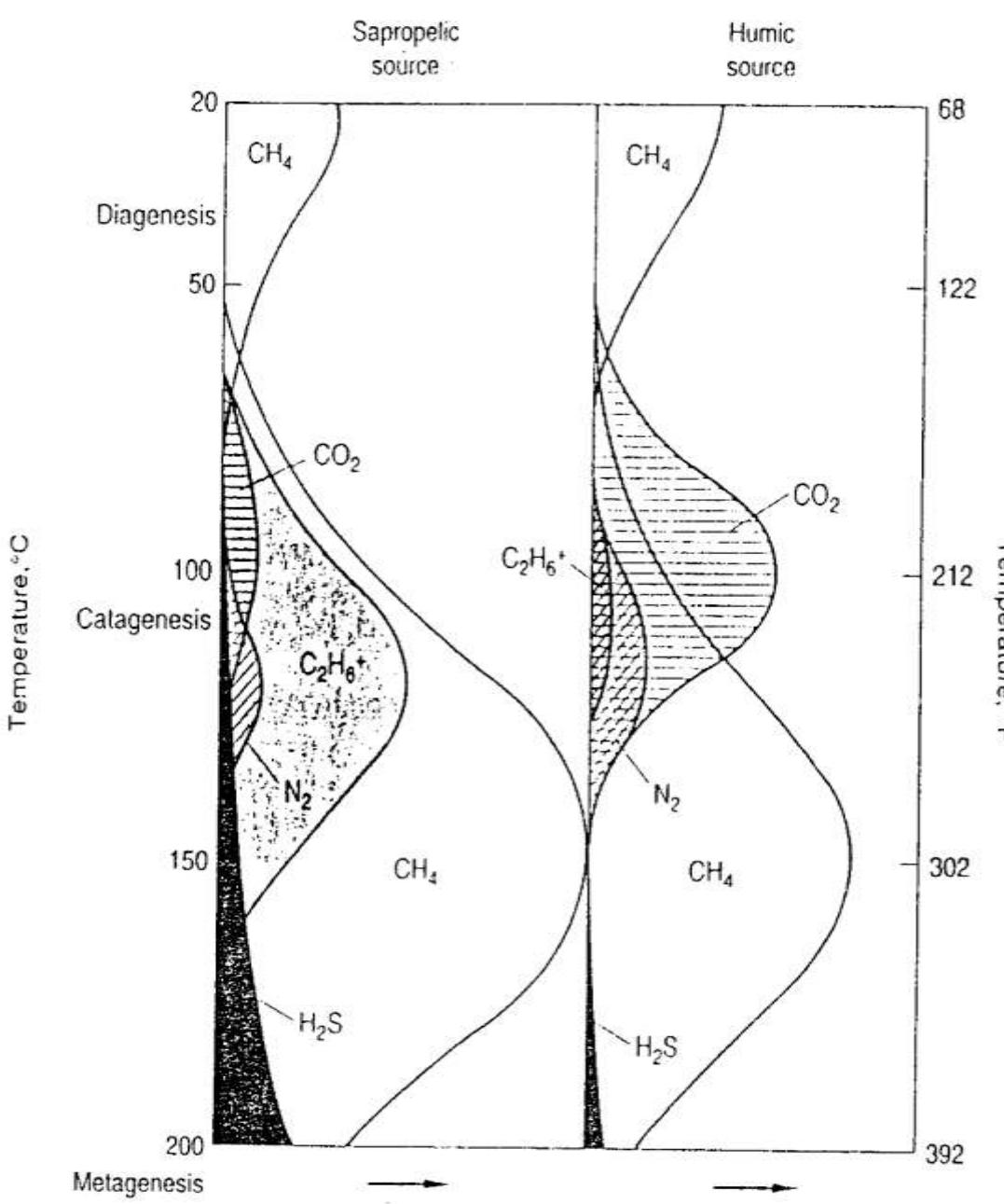
أ- التفكك الحراري للمادة العضوية، الذي يحدث أثناء الدياجينيز، والكاتاجينيز، وغالباً ما ينتهي في نهاية النافذة النفطية.

تشكل **المواد الهيومية القارية**، كما هو واضح من الشكل: المصدر الرئيس لثاني أكسيد الكربون عضوي المنشأ، فيمكن لكتلتين كيلوغراماً واحداً من الفحم أن ينتج أثناء نضجه من مرحلة اللجنبيت، إلى الانتراسيت أكثر من 75 لتراً من CO_2 .

يميل CO_2 ذو المصدر العضوي لأن يسيطر خلال، وقبل النافذة النفطية، بينما تسيطر المصادر غير العضوية في الأعمق الأكبر.

ب- التفاعل بين الكاولينيت، والكربونات لإنتاج الكلوريت،

ج- الفعالية البركانية: يؤدي احتراق الماغما ذات درجات الحرارة العالية للصخور الكربوناتية إلى تفكك هذه الصخور، وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون، الذي يهاجر من مكان نشأته حتى يتم اصطياده في أقرب مصيدة.



الشكل: تشكل المواد العضوية الهيومية التولد النسبي لغازات المختلفة من المواد العضوية في الرسوبيات ناعمة الحبية.

1. **المواد العضوية السابروبيلية:** هي نواتج تفكك، وبلمرة المواد العضوية الغنية بالليبيدات، والأبوااغ، والاشنیات البلانكتونية، التي توضعت في الأوحال تحت المائية، كالبحار، والبحيرات، تحت سيطرة ظروف غير هوائية.

2. **المواد العضوية الهيومية (الدبارالية):** هي نواتج تفكك، وبلمرة اللقين، وجدران الخلايا النباتية، بالإضافة إلى المواد العضوية الغنية بالكربون، والتي توضعت في المستنقعات، والتراب، تحت ظروف هوائية، أو نقص جزئي بالأوكسيجين.



Catagenesis is a term used in petroleum geology to describe the cracking process which results in the conversion of organic kerogens into hydrocarbons

METAGENESIS: This is the beginning of metamorphism, whereby the already formed and accumulated petroleum evaporates or known as burnt and therefore of no use to us. Diagenesis, Catagenesis and **Metagenesis** is the various stages of hydrocarbon maturation

Diagenesis, sum of all processes, chiefly chemical, by which changes in a sediment are brought about after its deposition but before its final lithification (conversion to rock)



2-3-2- غاز الكبريت الهيدروجين H_2S :

إن الكبريت الهيدروجين هو غاز ذو رائحة غير محببة، ينحل في الماء بسهولة، وهو غاز مميت، حيث يمكن أن يؤدي تركيز 1% منه في الهواء إلى الاختناق ، والموت، وهناك كثير من الحوادث، التي مات فيها حفارون بسبب تسربات هذا الغاز، فقد أدى على سبيل المثال تسرب H_2S من مركز معالجة الغاز على بعد حوالي 130 ميل من شمال شرق مدينة المكسيك إلى مقتل 22 شخص، بالإضافة إلى عدد كبير من المصابين.

لا تتجاوز نسبة H_2S في الغاز الطبيعي 5-6%， وهي غالباً أقل من ذلك، لكنها يمكن أن تصل في حالات نادرة إلى أكثر من 20%.

تؤدي القدرة التفاعلية العالية لكبريت الهيدروجين إلى تحول كمية كبيرة منه في الرسوبيات إلى الكبريت الحر ، ومعادن سولفیدية، أو مركبات عضوية كبريتية؛ وتتوارد معظم تراكمات هذا الغاز في أعماق كبيرة، وذلك لأن H_2S المتشكل في أعماق قليلة يتفاعل بـكامله تقريباً، أو أنه ينحل في الماء.



يمكن أن يكون غاز الكبريت الهيدروجين الموجود تحت السطح قد تشكل من مصدر عضوي، أو أن يكون ذا أصل غير عضوي، حيث يتمثل المصدر العضوي بالتفكك الحراري للنفط، وتحول حوالي نصف كمية الكبريت الموجودة فيه إلى الكبريت الهيدروجين، وبتفكك المادة العضوية، حيث يؤدي التكسر الحراري للبنيات العضوية الحاوية على الكبريت إلى تشكيل H_2S ، حيث تتشكل النسبة العظمى بهذه الطريقة في درجات الحرارة الأعلى من 021°C (تحديداً من المادة العضوية المبعثرة)؛ ويمكن لكبريت الهيدروجين أن يتشكل أيضاً من إرجاع الكبريتات في المياه السامة.



يؤدي وجود الحديد في الرسوبيات إلى إزالة H_2S على شكل بيريت ، هذا وإن معدل وجود الحديد في الشيل إلى معدل وجوده في الكربونات هو حوالي ، ومعدله في الصخور الرملية إلى معدله في الكربونات هو حوالي 12/1 ، أي أن كمية H_2S التي يمكن أن تتحول إلى كبريت الحديد في الشيل هي أكبر بحوالي 12 مرة من تلك التي يمكن أن تتحول في الكربونات، بالإضافة إلى ذلك فإن هناك كمية أكبر من الكبريت الأولى في الكيروجين البحري، والسوائل المسامية، خلال ترسب الكربونات، بالمقارنة مع الكيروجين غير البحري، والسوائل خلال ترسب المواد الحطامية، لذلك نجد أنه من الشائع وجود H_2S بشكل خاص في الصخور الكلسية وخاصة العميقة، والقديمة منها.



2-3-3- النتروجين:

النيتروجين غاز عديم اللون، والرائحة، وتقدر نسبته الوسطية في الغازات الطبيعية غالباً بين 2 و 3% ، لكن تصادف بعض الحالات ، التي تصل فيها نسبته إلى أكثر من 50%، حتى أنه يمكن مصادفة بعض المكامن التي تحتوي على نيتروجين بشكل نقى تقريباً، ويمكن للنيتروجين أن يوجد بكميات هامة في الغازات المرافقة لمكامن الفحم ، والغازات المذابة في النفط، والمياه الطبقية، وكذلك في الصخور البلورية. أما بالنسبة لأهم مصادر النيتروجين فهي:

- 1- تفكك المادة العضوية المبعثرة.
- 2- نضج الفحم.
- 3- أكسدة الأمونيا NH_3 ، حيث تتأكسد معظم الأمونيا المذابة في المياه المسامية خلال تماستها مع أكاسيد المعادن الثقيلة، أو المياه الجوية الحاوية على الأكسيجين، منتجة النيتروجين، لذلك نجد أن كثيراً من الغازات الحاوية على النيتروجين ترتبط بالأسرة الحمراء.
- 4- صعود الغازات من المعطف.
- 5- من مصدر جوي.



2-3-2-4- الهيدروجين :

يعد الهيدروجين أحد المركبات الشائعة في كثيرٍ من آبار الغاز، والمياه تحت السطحية، لكن الحركية العالية، والقدرة التفاعلية الكبيرة اللتين يتميز بهما الهيدروجين تجعله غير قادر على البقاء بشكل دائم في المصائد النفطية، لذلك فإن وجوده يمكن أن يشير إلى وجود نشاط لتفاعلات منتجة للهيدروجين ضمن الخزان، أو إلى وجود طبقات مصدرية مجاورة، أو أنه ينتشر نحو الأعلى من مصادر في الأعماق.

يلاحظ الهيدروجين بشكل حر، أو بشكل منحل في الغازات، لكن نادراً ما تزيد نسبته في الغازات الهيدروكرbone عن 3%.

يمكن للهيدروجين أن يتشكل عن طريق التفكك الكيميائي، والكيميائي الإشعاعي للمياه في الصخور الرسوبية، ويمكنه أيضاً أن يتشكل في الصخور المغماتية، والمحولة في الركيزة، وينتقل منها إلى الصخور الرسوبية.



2-3-2-5- الهليوم:

يتميز الهليوم بقطر فعال صغير جداً (0.2nm)، وهو أصغر من القطر الفعال لكل من الهيدروجين (0.32nm)، والنيتروجين، وثاني أكسيد الكربون، والميتان، مما يجعله ذا قدرة حركية كبيرة مميزة، ويهاجر خلال الصخور الرسوبيّة بسهولة أكبر بكثير من بقية الغازات الأخرى، وقليلة جداً هي الصخور المغطية التي تستطيع أن تمنع الهليوم من الهرب، لذلك فإن وجوده في الخزانات يشير إلى تيار من مصدر نشط.



2-4- أَهم الصِّفَاتُ الْفِيَزِيَائِيَّةُ - الْكِيمِيَائِيَّةُ لِلْغَازَاتِ:

تعكس خواص الغازات ظروف وجودها، وتدعي دوراً هاماً في شروط تشكل تراكماتها، ومن أهم هذه الخواص:

2-4-1- انحلالية الغازات:

تبعد انحلالية الغازات في الضغوط غير الكبيرة (حتى $5MPa$) قانون هنري ، الذي يقول بأن كمية الغازات المنحلة تتناسب طردياً مع الضغط ، ومعامل الانحلالية، وتتعدد هذه العلاقة في حالة الضغوط المرتفعة، وعندما يكون الغاز مختلطًا.

قانون هنري : هو أحد قوانين الغازات وضعه وليام هنري عام 1803. وينص القانون على: "في درجة الحرارة الثابتة، تتناسب كمية معلومة من الغاز الذائب في سائل معلوم النوع والحجم طردياً مع الضغط الجزيئي لذلك الغاز الطافي فوق السائل". بعبارة أخرى، ينص القانون على أن انحلالية غاز في سائل تتناسب طردياً مع الضغط الجزيئي للغاز فوق السائل.



تتعلق احلالية الغازات في المياه بكل من الحرارة، الضغط، التركيب المعدني للمياه، وبتركيب الغاز نفسه، حيث تنخفض الانحلالية مع ارتفاع الحرارة، وارتفاع الملوحة، وارتفاع الوزن الجزيئي للغازات، بينما تزداد مع ارتفاع الضغط.

يعد الميتان أكثر الغازات الهيدروكربونية قدرةً على الانحلال، حيث يمكن أن تصل كميته المذابة في المياه عند الضغوط الكبيرة إلى عدة أمتار مكعبة في اللتر الواحد، أما قيمة احلال الغازات الهيدروكربونية في المواد الهيدروكربونية السائلة فهي مرتفعة جداً.



٤-٢- الكثافة:

يعبر عن كثافة الغازات عادةً بكتلة متر مكعب واحد من الغاز في درجة الصفر مئوية، وضغط جوي واحد، ويعبر عنها عادة بالغرام/سم³ ، وتستخدم في التطبيقات العملية الكثافة النسبية للغازات، التي هي عبارة عن كتلة واحدة الحجم من الغاز إلى كتلة نفس الحجم من الهواء في الدرجة صفر مئوية، وضغط جوي واحد، وتتناسب كثافة الغازات مع وزنها الجزيئي.

٤-٣- درجة الانضغاط:

تتميز الغازات بالمقارنة مع كل من النفط، والماء بقابلية انضغاطها العالية، وتعد هذه الميزة من الخواص الهامة جداً للغازات، فيملاً الغاز في العمق 1220م، وتحت الضغط الهيدروستاتيكي النظامي حوالي 1% فقط من الفراغات التي يحتلها على السطح، وإذا كان لدينا خزانان غازيان لهما نفس الحجم، لكن أحدهما على عمق 2000 قدم والآخر على عمق 10000 قدم، فإن الأخير يمكن أن يحتوي بسبب القدرة الانضغاطية العالية للغازات على كمية من الغاز تعادل خمسة أضعاف الكمية، التي يمكن أن يحتويها الخزان الأول.



2-4-4- الحرارة، والضغط الحرجان:

يتحكم كل من الحرارة، والضغط في إمكانية وجود الغاز تحت السطح، وتعرف الحرارة الحرجة على أنها الحرارة التي لا يمكن أعلى منها للغاز أن يتحول إلى الحالة السائلة، وذلك مهما رفينا قيمة الضغط؛ أما الضغط الحرج فهو ذلك الضغط اللازم لتكلف الغاز عند درجة الحرارة الحرجة، ومن الجدير ذكره أنه لا يمكن للغازات التالية أن توجد في الحالة السائلة في شروط الغطاء الرسوبي الأرضي، وهي: الميتان، الهيدروجين، الأكسيجين، النيتروجين، الهواء، والغازات النادرة؛ بينما يمكن للبروبان، والبوتان أن يتحولا بسهولة إلى سائل، ويمكن لكل من كبريت الهيدروجين، وثاني أكسيد الكربون أن يوجد أحياناً بالحالة السائلة، لهذا فإنه لا يمكن لمزيج يتكون على سبيل المثال من النيتروجين، والميتان أن يوجد، إن كان ذلك في المكامن، أو على السطح إلا بالحالة الغازية، وبالتالي لا يمكن لهما أن يشكلا منظومة من طورين سائل، وغاز.



2-4-5- الانتشار:

يمكن للغازات عملياً أن تنتشر (تنتشر) في جميع الأوساط (في السوائل، كال المياه، وفي الغازات الأخرى، كالهواء، وفي الأجسام الصلبة).

يتبع انتشار الغازات قانون فيك، الذي يقول بأن الانتشار يحدث باتجاه انخفاض تركيز المواد.

يتعلق معامل انتشار أي غاز من الغازات بكل من صفات هذا الغاز وتركيزه من جهة، وبصفات الوسط الذي ينتشر فيه من جهة أخرى، ويتناقص انتشار الغاز مع ازدياد كتلته الجزيئية، لذلك فإن غاز الميثان هو أكثر الغازات الهيدروكرboneية قدرةً على الانتشار.



3- المواد الهيدروكربونية الصلبة:

3-1- الهيدرات الغازية:

الهيدرات الغازية هي عبارة عن مركبات بلورية صيغتها العامة $M_{n.H_2O}$ ، حيث M جزيء مكون الهيدرات و $n \leq 5.67$ ، وهي مواد بلورية صلبة تشبه الثلج، أو الجليد الهش، ولكن شبكتها تمتنز عن الشبكة البلورية العادية بثباتها فوق درجة الصفر مئوية، واحتوايتها على تجاويف (جيوب) داخلية، ذات أبعاد معينة، تمكنها من استيعاب عدد من المركبات كالmethane، والaitane، والبروبان؛ وقد بينت الدراسات أنه يمكن لمكون الهيدرات أن يؤدي إلى وجود شبكة بلورية لنواعين من جزيئات الماء المرتبطة بروابط هيدروجينية، حيث يتكون النوع الأول من 46 جزيء من الماء، ويحتوي على تجاويف تستطيع أن تستوعب حتى ثمانية جزيئات من الميتان، ويمكنها أن تحتوي بالإضافة إلى الميتان على كل من الaitane، وكبريت الهيدروجين، وثاني أكسيد الكربون، أما النوع الثاني فإنه يحتوي على 136 جزيء من الماء، وتجاوزيه أكبر من تجاويف النوع الأول، مما يمكنها من استيعاب البروبان، والايزوپوتان(بينما لا يمكن لكل من البنتان، والبوتان النظمي دخول الشبكة البلورية).

يمكن للشبكة البلورية للهيدرات إذا امتلأت بشكل كامل أن تستوعب في الشروط النظامية 172 متراً مكعباً من الميتان في كل متر مكعب منها ، ولكن في الطبيعة غالباً نجد حوالي 40 متر مكعب من الميتان في المتر المكعب الواحد من الهيدرات. لقد أثارت الهيدرات الغازية اهتمام الجيولوجيين، والمنتجين، وذلك لأن خزان الهيدرات، يستطيع أن يحتوي على كمية من الغاز أكبر بست مرات من الغاز الحر الذي يمكن أن يوجد في نفس الفراغ (لكن عامل الاغتناء يتناقص مع العمق).



تتربب الهيدرات في معظم الأحواض الرسوبيّة في درجات الحرارة بين 21 و 27°C، وذلك لأن الضغط غير كافٍ لحمايتها، ومن جهةٍ أخرى فإنه يمكن لعدد من العمليات في صناعة تكرير النفط، والصناعة البتروكيميائية أن تترافق مع تشكّل هيدرات غازية، مما يؤدي إلى سد الأنابيب، لذلك فإنه يلجأ في مثل هذه الحالات إلى بعض العمليات للحيلولة دون حدوث هذا الأمر، وذلك كرفع الحرارة، أو تخفيض الضغط.

تشكل الهيدرات بشكل رئيس من الغازات البكتيرية في الطين غير المتصلب بالقرب من السطح، الذي يحتوي على 40-50% من الماء، ويمكن لأي ميتان يصل (يهاجر) إلى هذا المكان أن يتحوّل إلى هيدرات، وذلك إذا كانت شروط الحرارة، والضغط مناسبة لذلك، ويستمر تشكّل هذه الهيدرات حتى يصل قاع الكتلة المتبلورة إلى حرارة التفكّك الازمة، حيث يبدأ بالتحول إلى أحوال جلاتينية (Gelatinous ooze).



يمكن أن تكتشف الهيدرات تحت السطح عن طريق السرعة السيسمية الكبيرة (الشاذة)، وعن طريق اختلاف معدل الحفر، حيث لاحظ الحفارون في مشروع حفر قاع البحر العميق DSDP (Deep Sea Drilling Project) انخفاضاً في سرعة الحفر عند الوصول إلى منطقة الهيدرات من متر في الدقيقة الواحدة إلى متر في خمس، أو ست دقائق. ويحدد قاع الهيدرات بشكل دقيق إلى حدٍ ما عن طريق الهبوط الكبير في التسجيلات السيسمية، من حوالي 3 كم/ثانية إلى أقل من 0.5 كم/ثانية.

يمكن لسماكه (قطع) الهيدرات أن تختصر فوق القبب الملحية حتى 50%， وذلك بسبب الموصلية الحرارية العالية للأملالح، وهذا ما يجعل هذه الأماكن مناطق جيدة للبحث عن الغاز الحر.



يعد إنتاج الغاز من الهيدراتات من المشاكل شديدة الصعوبة التي تواجه الراغبين في الاستثمار، وإن تفكير الهيدراتات يعد الطريقة الوحيدة لإنتاج الغاز منها، وتوجد ثلاث طرائق لتفكير هذه الهيدراتات، وإنتاج الغاز منها، وهي إنقاص الضغط، رفع درجة الحرارة، أو إضافة مواد كيميائية (الكحول). لكن المشكلة الرئيسية تكمن في الجدوى الاقتصادية من تطبيق هذه الطرائق، وإن إنتاج الغاز الحر من من الجزء السفلي القريب من قاعدة الهيدراتات هو الوحيد الاقتصادي حتى الآن، وعلى الرغم من اكتشاف الهيدراتات في جميع المحيطات العالمية في الأعماق التي تزيد عن 500 م فإن معظم إنتاج الغاز من حقول الهيدراتات في العالم يتركز في روسيا من الغاز الحر تحت الهيدراتات (معظم هذه الحقول يقع في غرب سiberيا، حيث قمة الهيدراتات من 200 إلى 500 م تحت السطح، بينما يتراوح عمق قاعها بين 400 و 1000 م تحت السطح).

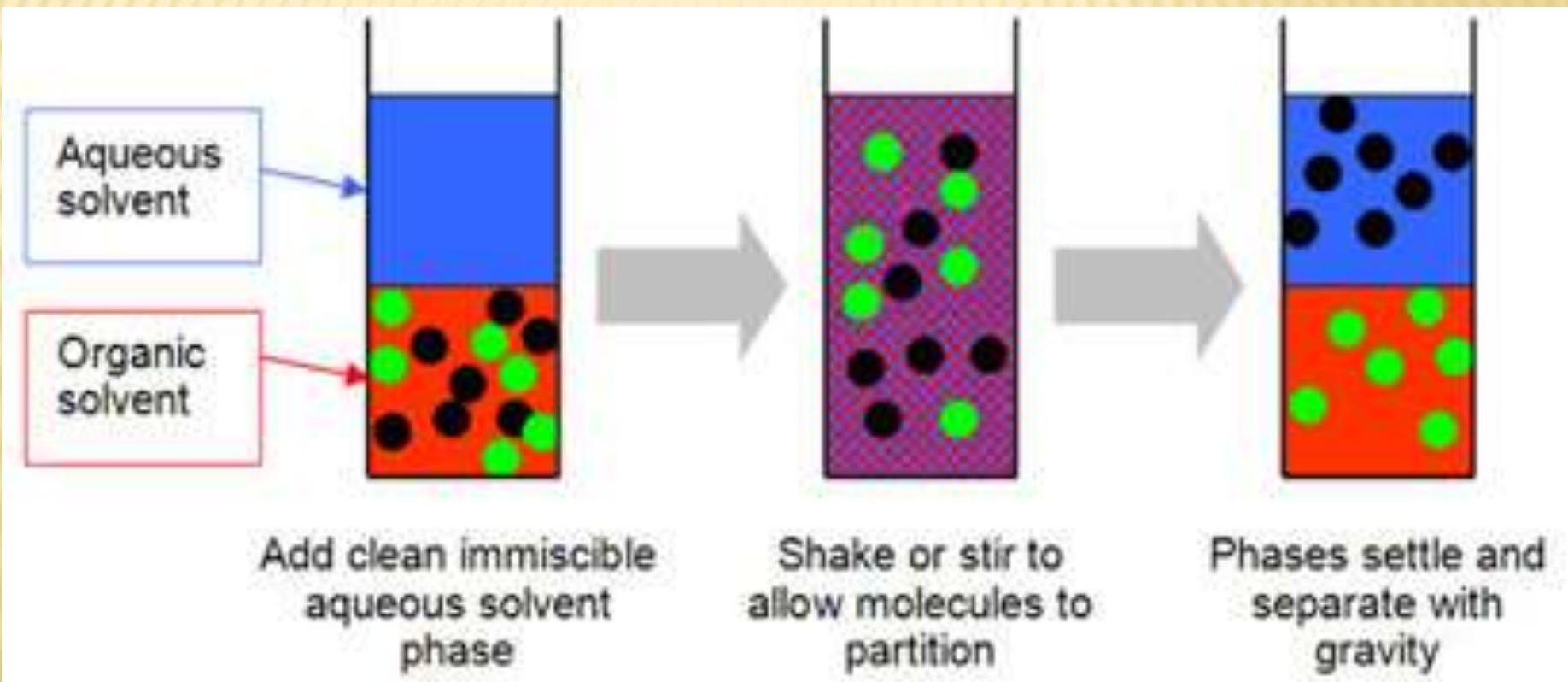


إن الميكان، كما هو معروف أكثر حركيّة من النفط تحت السطح، وذلك بسبب مقاييسه الصغيرة (قطره الفعال nm 0.38)، وبسبب قدرته العالية على الطفو، لذلك فإنه يستطيع اختراق كثير من الصخور، التي تعد صخوراً مغطية فعالة للنفط، لكنه لا يستطيع المرور عبر الهيدرات، التي تعد أفضل الصخور المغطية للتراكمات الغازية، يليها في ذلك المتاخرات، ثم الشيل، لذلك نجد أن الحقول الغازية العملاقة في العالم (30-3 ترليون قدم مكعب من الغاز) مغطاة بصخور الهيدرات الغازية (كما في روسيا)، أو بصخور المتاخرات (كما في الشرق الأوسط).



3-2- المواد البيتومينية الصلبة:

يمكن للبيتومين أن يحتوي على جزء سائل، وآخر صلب، ويمكن فصل الأنواع السابقة عن بعضها (كما في الشكل) عن طريق المذيبات العضوية.



ويمكن أن نميز في المواد البيتومينية الصلبة بين كل من :

Able to optimize heat stability and reduce mixing time necessary to completely blend polymer, Ceranovus™ Polyethylene and Polypropylene Waxes are valuable additives in both SBS (styrene-butadiene-styrene) and APP (atactic polypropylene) modified bitumen roofing systems. Products decrease viscosities at process temperature and minimize bleeding of higher oil formulations through oil scavenging. Synthesized from 100% recycled materials, modifiers are available in pastilles or granules.

3-2-1 الشموع (Waxes) : وهي عبارة عن أنواع من البيتومين، ذات ملمس، وبريق دهنيين، تتكون من سلاسل بارافينية طويلة متبلورة، وتنحل في CS2 بسهولة.





ويمكن أن نميز في المواد البيتومينية الصلبة بين كل من :

3-2-2- الأسفلت Asphalt : هو عبارة عن بيتومينبني قاتم إلى أسود صلب إلى شبه صلب، يتميّع عند تعريضه للحرارة تدريجياً، تتراوح نسبة المنتجات السائلة فيه بين 25 و 50 %، يتكون بشكل رئيس من عنصري الهيدروجين، والكربون، لكنه يحتوي على نسبٍ هامة من النيتروجين، وال الكبريت، والأكسجين، وهو يحتوي على نفط ثقيل، راتنجات، أسفلتينات، وشموع بارافينية ذات أوزان جزيئية عالية، وحرارة انصهاره منخفضة (بين 65 و 95 م°).

3-2-3- الأسفلتيت Asphaltite: هو أيضاً بيتومين صلب، ذو لونبني قاتم إلى أسود، لكن درجة انصهاره مرتفعة، وتتراوح بين 121 و 163 م°، لا ينحل في الماء، لكنه ينحل في المذيبات العضوية، و CS₂، يتكون حتى 15% من المواد الهيدروكربونية السائلة، وحتى أكثر من 75% من الأسفلت-راتنج، وهو يدخل بنسبة كبيرة في تركيب السجيل الزيتي.



3-2-4- الرمال الأسفاتية: هي عبارة عن خلائط أسفاتية طبيعية بنسب متنوعة من حبات الرمال غير المتماسكة، تبلغ نسبة البيتومين الذي يمكن استخلاصه منها حوالي 10%， ويتميز هذا البيتومين باحتوائه على نسب قليلة جداً من المواد الهيدروكرbone المشبعة، والنواتج الخفيفة، بينما تكون نسبة الأسفاتين، ومركبات الأكسيجين، والكبريت، والنيتروجين، مرتفعة.



3-3- السجيل الزيتي :Oil Shale

يعرف السجيل الزيتي على أنه أي صخر يمكن أن ينتج النفط بكميات تجارية خلال التكسير الحراري عند تسخينه لدرجات حرارة عالية ($\sim 500^{\circ}\text{M}$) ، وبالتالي فإن التركيب الفلزوي للسجل الزيتي يمكن أن يكون متنوعاً جداً، فبعض هذه الصخور يتكون من شيل حقيقي تسيطر فيه الفلزات الغضاروية، بينما بعضاً الآخر، كما في شيل الوادي الأخضر (Green River Shale) يتكون بشكلٍ رئيس من صخور كربوناتية، تحتوي على كمياتٍ ثانوية من الكوارتز، والفلدسبار، والفلزات الغضاروية.. الخ. وفي الحقيقة فإن تركيب الأنواع المختلفة من السجيل الزيتي، التي يتم استغلالها يتراوح ما بين الشيل، والمارل، والكربونات.

يعود الأصل العضوي للكيروجين الموجود في السجيل الزيتي بشكلٍ رئيس لأشنیات البحار، والمياه العذبة، لكنه يمكن لعضوياتٍ أخرى، وكتلٍ بكثيرية أن تساهم بنسبيٍّ هامة في هذا الكيروجين، وبالمقارنة مع أنواع الكيروجين I، II، III، IV، فإن الكيروجين في السجيل الزيتي ينبع إلى النوعين I، وII؛ أما بالنسبة لأوساط الترسيب، فيعتقد بأن صخور السجيل الزيتي قد ترسبت في البحيرات، والبحار الضحلة، والлагونات.



تحتوي المادة العضوية في السجيل الزيتي على نسبٍ هامة من الأوليفينات ، التي تغيب عن النفط الخام، كما تحتوي على نسبٍ هامة من الكبريت، والنيتروجين، وتميز المادة العضوية في السجيل الزيتي أيضاً بمحتوها المرتفع من الهيدروجين، حيث تتراوح النسبة الذرية بين C/H 1.25 و 1.75 ، بينما تتراوح النسبة الذرية بين O/C 0.02 ، و 0.2 (تيسو، 1978).

تكون المادة العضوية في السجيل الزيتي من مادةٍ صلبة، لا تحتوي على النفط، بينما تحتوي على نسبةٍ ضئيلة من البيتومين.

السجل الزيتي





يجب أن تكون نسبة المادة العضوية في السجيل الزيتي مرتفعة بشكل كافٍ لكي يعد اقتصادياً، وذلك لأن كمية عالية من الطاقة تستهلك لمعالجة الصخر حرارياً، وإنتاج النفط منه، حيث تقدر الطاقة المطلوب تقديمها من أجل التكسير الحراري بحوالي 250 كالوري/غ من الصخر، مع العلم أن قيمة التوليد الحراري الوسطية للكيروجين هي 10000 كالوري/غ، لذلك فإن 2.5% من الكيروجين في الصخر تعادل كمية الطاقة المستهلكة للتسخين، وبالتالي لا يمكن إنتاج أية طاقة، أي لا يمكن للصخر أن يصبح مصدراً للطاقة، إذا كان محتوى الكيروجين أقل من 2.5%，

ويجب من جهةٍ أخرى لكي ينتمي الصخر إلى السجيل الزيتي أن لا يكون قد طمر إلى أعماق كبيرة (على عكس الصخور المولدة)، حيث لا يمكن للصخر الذي طمر إلى أعماق كبيرة أن يصبح مصدراً هاماً للسجيل الزيتي، حتى ولو أدت الحركات التكتونية لاحقاً إلى نهوضه من جديد.



يعطي وجود المادة العضوية بنسبيٍّ هامة للسجل الزيتي وزناً نوعياً منخفضاً نسبياً، حيث تتناقص كثافة الصخر كلما ازدادت نسبة المادة العضوية فيه، لذلك يعتقد بأنه يمكن استغلال هذه الظاهرة في تقدير غنى السجل الزيتي بالمادة العضوية خلال المقطع الرسوبي، وذلك بشرط أن لا يتغير التركيب الفلزي بشكلٍ كبير.



تختلف نسبة النفط التي يمكن استخلاصها من السجيل الزيتي بالمعاملة الحرارية باختلاف كلٍ من :

1- نسبة المادة العضوية في الصخر: حيث تزداد كمية النفط المستخلصة بازدياد نسبة المادة العضوية في الصخر.

2- نوعية المادة العضوية: حيث يمكن أن تصل نسبة النفط المستخلصة من الكيروجين إلى حوالي 70% إذا كان من النوع I، كما في صخور السجيل الزيتي في Green River Shale، بينما تكون أقل من ذلك إذا كان الكيروجين من النوع II، حيث النسبة H/C أقل منها في النوع I.

3- التاريخ الحراري للصخر: تتأثر كمية النفط التي يمكن استخلاصها من السجيل الزيتي أيضاً بالتاريخ الحراري للصخر، لأن تعمق الصخور خلال تاريخها الجيولوجي إلى حدٍ كافٍ، سيؤدي إلى تعرضها إلى درجات حرارية مرتفعة تؤدي إلى التولد الطبيعي للمواد الهيدروكربونية، وهجرتها، وبالتالي تقل كمية النفط التي يمكن استخراجها من الكيروجين المتبقى، أو حتى تنعدم نهائياً.