وكذلك يجب ألا يزيد عمق توضع الطبقة عن 1200 ومتر وذلك بسبب ضياع الحرارة على طول فتحة البئر (مع العمق) والتي تبلغ عادة 3 % لكل 100 متر من العمق .

وكذلك يفضل أن تكون نفوذية الطبقة أكثر من 0.2 – 0.3 دارسي ، ويكون معدل الإزاحة كبير بما فيه الكفاية ، من أجل تخفيض الضياعات الحرارية في أعلى وأسفل المكمن .

ويجب ألا تزيد نسبة الضياعات الحرارية في البئر وفي الطبقة عن 50 % من تلك المسجلة على رأس البئر الحاقنة ، وذلك من أجل الحصول على الفعالية الاقتصادية للعملية .

Scanned by CamScanner

الفصل السابع

الطرق الجرثومية ودورها في تحسين الإنتاج

7-1- مقدمة

تعد الطرق الجرثومية إحدى الأساليب السهلة والاقتصادية التي تساهم في تحسين خصائص النفط المتبقي في المكمن ، وجعله قادراً على الحركة وسهل الاستثمار .

حيث ينتج عن العمليات الحيوية التي تقوم بها العضويات الدقيقة نواتج قادرة على تحسين استثمار النفط ، وكل ناتج منها يعتبر من إحدى طرق تحسين الإنتاج ، مثل الغازات الناتجة عن التخمر (CH_4 ,CO_2) والحموض والبوليميرات ، وهذا بالإضافة إلى ميل الكائنات الدقيقة للسطوح الصلبة ودورها في طرد النفط الملتصق بالصخر ، وكذلك الحرارة المنتشرة الناتجة عن التخمر والتي تعمل على تقليل لزوجة النفط وتسهيل حركته .

لقد درست هذه الطريقة منذ بداية الخمسينات ، ولا تزال الأبحاث جارية والتجارب مستمرة ، لتطويرها و تطبيقها في المستقبل ، خاصةً وأنها تطبق في آخر مراحل الإنتاج وستكون صدى لعبارة باستور الذي قال :

" أيها السادة سيكون للمكروبات دوماً الكلمة الأخيرة " .

7-2- ما هي البكتيرية ؟

البكتيريا وحيدات خلية مجهرية تنقصها البنية الخلوية الكاملة فهي لا تحتوي على نواة متميزة ولا غشاء نووي وتنتشر مادتها الصبغية على شكل كتل ضمن السيتوبلاسما وهي أوسع الكائنات الحية انتشاراً ، وقد وجدت في الجو على ارتفاع

Scanned by CamScanner

يصل إلى 6400m فوق سطح الأرض وكذلك على عمق 4800 m تحت سطح البحر، وتحتوي الأرض الخصبة غالباً 100,000,000 بكتيرية في الغرام الواحد ، والأماكن التي لا توجد فيها بكتيريا قليلة جداً نسبياً مثل الأنسجة الداخلية والطبقات العميقة من الأتربة وحفر البراكين النشيطة .

وتوجد البكتيرية في ثلاثة أشكال : (الكروي - الأسطواني - الحلزوني) ويمكن لبعضها التحول من شكل لآخر في ظروف خاصة ، والشكل (7-1) يوضح أشكال البكتيرية الرئيسة مكبرة 20000 مرة .

ويختلف حجم البكتيرية من نوع لآخر فمثلاً أصغر أشكالها عصوي يتراوح طوله بين (0.3 - 0.15) ميكرون ، أما أكبرها فكروي ويبلغ قطرة 1.5 ميكرون ، فالخلية البكتيرية في منتهى الصغر وتحتوي في المتوسط 70 - 85% من وزنها ماء .

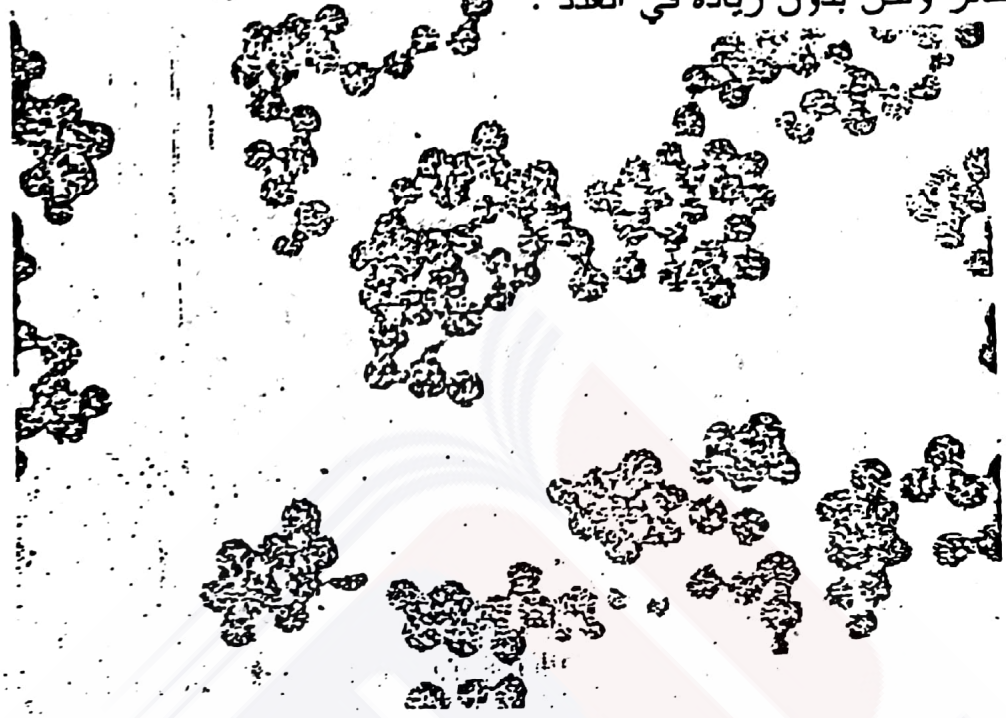
تتكاثر البكتيرية عن طريق حادثة الانقسام (الإنشطار) ينشأ عن البكتيرية الواحدة أفراد كثيرة ، وبسرعة مدهشة تشكل مستعمرات كبيرة لدرجة كافية ، يمكن رؤيتها بدون الاستعانة بالمجهر ، فالخلية الواحدة قد ينتج عنها نحو 20 مليون خلية خلال 24 ساعة .

أما عندما تكون ظروف الوسط غير مناسبة ، فتتمكن البكتيرية من مقاومة الموت بتشكيل خلية مقاومة خاصة يطلق عليها اسم البوغة حيث تتخلص الخلية البكتيرية من مائها فتجف وتحاط بغلاف سميك مقاوم وتعيش حياة هادئة بطيئة قادرة على مقاومة الظروف الصعبة فإذا عادت الظروف مناسبة انتشت البوغة (الجرثومة) وأعطت خلية بكتيرية جديدة تعود للانقسام بالانشطار .

وهناك بعض أنواع من البكتيرية العضوية تملك القدرة على تكوين جراثيم داخلية أكثر من غيرها من الأنواع ، ولكن حدوث تغيير في التركيب الوراثي يفقد البكتيرية

Scanned by CamScanner

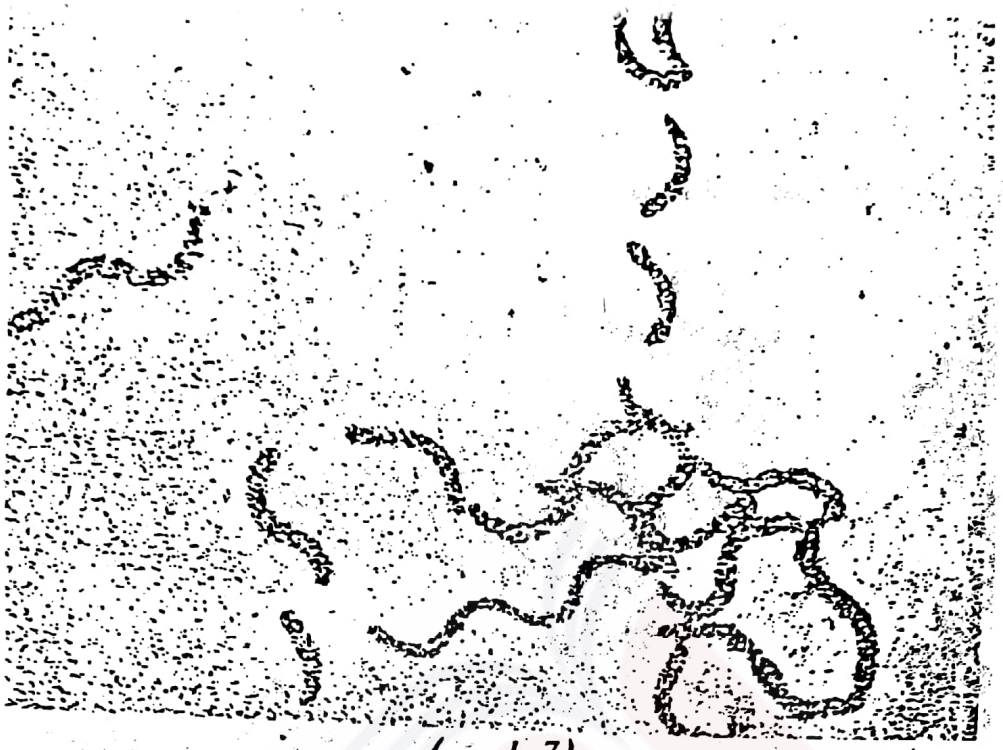
قدرتها نهائيا على تكوين الجراثيم ، التي تعد سبيلا للبقاء والمحافظة على النوع فهي طريقة للتكاثر ولكن بدون زيادة في العدد .



(7-1-أ)

(7-1-ب)

Scanned by CamScanner



(7-1- ج)

الشكل (7-1) صورة بالمجهر الضوئي تبين الأشكال الثلاثة الشائعة للبكتيريا الحقيقية

آ – الشكل الكروي ب– الشكل الأسطواني ج– الشكل الحلزوني

– هذه فكرة موجزة وعامة عن البكتيرية التي تعد أهم أنواع الكائنات الدقيقة التي تضم بالإضافة للبكتيريا (الخمائر – الفيروسات – فطريات – العفن – الطحالب) ، والتي تشكل جراثيم تحت ظروف خاصة .

ولقد تعرضنا للبكتيرية دون غيرها كونها تلعب دوراً كبيراً في تحسين الإنتاج من الصخور الكربوناتية يليها في ذلك بعض الخمائر وهذا ما أثبتته التجارب .

7–3– العوامل المؤثرة على الكائنات الدقيقة

7–3–1– الغذاء

إن معظم الكائنات الدقيقة تحتاج تقريباً إلى نفس العنـــاصر اللازمـــة للكائنـــات الأخرى مثل :

الكربون والهيدروجين و الأوكسجين والنـــتروجين والكـــبريت ، أي العنـــاصر الأساسية المكونة للبروتينات ، وكذلك تحتاج إلى كمية أقل من الفوسفور والحديد و

Scanned by CamScanner

المغنيزيوم و البوتاسيوم و الكالسيوم ، كما أنها تحتاج إلى كميات متناهية في الصغر من الفيتامينات .

7-3-2- الرطوبة

تحتاج الكائنات الدقيقة لها لنقل الغذاء في صورة ذائبة إلى داخل الخلية ولنقل الفضلات إلى خارجها بالإضافة إلى ضرورتها لحفظ المحتوى المائي لسيتوبلازما الخلية .

7-3-3- درجة الحرارة

لقد قسمت الكائنات الدقيقة إلى مجموعات مختلفة طبقاً لدرجات الحرارة المثلى لنموها فسميت الأنواع التي تزيد درجة الحرارة المثلى لنموها عن 45 C° بالأنواع " المحبة للحرارة " وهي التي تهمنا في دراستنا هذه حيث نحتاج إلى هذا النوع لتحمل الحرارة في الأعماق .

أما الأنواع التي تقع درجة الحرارة المثلى لنموها بين 15-45 C° فسميت " وسيطة الحرارة " بينما سميت الأنواع التي تقل درجة الحرارة المثلى لنموها عن 15 C° بالأنواع " المنخفضة الحرارة " .

ولإعاقة نمو الكائنات الدقيقة نلجأ لدرجة حرارة منخفضة ، أما إذا أردنا تنشيط نموها نهيئ لها الدرجة المناسبة .

7-3-4- الضغط

هناك أنواع من البكتيرية محبة للضغط حيث تتحمل ضغوطاً حتى 650 كغث/سم^2 أما الضغوط الأعلى من ذلك فتؤدي إلى تخريبها حيث تتخرب معظم البكتيرية غير المتبوغة عند تطبيق ضغط يتراوح بين 3000-6000 ضغط جوي خلال 45 دقيقة بينما تحتاج الأنواع المتبوغة إلى أكثر من 20000 ضغط جوي حتى تتخرب وتموت .

Scanned by CamScanner

7-3-5- المحتوى الأكسجيني للوسط

تقسم الكائنات الحية تبعا لحاجتها للأكسجين إلى أربعة أقسام :

أ- **الكائنات الهوائية** : وهي التي تحتاج إلى أكسجين من أجل نموها .

ب- **الكائنات اللاهوائية** : وهي التي لا تنمو بوجود الأكسجين أي أن وجوده يخربها .

ج- **الكائنات اللاهوائية اختياريا** : وهي التي تستطيع النمو بوجود الأكسجين عن طريق التنفس ، و بغياب الأكسجين عن طريق التخمر ، وهذا النوع هام في بحثنا .

د- **الكائنات المحبة لآثار من الأكسجين** : وهي تنمو بوجود كميات قليلة جدا من الأكسجين حيث تكون خلاياها مجهزة ببعض الأنزيمات ، مما يجعلها شديدة الحساسية تجاه الكميات الكبيرة من الأكسجين .

7-3-6- حموضة وقلوية الوسط (PH)

تتراوح درجة الحموضة المثالية بالنسبة لمعظم البكتيرية بين 6.5-8 إلا أن هناك بعض الأنواع النادرة التي تشذ عن ذلك .

7-3-7- تراكم المواد المثبطة للنمو

وهي نواتج التنفس أو نواتج النمو من أحماض متراكمة حيث تؤدي هذه النواتج مع الزمن إلى تسمم الخلايا .

7-3-8- التوتر السطحي

تستطيع بعض أنواع البكتيرية أن تتكاثر في بيئات ذوات توتر سطحي منخفض نسبيا إلا أن معظم الكائنات الدقيقة تفضل النمو في بيئة ذات توتر سطحي مرتفع نسبيا .

Scanned by CamScanner

7-3-9- وجود ثاني أكسيد الكربون

تحتاج جميع أنواع البكتيرية إلى وجوده ولو بكميات قليلة خصوصاً البكتيرية ذاتية التغذية ، وقد يؤدي غيابه التام إلى توقف كلي للنمو .

ومن هنا تأتي أهمية هذه الطريقة بعد حقن CO_2 والاستفادة منه في رفع عامل المردود النفطي .

إلا أن وجود CO_2 بوفرة وتحت ضغط مرتفع ، يؤدي إلى قتل الكثير من الكائنات الدقيقة خصوصاً إذا انخفض الضغط بشكل مفاجئ .

7-4- أهمية الكائنات الدقيقة

تلعب الكائنات الدقيقة دوراً هاماً من خلال قيامها بعدد من العمليات البيولوجية والتفاعلات الكيميائية ذوات النواتج الهامة ، واستخدام الأحياء الدقيقة في تحويل بعض المركبات إلى مركبات أخرى علم قائم بذاته وهو موضوع دراسات و أبحاث مستمرة .

وما يهمنا في دراستنا من هذه العمليات التي تقوم بها الأحياء الدقيقة هي عملية التخمر التي تتضمن تحولات كيميائية حقيقية تلجأ إليها الكائنات اللاهوائية للحصول على الطاقة اللازمة لها لاستمرار حياتها .

وتعتبر عملية التخمر جيدة إذا توافرت فيها الشروط التالية :

أ- كائن دقيق يستطيع تكوين ناتج نهائي مرغوب .

ب- مواد خام اقتصادية يمكن استخدامها في عملية التخمر كالمولاس مثلاً

ج- مردود مقبول للنواتج التي تساهم في عملية تحسين إنتاج النفط .

د- عملية تخمر سريعة من أجل تخفيض فترة إغلاق البئر الذي نطبق عليه الطرق حيث يختلف الزمن اللازم لانتهاء التفاعل حسب نوع المواد المتخمرة ، وحسب توافر الشروط الملائمة للتفاعل من توفر دعم للمادة المغذية ، ونوع الكائنات الدقيقة ، ودرجة PH (حموضة الوسط) التي يجب أن تكون مناسبة

Scanned by CamScanner

حيث أثبتت التجارب أن لحموضة الوسط تأثيرا واضحا على زيادة التخمر .

الجدول (7 - 1) يبين الزمن اللازم لانتهاء التخمر اللازم لإنتاج بعض المواد.

ناتج التخمر الأساسي	المادة المغذية	نوع الكائن الدقيق	اسم الكائن	درجة الحرارة C°	PH	زمن التفاعل ساعة
الإيتانول	السكروز أو النشاء	خميرة	Invertacet Zymase	35- 25	5-4	60-36
البوتانول 65% + الأسيتون 35%	النشاء	بكتريا	Clostridium Acetobutyheum	35 - 30	5-4.5	48-36
حمض اللاكتيك	السكروز أو اللاكتوز	بكتريا	Strebtococccus Lactis	50 - 40	5.5-5	180-140

7-4-1-نواتج التخمر

يمكن للأحياء الدقيقة أن تكون أنواعا مختلفة من النواتج أهمها :

أولا - الأحماض العضوية : حيث تتفاعل هذه الحموض مع الصخر محسنة مساميته و نفوذيته و تختلف هذه الأحماض حسب أنواع البكتيرية و المواد التي يجري عليها التخمر .

ومن بعض هذه الأحماض نذكر :

*- حمض اللاكتيك ($CH_3CHOHCOOH$) : و فيما يلي معادلة مبسطة لإنتاج هذا الحمض من الغلوكوز بطريقة التخمر :

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow[\text{حمض اللاكتيك}]{\text{البكتريا المنتجة}} 2CH_3CHOHCOOH$$

و يجب أن يحوي الوسط اللازم للتخمر على مادة كربوهيدراتية و مادة آزوتية و المواد الغذائية الضرورية و المكروب المناسب .

و يمكن استعمال المولاس (دبس السكر) والنشاء المحلل مائيا الناتج من الحبوب

Scanned by CamScanner

أو البطاطا كمصدر للكربوهيدرات .

التخمر بواسطة L. DELLIRUERU أو بواسطة بكتيريا التخمر الحمضي عند درجة حرارة 50 C° وهذه الدرجة العالية تشجع نموها وتمنع نمو معظم أنواع الميكروبات الملوثة .

أولاً- حمض الخل (CH_3COOH)

وهو من أهم الحموض العضوية المستخدمة في تحسين الإنتاج من الصخور الكربوناتية كما ورد في فصل التحميض وينتج حمض الخل في الشروط اللاهوائية عن طريق تخمر السكر بواسطة نوع خاص من البكتيرية المسماة CLOSTRIDIUM ACETOBUTYLICUM وذلك حسب التفاعل التالي :

$$3C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{البكترية}} 2CH_3CH_2COOH + 4CO_2 + 4H_2 + \text{طاقة}$$

وعملية التخمر هذه هامة جداً نظراً لنواتجها العديدة من الحموض والغازات (H_2 , CO_2) والطاقة الحرارية المنتشرة والتي تساهم في تحسين إنتاج النفط .

ثانياً - الكحول الاتيلي (CH_3CH_2OH)

وهو من أهم النواتج حيث يحقن السائل السكري القابل للتخمر بالخميرة المناسبة وبعض المواد اللازمة للتخمر مع ميكروب الخميرة من نوع ELLIPSOIDEVS التي تنتج كمية كبيرة من الكحول وتحقن عند درجة الحرارة الملائمة لتشجيع نموها حيث تحتاج إلى شروط لاهوائية ليتم التفاعل التالي :

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{الخميرة المناسبة}} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{طاقة}$$

ونواتج هذا التفاعل مهمة في بحثنا وهي :

آ- غاز ثاني أكسيد الكربون : الذي يساهم في رفع ضغط الطبقة وينحل في النفط و المياه الطبقية ويؤدي إلى تخفيض لزوجة النفط بالإضافة إلى ميزاته الأخرى . . . .

ب- الكحول : الذي نحتاجه كمذيب للمركبات الهيدروكربونية .

Scanned by CamScanner

ج- الطاقة الحرارية المنتشرة : التي تخفض لزوجة النفط وتحسن خواصه .

تضبط درجة حموضة الوسط في هـــذا التفـاعل عنـد(PH = 4 - 4.5) بإضافة حمض ، وإذا كان الوسط فقير بالمواد الآزوتية والفيتامينات فيجب إضافتها ويجري التخمر عند درجة حرارة تتراوح بين C° (21- 27) .

ثالثاً : الأسيتون والبوتانول [CH_3COCH_3 , $CH_3(CH_2)_3OH$] :

توجد طريقة ناجحة لإنتاجهما وضعها فايزمان الذي اكتشف البكتريـــة المســماة Clostridium - actrobutylicuma وهذا الكائن شديد النمو ، قادر على تخمـــير الذرة بتركيز 6-9 % في الماء مع إنتاج 30- 33 % من المذيبات (الأســيتون – البوتانول – الايتانول) بنسبة (30 : 60 : 10) أي الناتج الأساسي هو البوتانول .

ويمكن استبدال الذرة بالمولاس نظراً للاحتياج الكبير للمـــادة المغذيـــة ولذلـــك اكتشفت كائنات دقيقة جديدة مناسبة لإنتاج البوتانول من المولاس حيث تتطلب هـــذه الطريقة :

آ – سلالة خاصة من بكتريا البوتانول التي تنتج أعلى نسبة منه (68 – 74) %

ب – تخفيف المولاس المستخدم إلى (5 – 6) % سكر مع إضافة أمونيا على صورة كبريتات الأمونيوم كمصدر غذاء آزوتي .

ج – تضبط PH في أثناء التخمر نتيجة وجـــود $CaCO_3$ ودرجـــة الحـــرارة المطلوبة C° (32 -37) .

رابعاً – الغازات :

تعد الغازات الناتجة عن التخمر (H_2 , CO_2 , CH_4) أهم نواتـــج العمليـــات الحيوية للبكتيرية نظراً لدورها في زيادة الضغط للمكمن بالإضافة إلى أنـــها تعمـــل على تخفيض لزوجة النفط .

ويعتبر غاز CH_4 من الغازات المرغوبة بالنسبة لنا لعدم تأثيره علـــى تركيـــب النفط المرغوب باستخراجه ويعطينا ضغطاً جيداً إذا توفر بكميات كبيرة حيث يساهم في رفع الضغط الطبقي .

Scanned by CamScanner

أما غاز CO_2 فلا يخفى علينا أهميته وتأثيره على تحسين إنتاج النفط وقد ورد ذلك في فصل خاص به .

ويعد إنتاج H_2 من الأبار ظاهرة غير مرغوبة لأنه يؤدي إلى تآكل المعدات .

خامساً - البوليميرات :

حيث تعمل الكائنات الدقيقة على إنتاج البوليميرات المنحلة ذوات الأوزان الجزيئية العالية والتي تؤدي إلى زيادة لزوجة الماء وتخفيض لزوجة النفط وتقليل التوتر السطحي بين الماء والنفط .

7-4-2- ميل البكتيرية للسطوح الصلبة :

بالإضافة إلى نواتج التخمر السابقة التي تؤثر في الموضع وفي الأماكن المجاورة فإن الكائنات الدقيقة تلعب دوراً في طرد النفط الممتز على الصخر وذلك لميلها للسطوح الصلبة ويتحكم بذلك قابلية البكتيرية لاختراق صخور التشكيلات الجيولوجية .

وتعد قابلية الاختراق للصخور من العوامل المهمة لاستخدام الطرق الجرثومية لزيادة المردود النفطي حيث تخترق البكتيرية الصخر في طريقها إلى مكان النفط وذلك في أثناء حقنها مع الماء ، أما البكتيرية التي تفشل في الاختراق فيمكن أن تسبب مشكلة سد الأقنية والمسامات وذلك حسب أقطار هذه الكائنات المحقونة كما يمكن أن تغلق المسامات والشقوق بسبب ترسب نواتج العملية البكتيرية .

إن اختراق البكتيرية للصخر يعتمد على :

1- ميزات البكتيرية (حجمها - طبيعة سطح الخلية - أشكال تجمعها بشكل كتل أو سلاسل - القدرة على الحركة) .

2- ميزات الصخر الخازن (نفوذيته - مساميته - الطبيعة الكيميائية له التي تحد من ميل الخلايا للالتصاق به - التركيب الكيميائي للمياه الطبقية وللماء المحقون حيث يؤثر على تجمع الخلايا البكتيرية - الحرارة -

Scanned by CamScanner

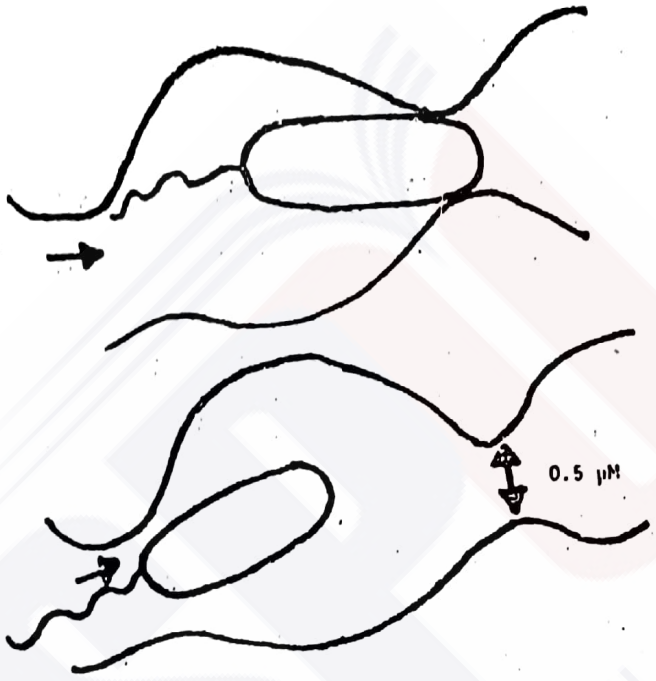
الضغط الذي يقيد حركة البكتيرية ويمكن ان يؤثر على نموها) .

3- تركيز البكتيرية في الماء المحقون .

4- معدل حركة المياه خلال الصخور .

5- تدرج الضغط .

يوضح الشكل (7-2) أبعاد الكائنات الدقيقة و علاقتها باختراق المسامات .



الشكل (7 - 2)

7-5- كيفية تطبيق الطرق الجرثومية :

- لتطبيق الطرق الجرثومية يجب أن نكون ملمين بأكبر قدر من المعلومات حول الحصول على الطعم البكتيري المناسب عن طريق المنابت التي تعطي النوع المرغوب وإذا لم يتصف هذا النوع بكل الميزات المطلوبة فإننا نقوم بإجراء تحسين للسلالة عن طريق تزاوج واتحاد بين الأنواع للوصول إلى الميزات المطلوبة .

- بعد تحضير الطعم البكتيري ونقله إلى بئر الحقن يتم حقنه مع شحنة من

Scanned by CamScanner

المولاس وبعض الأغذية المعدنية والماء ولا يتطلب ذلك معدات كثيرة غير مضخات الحقن ثم تحقن عدة دفعات دورية مدعمة إذا دعت الحاجة إلى ذلك ويستمر الحقن مع الماء لمنع تكتل البكتيرية وتأمين توزعها بشكل أكثر شمولية .

في هذا النظام الذي يعتمد على حقن غذاء معدني مع البكتيرية لا يحقن غذاء عضوي لأن البكتيرية ستكون قادرة على عملية الإستقلاب باستخدام قسم من الهيدروكربونات المؤلفة للنفط الخام نفسه وبذلك تحسن خصائصه .

- بعد إتمام عملية الحقن يتم إغلاق البئر لفترة من الزمن حتى تنمو البكتيرية وتتكاثر وتقوم بالعمليات الحيوية التي ينتج عنها نواتج مهمة قادرة على تحسين استثمار النفط .

وتحديد مدة الإغلاق يتبع لعدة عوامل أهمها : نوع الطعم البكتيري - نوع الغذاء المحقون وكميته - مواصفات المكامن التي تم فيها الحقن .

وتتراوح مدة الإغلاق بين ثلاثة أشهر وستة أشهر وهذه المدة قد تؤدي إلى خسارة اقتصادية ولكن فترة زمنية من الإنتاج اللاحق بعد زيادة المردود يمكن أن تغطي هذه الخسارة ويبدأ الربح الصافي .

7-5-6 نتائج تطبيق الطرق الجرثومية في بعض بلدان العالم :

- لم يقتصر تطبيق الطرق الجرثومية على بلد واحد وإنما تم تطبيقها وإجراء تجارب عليها في عدد من دول العالم .

والجدول التالي (7-2) يوضح أسماء بعض بلدان العالم التي طبقت الطرق الجرثومية وأسماء الفصائل البكتيرية المستخدمة والأعوام التي تم فيها تطبيق هذه الطرق .

- فمثلا : تم تحقيق مؤشرات جيدة نتيجة تجربة أجريت في ألمانيا عام 1966 ، حيث انخفضت الإماهة ، وارتفع معدل إنتاج البئر من 15 إلى 300 طن / يوم ، وقد تم إنتاج 3800 طن من النفط خلال فترة التجريب التي

Scanned by CamScanner

استمرت 21 شهرا .

- وفي أمريكا طبقت هذه الطريقة في حقل اركنساس حيث كانت الطبقة المحقونة ذات نفوذية عالية جدا ، وكانت المسافة بين آبار الحقن وآبار الإنتاج 120 م ، وقد تم حقن 2 % من المولاس بمعدل $25\ m^3$ في اليوم مع طعم بكتيري من فصيلة Clostridium بحجم كلي مقداره $0.8\ m^3$ ، وقد طبقت خلال فترة 150 يوما .

وبعد ثلاثة أشهر من حقن الطعم وإغلاق البئر لوحظ زيادة في إنتاج النفط مقدارها $7\ m^3$ في الشهر حيث كانت $3\ m^3$ وارتفعت إلى $10\ m^3$ في الشهر وثبتت على ذلك لمدة ثمانية أشهر .

Country	Type of Bacterial inoculum used
USA (1953,1977,1981)	-clostridium acetobutylicum or - Mixed culture of Bacillus and clostridium
Czechoslovakia (1954-1961)	Mixed culture of pseudomonas and Desulfovibrio
Hungary (1961-1970)	- Mixed sewage sludge culture or - Anaerobic termophilic mixed culture
Poland (1961-1969)	- Mixed culture of pseudomonas, Mycobacterium, clostridium , Arthrobacter , peptococcus
USSR (1966)	- Anaerobic mixed culture
Romania (1975-1978)	- Anaerobic "adapted" bacterial populations

الجدول- (2-7)

ولقد لوحظ في الآبار التي طبقت فيها هذه الطرق وجود نواتج التخمر : CO_2 ، آثار من الايتانول والبوتانول والاسيتون ، ولم يلاحظ أي زيادة في حجم الهيدروجين، واعتبرت هذه النتيجة مشجعة جدا .

- ونشير هنا بشكل مبسط إلى كلفة الحقن ، فالكلفة المتتابعة لبرنامج الحقن لن تكون كبيرة جدا إذا ما قورنت بفعالية هذا النظام وقدرته على زيادة المردود النفطي.فلقد قدر العالم Karakiewicz سعر 5 طن من النفط بما لا يقل عن 1250 دولارا حسب أسعار 1981 وهي قيمة كافية لتغطية عمليات الحقن مع الأخذ بعين

Scanned by CamScanner

الاعتبار الأجهزة والمواد الأولية والنقل ، بالإضافة إلى كلفة الكائنات الدقيقة المستخدمة متضمنة كلفة الأجهزة المخبرية اللازمة لاستبداتها ورواتب العاملين عليها .

7-5-7 الخصائص المثالية لمكمن الحقن الجرثومي :

لقد أشارت التجارب الحقلية إلى أهمية المكامن المناسبة للحقن الجرثومي وهذا الاختيار لا يعتمد على المواد المتعلقة بالكائنات الدقيقة فقط ولكنه يأخذ بعين الاعتبار الأمور التقنية و الجيولوجية .

فالعالم Karakiewi وجد أن شدة نشاط البكتيرية في الصخر الخازن يتأثر بالتركيب الكيميائي للمكمن وبالخصائص البتروفيزيائية للصخر وبشكل عام نستطيع أن نلخص الخصائص المثالية لمكمن الحقن الجرثومي على الشكل التالي :

1- **النفوذية** : يجب أن تكون أعلى من 300 M.D إلا أنه توجد بعض أنواع من البكتيرية التي تستطيع اختراق صخر بنفوذية 100 M.D وهناك أنواع أخرى قادرة على اختراق صخر بنفوذية 0.1 M.D .

2- **درجة الحرارة** : يجب أن تكون C° (50-55) ولا تتجاوز C° 90 لأن القيم العالية للحرارة والضغط في المكامن تؤدي إلى قتل الكائنات الدقيقة .

3- **درجة الحموضة** : يفضل أن لا تكون عالية (PH = 7) أي معتدلة لذلك فإن عمليات التحميض تعوق تطبيق الطرق الجرثومية بسبب الآثار الكيميائية السامة التي تثبط عمل البكترية لذلك يجب غسل الطبقة من الحمض قبل تطبيق عملية الحقن الجرثومي .

4- **معدنية المياه** : يجب أن تكون المياه حيادية حيث أن تركيب المياه الطبقية واحتوائها على تراكيز عالية لكلور الصوديوم أو لشوارد المغنيزيوم يؤثر بشكل سلبي على معظم الكائنات الدقيقة باستثناء بعض الأنواع القادرة على

Scanned by CamScanner

مقاومة تركيز الملح العالي ، (أكبر من 300 gr/Kg) .

5- **آبار الحقن** : يجب أن تكون بحالة جيدة وواقعة في منطقة المياه الطبقية أو عند خط التقاء نفط - ماء . وتستعمل عادة الآبار العقيمة والآبار المماهة والآبار ذوات الإنتاجية غير الاقتصادية في عملية حقن البكتيرية .

6- **الاتصال الهيدروديناميكي** يجب أن تكون درجة الاتصال الهيدروديناميكي جيدة بين آبار الحقن وآبار الإنتاج .

7- يجب أن لا تحتوي المكامن على مواد سامة للطعم البكتيري مثل الأوكسجين إذا كانت البكتيرية المستخدمة لا هوائية .

8- يجب أن تزيد درجة الإشباع بالنفط والماء عن 60 % .

9- يجب أن تكون نسبة الكربون في المكمن أكثر من 20 - 30 % .

10- لتطبيق هذه الطريقة يجب أن لا تتجاوز أعماق هذه الآبار 1500 م أي تطبق في الآبار الضحلة القليلة العمق وخاصة في حال إنتاج النفط الثقيل منها حيث لا يمكن تطبيق الطرق الحرارية عليها .

تبين لنا من خلال ما تقدم لأهم خصائص المكامن القابلة للحقن الجرثومي وكذلك من المعلومات الناتجة من التجارب المجراة في بعض دول العالم أن العوامل التي تتحكم في إمكانية تطبيق الطرق الجرثومية بشكل عملي هي درجة الحرارة والضغط ونفوذية الطبقات الحاملة للنفط وحموضة الوسط ، أما العوامل الأخرى فيمكن التحكم بها بسهولة وتلافي تأثيرها إن وجد .

7-5-8- حسنات وسيئات الطرق الجرثومية :

تعد الطرق الجرثومية من الطرق السهلة والاقتصادية والتي تساهم في الحد من التلوث البيئي حيث يمكن تشكيل المنابت البكتيرية من الفضلات بعد إسالتها وحقنها مع مياه المجاري والمياه الطبقية الناتجة عن استثمار الآبار .

نظرا للزمن الذي تستغرقه عملية التخمر والتي تحتاج إلى إغلاق البئر وإيقافه عن الإنتاج ، لذا يفضل استخدام هذه الطريقة كآخر حل لاستثمار مخزون الطبقة

Scanned by CamScanner