الفصل التاسع

الإنتاج

يعتبر حفر البئر الاستكشافية خطوة أساسية فى تحديد موقع وجود البترول وكيفية إنتاجه ؛ ولكن ينبغى الحصول على قدر كبير من المعلومات الإضافية بهدف تقدير ما فى المنطقة من إمكانيات ، وكذلك لتخطيط كيفية إنجاز الآبار واستغلال الحقل والإنتاج منه كما يجب تعيين ما يتم اختراقه من تراكيب جيولوجية وتحديد أى من الطبقات تحمل الزيت أو الغاز ، كما يجب جمع أكثر ما يمكن من معلومات عن طبيعة الخزان الذى يوجد به البترول .

١ – تقييم حقول الزيت :

بعد اكتشاف وجود البترول فى أول بئر استكشافية (Wildat) تبذل جهود كبيرة لتقدير أهمية الاكتشاف وذلك بتحديد إحتياطيات البترول وقيمته الاقتصادية التى ترتبط فى كثير من الأحيان بموقعه الجغرافى .

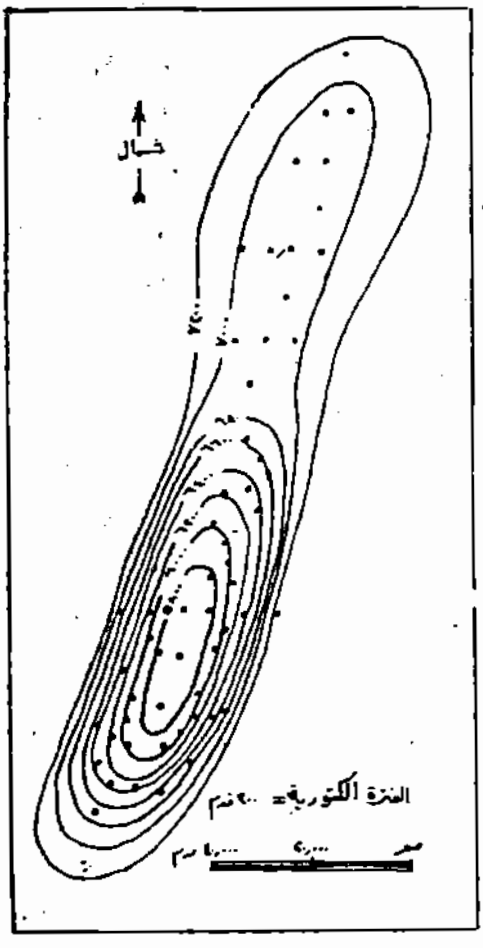
ويمكن أن يكون استغلال تجمع بترولى صغير فى منطقة منتجة أصلا إقتصاديًا بينما يتعذر أحياناً تحقيق أرباح معقولة من إستغلال تجمع بترولى أكبر بكثير فى منطقة نائية

فبعد حفر البئر الاستكشافى الذى يكون عادة على قمة التركيب الجيولوجى ، تحفر عدة آبار أخرى لتعيين حدود هذا التجمع البترولى ولدراسة التغيرات التى تحدث فى خواص صخور الخزان وكذلك لتحديد مستوى تلامس الغاز والبترول (Gas-oil contact) وتلامس البترول والماء (Oil water contact) . . . . . وخلاف ذلك من المعلومات التى تساعدنا على تقييم حقول البترول تقييما سليما . ويتم الحصول على هذه المعلومات الأساسية أثناء حفر الآبار من التسجيلات الكهربية والعينات الإسطوانية الجوفية مما يؤدى إلى التحسن فى تفسير التركيب الجيولوجى والاقتراب من الصورة الحقيقية تدريجياً . أى أنه يجب إعادة النظر باستمرار فى برنامج الحفر وتعديله كلما تيسرت معلومات جيولوجية جديدة

فالتسجيلات الكهربية بالإضافة إلى عينات الصخر الأسطوانية تيسر لنا تتبع الطبقات الصخرية من بئر إلى بئر ، وذلك يمكن استنتاج نوع التراكيب الجيولوجية الموجودة وبالتالى رسم الخرائط بدقة ، وعلى كل حال يجب إعادة تفسير المعلومات الجيولوجية كلما حفرت آبار جديدة .

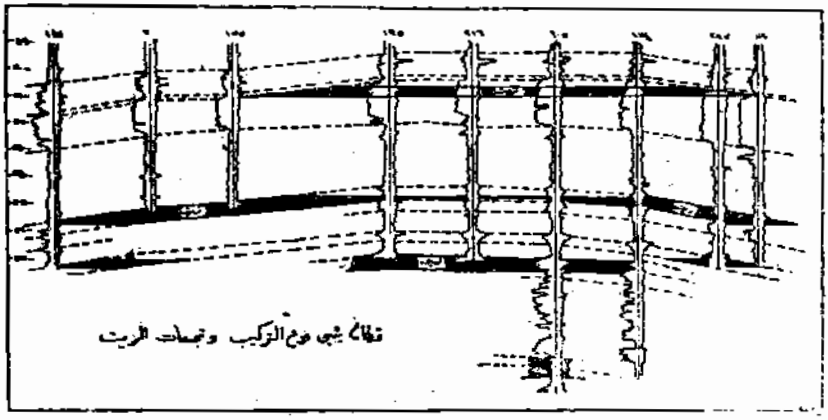
طرق توقيع التراكيب الجيولوجية :

١ — رسم خريطة كنتورية (Structural contour map) تركيبية للخزان البترولى الذى يوجد على أعماق مختلفة تحت سطح الأرض، وهى خريطة تبين لنا شكل الطبقات الصخرية منسوبة إلى سطح أساس معلوم الارتفاع (شكل رقم ١٠٧) .



(شكل ١٠٧) خريطة كنتورية للتركيب الجيولوجى

٢ – رسم قطاعات جيولوجية (Cross-sections) . وهى عبارة عن مستويات رأسية تمر فى اتجاه معين خلال الحقل لتبين لنا موقع الطبقات الصخرية وتجمعات البترول والغاز (شكل رقم ١٠٨) . وتستخدم هذه الخرائط والقطاعات الجيولوجية فى تحديد مواقع الآبار الجديدة وأعماقها



(شكل ١٠٨) قطاع رأسى يبين نوع التركيب الجيولوجى وتجمعات الزيت

تستخدم المعلومات التى يتم الحصول عليها أثناء حفر الآبار الأولية ، وفى مستهل عمرها الإنتاجى كأساس للتقدير الأولى لكمية الغاز والبترول المختزن والممكن استخراجه ، وكذلك للتنبؤ بتطور الإنتاج فى المستقبل ، إذ أن معرفة ذلك تساعد على تحديد المسافة بين الآبار ، لأن تكاليف الحفر تشكل نسبة كبيرة من مجموع نفقات الاستثمار ، فإذا حفرت الآبار قريبة جداً من بعضها تكون نفقات الاستثمار أعلى من الحد اللازم ، أما إذا كانت المسافات بينها متباعدة فسوف تقل بالتالى كميات البترول الممكن إستخراجها مما يزيد من فترة إنتاجها وبالتالى تقل القيمة الحالية لعائدات هذا البترول .

ولكى نحصل على أعلى معدلات للإنتاج يجب أن ندرس بالتفصيل ما يأتى

صخور الخزان وخصائصه الإنتاجية :

لايمكننا النظر إلى تجمع البترول وحده ونترك جانباً ما يرافقه عادة من غاز وماء . فالغاز يتواجد فى أحيان كثيرة فى صورة منفصلة تعلو البترول وتملأ الجزء العلوى من التركيب الجيولوجى . أما البترول : الموجود عادة تحت ضغط كبير ، فيحتوى فى معظم الحالات على

غازات كثيرة ذائبة فيه كما أنه يحتوى على قدر معين من الماء الملاصق لحبيبات صخر الخزان ، ومعظم الماء يتواجد عادة أسفل البترول .

يلزم لإنتاج البترول من الخزان إبقاء الضغط فى قاع البئر المنتجة ، منخفضاً بحيث يكون ضغط قاع البئر أقل من ضغط الخزان كما يجب أن يكون هذا الضغط كافياً لرفع البترول إلى سطح الأرض .

ويؤدى الفرق فى مقدار الضغط بين قاع البئر والخزان إلى إنتقال البترول مع الغاز الذائب فيه ومعهما الغاز الطليق (Free gas) إن وجد وبعض من الماء نحو الآبار وإلى داخلها . فمن هنا نرى أن معدل الإنتاج يتوقف كثيراً على مقدار الضغط فى قاع البئر وفى الخزان وعلى سهولة إنتقال السوائل من الخزان إلى البئر التى تتوقف على لزوجة السائل وعلى نفاذية الطبقات كما هو واضح من المعادله التالية :

$$ع = \frac{ك\ س\ (ض_{1} - ض_{2})}{ز\ ل}$$

ع معدل الإنتاج

ك نفاذيه الصخر

س المساحة التى يتم من خلالها الإنتاج

ض ضغط الخزان

ض ضغط قاع البئر

ز لزوجة السائل المنتج

ل طول الخزان الذى يتم منه الإنتاج

ومع سحب البترول من الخزان ينخفض ضغطه عادة ، وتقل بالتالى قدرة الآبار على الإنتاج ، والدور الذى يقوم به الغاز فى دفع الزيت من الخزان يؤثر تأثيراً كبيراً على سرعة هبوط ضغط الخزان وبالتالى على معدل الإنتاج وكمية البترول المستخلص . وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم الخزانات البترولية إلى أنواع مختلفة . ويمكن تصنيف الخزانات البترولية نموذجاً إلى أربعة أنواع وفقاً لنوعية الدفع (Drive) فى الخزان وهى :

١ – الدفع بالماء .

٢ – الدفع بغاز الخزان .

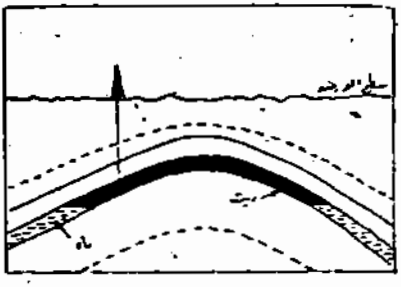
٣ – الدفع بالغاز الذائب .

٤ – التصريف بالجاذبية .

وتتم إنتاج البترول عادة بإحدى هذه الطرق أو باستخدام أكثر من طريقة ، وفيما يلى شرح مبسط لطرق الدفع الأربع : –

١ – الدفع بالماء :

عندما يكون امتداد التركيب الحاوى للزيت كبيراً (شكل رقم ١٠٩) وحجم الماء فيه كبيراً أيضاً بالنسبة لحجم البترول ، فقد يحل الماء محل البترول المستخرج إذا كان صخر الخزان شديد النفاذية ولا يرافق ذلك هبوط يذكر فى ضغط الخزان ، إذ أن الماء يتحرك إلى أعلى التركيب جارفاً البترول أمامه .وفى هذه الأحوال لن يظهر فى الآبار أى انخفاض يذكر فى معدل الإنتاج حتى يبلغها الماء ، كما أن إحلال الماء محل البترول سيؤدى إلى استخراج نسبة مئوية كبيرة من البترول الموجود أصلا .



(شكل ١٠٩) حقل المنتج بواسطة الدفع بالماء

وفى حالة مثل هذه الخزانات التى تنتج بواسطة الدفع بالماء ينبغى للآبار الاستغلالية ألا تكون قريبة جداً من المكان الأصلى لتلامس الماء والبترول (Oil-water contact) حتى لا تكون حياتها الإنتاجية قصيرة إلى حد غير اقتصادى .

أما إذا كانت نفاذية صخر الخزان منخفضة فتكون أيضاً معدلات الإنتاج فى الآبار

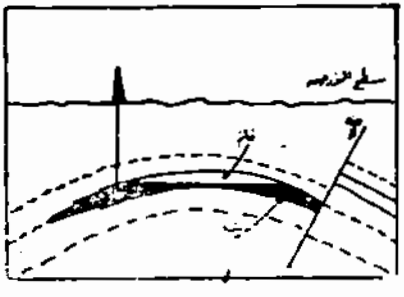
منخفضة نسبياً لأن الماء لن يستطيع أن يتحرك بسهولة داخل مسام الصخر ، كما أنه سيحدث انخفاض فى ضغط الخزان مما يؤدى إلى انخفاض طاقة الآبار الإنتاجية .

وحيث إن الماء أقل لزوجة من البترول فإنه يستطيع السريان بسهولة خلال الصخور المنتجة فمن شأن الزيادة الفائقة فى معدلات الإنتاج أن تؤدى إلى أن يتخذ الماء شكلا مخروطياً (Water coning) حول البئر وخاصة إذا كان البترول عالى اللزوجة . ويتسبب مخروط الماء فى حبس جزء كبير من البترول داخل مسام التربة ، ولا يمكن استخراجه إلا بواسطة طرق الإنتاج الثانوية أو بالمعالجة الخاصة للخزان البترولى .

٢ ــ الدفع بغاز الخزان :

فى هذه الحالة يكون مصدر الطاقة الرئيسى لتحريك البترول داخل الصخور هو تمدد غاز الخزان البترولى . وينشأ هذا التمدد نتيجة لانخفاض ضغط الخزان مع تقدم عمليات الإنتاج من طبقة الزيت الواقعة تحت الغاز (شكل رقم ١١٠) . فعند تمدد الغاز فإنه يدفع البترول إلى أسفل وبالتالى ينخفض مستوى تلامس الغاز والبترول . وللاستفادة من تمدد الغاز استفادة قصوى يجب ألا ينتج أى غاز من الغازات الموجودة فى الخزان ، ولذلك يجب أن تكون مواقع الآبار الإنتاجية على جوانب التركيب الجيولوجى وليس على قمته . وعندما يصل مستوى البترول والغاز إلى بعض الآبار يجب إغلاقها لتجنب تبديد طاقة الخزان البترولى .

وقد يحدث أيضاً نتيجة لاقتراب مستوى تلامس البترول والغاز من الآبار فى حالة الإنتاج بمعدلات مرتفعة أن يتخذ مخروط الغاز (Gas coning) اتجاها إلى أسفل نحو



(شكل ١١٠) حقل منتج بواسطة الدفع بغاز الخزان

البئر (وذلك بنفس الطريقة التى يظهر بها مخروط الماء صاعداً) مما ينتج عنه انخفاض فى معدل الإنتاج . ولذلك يجب تجنب حدوث هذه الظواهر للمحافظة على قوة الدفع المحركة للبترول داخل الخزان .

٣ ــ الدفع بالغاز الذائب :

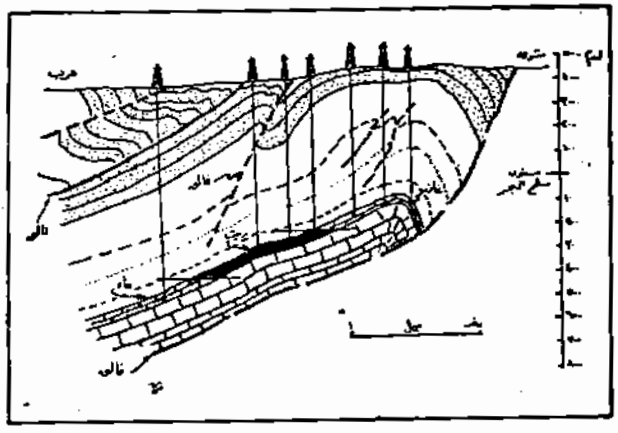
الخزانات البترولية التى تنتج بهذه الطريقة حساسه جداً ، وذلك لأن إنتاج البترول يتسبب فى انخفاض ضغط الخزان إلى ما دون (ضغط التشبع) (Saturation) pressure) وهو الضغط الذى يبدأ الغاز عنده بالانفصال من البترول . وفى هذه الحالة يتم الحصول على الطاقة اللازمة لدفع البترول من التمدد المستمر لهذا الغاز المنفصل نتيجة لانخفاض الضغط ، ويندفع خليط من الغاز والبترول نحو الآبار .

ولذلك نجد أنه من الحكمة إنتاج أقل كمية ممكنة من الغاز مع البترول وإقفال الآبار التى تنتج كمية غير إعتيادية (كبيرة) من الغاز . كما يجدر النظر إلى أن ما يمكن إنتاجه من البترول بهذه الطريقة هو أقل بكثير مما يمكن إستخراجه بوجه عام بواسطة الدفع بالماء أو الدفع بغاز الخزان .

٤ ــ التصريف بالجاذبية :

كلما إشتد إنحدار الطبقات الحاملة للبترول وزادت نفاذيتها إزداد وضوح أثر الجاذبية . فالغاز الناتج من البترول فى تركيب شديد النفاذية والانحدار ، يتحرك إلى أعلى بسهولة وذلك بفعل الجاذبية حيث يتم تجمعه ويمكن بالتالى سحب البترول من آبار تحفر على جوانب التركيب الجيولوجى . (شكل ١١١) .

ومن البديهى أن الجاذبية سيظل لها أثر ملموس سواء تم الدفع بالماء أو بغاز الخزان أو بالغاز الذائب .



(شكل ١١١) قطاع فى حقل ترنر فالى فى ولاية البرتا بكندا
حيث يظهر تجمع الغاز فى قمة التركيب وتجمع الزيت والماء
على جانب التركيب الجيولوجى .

(ب) تقدير الاحتياطى البترولى :

تهدف عمليات استغلال حقول البترول إلى إستخراج أكبر كمية من الخزان البترولى .

فيمكن لنا فى حالة خزان عادى إستخراج ٣٠ ٪ من البترول الموجود منه فى الأصل . وإذا كان البترول قليل اللزوجة وصخور الخزان مكونة من رمال ذات نفاذية عالية ، أمكن إستخراج حوالى ٨٠ ٪ بواسطة الدفع بالماء . أما فى حالة خزان مكون من حجر رملى دقيق الحبيبات ينتج بترولا لزجا فإنه لايمكن أن يستخرج أكثر من ١٠ ٪ بالاستنزاف الطبيعى . إن معامل الاستخراج (Recovery factor) يشير إلى نسبة البترول التى يمكن سحبها من احتياطى الخزان وهذا المعامل يمكن تحسينه أحيانًا بطرق الاستخراج الثانوية .

إن إحتياطى البترول (Rreserves) وهو مجموع حجم الزيت الذى يجب استخلاصه . ويقسم الاحتياطى إلى ثلاثة أنواع هى :

١ ــ الاحتياطى المؤكد : (Proved reserve)

وهو كميات البترول المؤكد وجودها والممكن إستخراجها إقتصاديًا بالأساليب الفنية المتبعة .

٢ ــ الاحتياطى المحتمل (Probale reserves) :

وهو الاحتياطى الذى يرجح وجوده فى مناطق مجاورة لمناطق أخرى ثابت أنها حاملة للبترول أو هو الاحتياطى الإضافى الذى يحتمل الحصول عليه فى حالة الاستعانة بطرق الاستخراج الثانوية.

٣ ــ الاحتياطى المتوقع : (Possible reserves)

وهو الاحتياطى الذى يمكن التوقع العثور عليه فى حقل خارج مناطق الإحتياطى المؤكد أو المحتمل أو الممكن استخراجه بواسطة الإنتاج الثانوى .

ويقل فى المرحلة الأولى من الحفر مقدار الإحتياطى المؤكد نسبياً بينما يزيد الاحتياطى المحتمل والمتوقع نسبياً . ولا يمكننا تحديد إحتياطيات حقول البترول تحديداً معقولا إلا بعد الانتهاء من حفر جميع الآبار .

(ح) طرق الإنتاج :

بعد إنجاز الآبار التى تم التأكد من احتوائها على البترول يجب تيسير طرق ووسائل استخراجه من الطبقة المنتجة وتوصيله إلى سطح الأرض . ويتميز إنتاج الآبار الأولى ، فى معظم الحقول ، بالتدفق الطبيعى (Natural flow) أى أنه يتدفق نحو السطح دون أى مساعدة . ولكن عند انخفاض ضغط الخزان البترولى فى مرحلة لاحقة نتيجة لعمليات الإنتاج ، يصبح من الضرورى استخدام طرق الرفع الصناعية (artificial lifting) كالرفع بالغاز (Gas lifting) أو الضخ (Pumping) وخاصة فى الحقول المنتجة لخامات ثقيلة وشديدة اللزوجة يجب استخدام طرق الرفع الصناعى فور إنجاز البئر .

يستخرج الزيت من الطبقة المنتجة إلى سطح الأرض بواسطة مجموعة من المواسير يصل قطرها إلى أربع بوصات ، وتسمى مجموعة مواسير الإنتاج (Production pipes) ويتم إدخال هذه المواسير داخل البئر وتعليقها عند فوهة البئر بحيث يصل أسفلها فوق الطبقة المنتجة مباشرة، وتختلف ووظيفة مجموعة مواسير الإنتاج باختلاف طريقة الإنتاج المتبعة . ويمكن استبدال مواسير الإنتاج بوجه عام لتغيير طرق الإنتاج عند الضرورة كما

أن ذلك يسمح بملء البئر بالماء أو بسائل الحفر إذا مادعت الضرورة إلى وقف عمليات الإنتاج لإجراء إصلاحات فى البئر . وفيما يلى وصف للطرق الثلاث المتبعة فى إنتاج البترول هى :

١ ـ التدفق الطبيعى . ٢ ـ الرفع بالغاز . ٣ ـ الضخ .

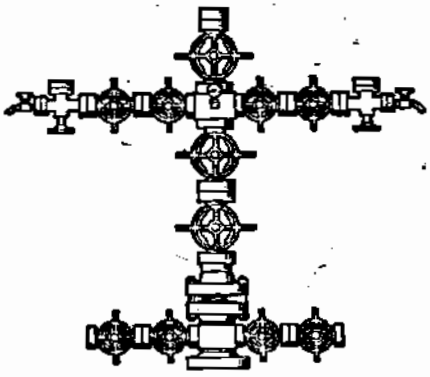
١ ـ التدفق الطبيعى : (Natural flow)

يتم الإنتاج بطريقة التدفق الطبيعى عندما يكون ضغط الخزان قادراً على دفع البترول من قاع البئر إلى سطح الأرض . ويلعب حجم أو قطر مواسير الإنتاج دوراً هاماً فى تحديد ما قد يؤدى إلى فقدان الضغط (Pressure losses) عندما يرتفع البترول فيها وذلك نتيجة للاحتكاك مما يؤثر بالتالى على معدل الإنتاج .

ويساعد فصل الغاز الذائب فى البترول على رفعه فى الأنابيب . أما إذا كان قطر مواسير الإنتاج كبيراً فإن الجزء الأكبر من هذا الغاز المنفصل يتخطى البترول فى الصعود ولايساعده على الارتفاع داخل مواسير الإنتاج . وبالعكس إذا كان قطر الأنابيب صغيراً ينشأ عن ذلك احتكاك زائد بين السائل وجدران الأنابيب مما يسبب زيادة الطاقة المفقودة نتيجه لهذا الاحتكاك فلا يرتفع البترول إلى سطح الأرض، ولذلك يجب حساب قطر مواسير الإنتاج حساباً دقيقاً مع الأخذ فى الاعتبار مقدار الضغط الأولى للخزان حتى لا تفقد هذه الطاقة ونضطر بعد ذلك إلى اللجوء إلى طرق الإنتاج الثانوية .

ويمكن التحكم فى كمية البترول التى يتم إنتاجها من البئر ، وذلك بتعديل وتغيير حجم الصمام (Bean) الذى يمر السائل من خلاله . أما مجموعة الصمامات التى توجد عند رأس البئر للتحكم الكامل فتسمى تركيبة رأس البئر (Cryxtmas tree) (شكل رقم ١١٢) .

يجب على مهندس الإنتاج أن يكون قادراً على التحكم فى البئر تحكما تاماً وذلك لتلافى حدوث أى نوع من الانفجارات التى قد تحدث نتيجة لارتفاع ضغط الغاز المفاجئ الذى قد يصل إلى ١٠,٠٠٠ رطل على البوصة المربعة أو أكثر ولذلك تجهز البئر بمعدات توقف الإنتاج فى حالة حدوث أى خلل فى معدات رأس البئر ، فصمامات الأمان الأوتوماتيكية الموجودة على سطح الأرض تقفل فوهه البئر ، ويمكن فى حاله عمليات الإنتاج البحرية ، تركيب صمامات خاصة على عمق فى البئر لوقف التدفق تحت سطح الأرض .



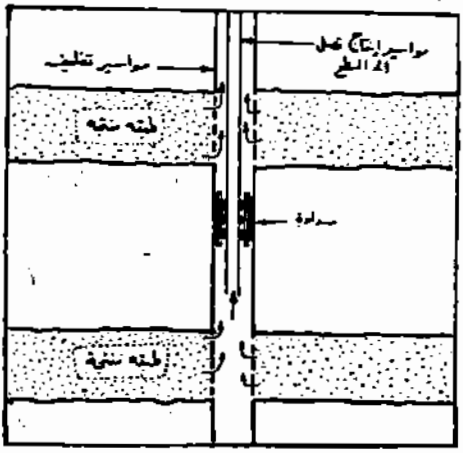
(شكل ١١٢) تركيبة رأس البئر

الإنتاج المزدوج : (Dual completion)

فى كثير من الحقول نجد أكثر من طبقة واحدة حاملة ومنتجة للبترول . وتختلف كل طبقة عن الأخرى فى الضغط وفى الخصائص الطبيعية والكيميائية للبترول . ولذلك نجد أن كل طبقة من هذه الطبقات تحتاج إلى عمليات إنتاج مستقلة . ويمكن إجراء ذلك أحياناً فى البئر الواحدة عن طريق الإنجاز المزدوج أو المتعدد كما هو مبين فى (الشكل رقم ١١٣) .

ويتميز هذا النوع من الإنجاز بأنه أرخص من بديله الذى يتطلب حفر آبار مستقلة لكل طبقة على حدة أو باستخراج كل طبقة بالتناوب داخل كل بئر ، ولكن فى هذه الحالة يكون معدل الإنتاج أقل من الحالة الأولى ، ويكون الرفع الصناعى مكلفاً وأكثر تعقيداً .

إن كمية البترول المنتجة بواسطة التدفق الطبيعى تفوق الكميات المنتجة بالطرق الأخرى مجتمعة . فهى طريقة بسيطة ورخيصة وطاقتها الطبيعية كبيرة . غير أن فعاليتها تقل كلما انخفض ضغط الخزان ومعدل الإنتاج ، وفى نهاية الأمر تأتى عادة مرحلة لا يمكن فيها المحافظة على الإنتاج إلا بتركيب مضخة أو جهاز رفع بالغاز .



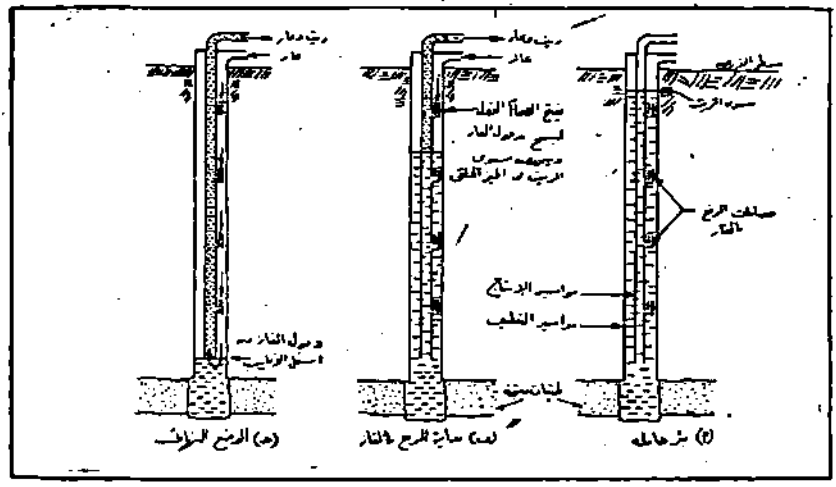
(شكل ١١٣) بئر منتجة بطريقة الإنجاز المزدوج

٢ ــ الرفع بالغاز : (Gas-lift)

تعتبر عملية الرفع بالغاز امتداداً طبعياً لعمليات إنتاج البترول بطريقة التدفق الطبيعى . وتتلخص هذه الطريقة فى زيادة الغاز المنتج مع الزيت صناعياً وذلك بحقن الغاز داخل مواسير الإنتاج بواسطة صمامات خاصة مركبة على أعماق مختلفة للتحكم فى كمية الغاز التى تدخل مجرى التدفق من خلال هذه الصمامات وتؤدى الزيادة فى نسبة الغاز المختلط بالبترول إلى خفض الضغط اللازم لرفع البترول إلى السطح ، فتزداد بالتالى معدلات الإنتاج عن مثيلاتها فى طريقة التدفق الطبيعى أو الضخ، وبذلك يمكن تأجيل تركيب معدات الضخ لفترة زمنية ما .

ويمكن توضيح كيفية إتمام عملية الرفع بالغاز كما يلى :

فى حالة بئر خاملة أى مملوءة جزئياً بزيت خامل لا يحتوى إلا على كميات ضئيلة جداً من الغاز يجب حقن الغاز إلى أسفل مواسير الإنتاج، وهذا يتطلب أن يكون ضغط الغاز المحقون كبيراً بمعدات ضخ قوية باهظة التكاليف . ولتجنب الحاجة إلى كمية الغاز العالى الضغط الذى لا يلزم إلا لبدء الإنتاج ، فإنه يجب تركيب صمامات الرفع بالغاز فى مجموعة مواسير الإنتاج عند نقط يتم تحديدها مقدماً عندما تكون مواسير الإنتاج على سطح الأرض قبل إنزالها داخل البئر (كما هو مبين فى الشكل رقم ١١٤) .

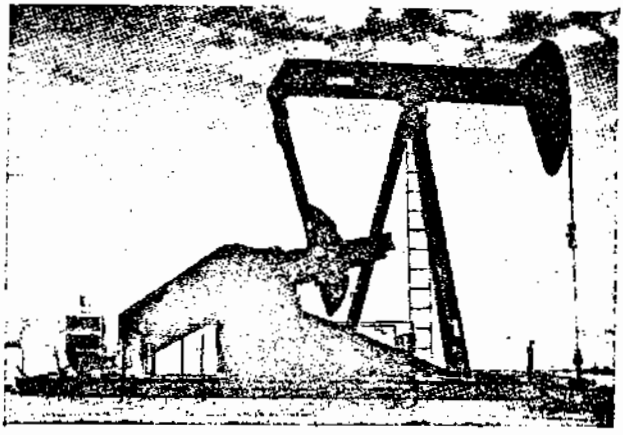


(شكل ١١٤) خطوات وضع بئر كاملة على الإنتاج بطريقة الرفع بالغاز

وهذه الصمامات تسمح بالغاز بالدخول إلى مجموعة مواسير الإنتاج فيختلط بالبترول ويقل بالتالى الوزن النوعى للخليط الذى يتحرك إلى أعلى فتبدأ من جديد عمليات الإنتاج . وباستمرار حقن الغاز فإنه يدخل من جميع الصمامات واحدة تلو الأخرى إلى أن يصل إلى أسفل مواسير الإنتاج أى فوق سطح الطبقة المنتجة تقريباً، وبذلك يستفاد من الغاز أقصى استفادة وتحتاج منشآت الرفع بالغاز عادة إلى استثمار مبلغ كبير لإعداد محطات لضغط الغاز إذا لم يتوفر الغاز ذو الضغط العالى فى الآبار القريبة ومن ميزات هذه الطريقة أن تكاليف صيانة وتشغيل وحدة الإنتاج بسيطة نسبياً . وتستعمل هذه الطريقة بصورة أساسية عندما يتطلب الأمر رفع معدلات الإنتاج للآبار . وتجدر الإشارة إلى أن طريقة الرفع بالغاز معروفة فى الولايات المتحدة الأمريكية منذ ١٨٦٤ حيث استخدم فيها الهواء بدلا من الغازات البترولية لتنشيط تحرك البترول داخل مواسير الإنتاج، أما فى الاتحاد السوفيتى فلم تستخدم هذه الطريقة إلا فى بداية عام ١٨٩٩ فى منطقة باكو بجنوب روسيا . ومنذ عام ١٩٠١ انتشر استخدام هذه الطريقة فى الولايات المتحدة الأمريكية ولقد استبدل الهواء المضغوط بالغازات البترولية فى عام ١٩٢٣ ومنذ ذلك الحين زاد الاهتمام بهذه الطريقة وزادت الدراسات والأبحاث فيها لتحسينها ، وبالتالى انتشر استعمالها فى جميع أنحاء العالم لكفاءتها ونجاحها فى تحقيق معدلات إنتاج مرتفعة .

٣ ـ الضخ : (Pumping)

تنتج عادة الآبار المتدفقة طبيعياً كمية من البترول أكثر مما ينتجه غيرها ، ولكن معظم الآبار المنتجة تدار بطرق رفع ميكانيكية تستخدم فيها مضخات جوفية صغيرة تركب داخل البئر وتحركها قضبان سحب (Sucker rods) من وحدة موجودة على السطح (شكل رقم ١١٥) .



(شكل ١١٥) معدات الضخ الموجودة على سطح الأرض

تثبت المضخة عادة أسفل مجموعة مواسير الإنتاج أو بداخلها ويرتفع الزيت عندئذ داخل مواسير الإنتاج بينما تتحرك الغازات الموجودة إلى أعلى داخل الحيز الحلقي بين مواسير التغليف ومواسير الإنتاج وبذلك لا يعوق ضخ الزيت جدياً .

أما الحركة الترددية لتشغيل المضخات الجوفية فتؤديها عادة وحدات عند السطح . يقوم بتشغيل هذه الوحدات محركات كهربائية أو ديزل (شكل رقم ١١٥) .

يتمتع هذا النوع من المضخات ببساطة تصميمه وشيوع استعماله بالرغم من بعض مساوئه التي تتلخص في تكرار عمليات سحب قضبان السحب إلى أعلى وضغطها إلى أسفل طوال ٢٤ ساعة يومياً ينطوي على خسارة في مشوار الغاطس (Stroke of plunger) وهي خسارة تزداد مع ازدياد عمق المضخة ، كما أنه قد تنكسر هذه القضبان نتيجة للإجهادات

المتكررة وللتآكل الناتج عن احتكاك قضبان السحب بمجموعة مواسير الإنتاج ، ولذلك تم تطوير أجهزة الضخ لتشغيل المضخة بوسائل أخرى، فمثلا تم تصنيع مضخات طرد مركزى جوفية تعمل بواسطة التيار الكهربائى المستمد من السطح بواسطة كابلات مربوطة بمجموعة المواسير . وتستخدم هذه الطريقة فى الآبار ذات الإنتاج المرتفع الذى يصل أحياناً إلى ٥٠٦٠ برميل فى اليوم . كما أنها مجهزة تجهيزاً حسنًا ومصممة بحيث يسهل استخدامها فى الآبار المائلة . أما عيب هذا النوع من المضخات فإنه حساس جداً لأى جسم صلب (رمل مثلا) موجود فى السائل الذى يتم إنتاجه كما يشكل الكابل الكهربائى عائقًا فى تشغيل المضخة وسحبها . مما يؤدى بالتالى إلى إيقاف عمليات الإنتاج .

(د) طرق الإنتاج الثانوى: (Secondary recovery methods)

هى طرق نلجأ إليها بعد فترة زمنية من بداية إنتاج الخام من أى حقل بترولى واستخدام إحدى طرق الإنتاج الثانوى يتوقف على عدة عوامل أهمها الضغط الأولى للخزان وطريقة انخفاض هذا الضغط مع الإنتاج المستمر للبترول :

تتوقف نسبة الزيت الممكن استخراجه من الخزان البترولى بواسطة الطاقة الموجودة أصلا فيه على خصائص صخوره وسوائله . فإذا كان الاستخراج بواسطة هذه القوى الطبيعية منخفضًا نسبيًا كان من المفضل اقتصاديًا تحسين نسبة الاستخراج بحقن الخزان بالسوائل .

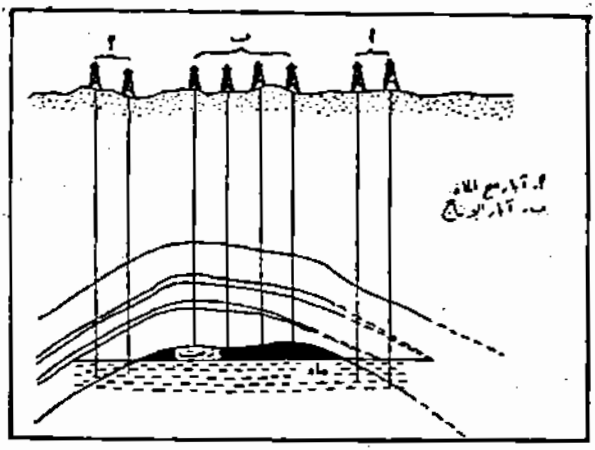
هناك عدة طرق مختلفة تتبع فى عمليات الاستخراج الثانوى منها :

١ ــ طريقة الإغراق بالماء Water flooding أو حقن الماء (Water injection)

٢ ــ طريقة حقن الغاز (Gas injection) وهما الأكثر انتشاراً .

١ ــ عملية الإغراق بالماء :

وفيها يحقن الماء تحت ضغط عال فى التركيب الجيولوجى فى آبار مخصصة لذلك ، وموجودة على أطراف هذا التركيب (شكل رقم ١١٦) مما يؤدى إلى إزاحة الزيت ودفعه نحو الآبار المنتجة الموجودة على قمة التركيب . ويجب على القائمين بتنفيذ هذا المشروع أن أن يراقبوا ويتتبعوا بعناية تقدم جبهة الماء (Water front) هذا التقدم يجب أن يكون منتظماً

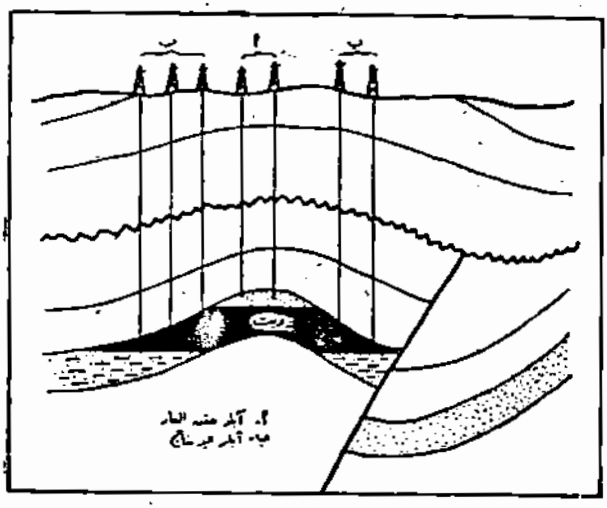


(شكل ١١٦) حقل تستعمل فيه طريقة الإغراق بالماء كإحدى طرق الإنتاج الثانوى

كما يجب أيضاً تحليل الماء المستخدم فى الحقن تحليلا كيمائيًّا لتحديد خواصه ، ومعالجتها كيمائيًّا لتقريبها من خصائص الماء الموجودة فى الخزان البترولى وذلك لتجنب انسداد مسام الطبقات البترولية بمادة عالقة أو بترسيب كيمائى .

٢ ــ عملية حقن الغاز :

أما عملية حقن الغاز فإنها تجرى بحقن كميات كبيرة من الغاز ذات ضغط مرتفع ، من آبار مخصصة للحقن موجودة على قمة التركيب الجيولوجى المحتوى على البترول (شكل رقم ١١٧)



(شكل ١١٧) حقل تستعمل فيه طريقة حقن الغاز كإحدى طرق الإنتاج الثانوى

مما يؤدى إلى دفع الزيت إلى أسفل فتزداد بذلك معدلات إنتاج الآبار الواقعة على جوانب التركيب البترولى .

ومع الإدراك المتزايد لفوائد المحافظة على الضغط الطبيعى فى حقول البترول وبالذات عندما تكون معدلات الإنتاج للآبار مرتفعة ، أصبحنا نلجأ الآن إلى استخدام إحدى طرق الإنتاج الثانوية فى بداية حياة الحقل ولا ننتظر إلى أن ينخفض ضغط الخزان البترولى . وبالتالى يجب التحكم فى مقدار ما يحقن من ماء أو غاز وفى مقدار ما يتم إنتاجه من زيت وغاز بطريقة تبقى الضغط فى الخزان على المستوى المطلوب . وتسمى هذه العملية (المحافظة على الضغط) (Pressure maintenance) .

وبالتقدم فى الأبحاث والدراسات والتطور السريع فى التكنولوجيا تم فى السنوات الأخيرة التوصل إلى تطبيق عمليات إنتاج ثانوى جديدة . فقد تم التوصل إلى استخدام طرق استخلاص حرارية (Thermal recovery) تستخدم فى حقول البترول ذات الخام الشديد الثقل والمرتفع اللزوجة .

وتعتمد هذه العمليات على خفض درجة اللزوجة فى الزيت فى باطن الأرض بالتسخين الذى يتم بحقن البخار أو الماء الساخن أو بحرق الزيت الخام جزئياً عن طريق حقن الهواء وتسمى عمليات الاحتراق الموضعى . (Insitue Combustion)

أما فى حالة الخزانات البترولية التى تحتوى على زيت خفيف فيمكنها استخراج كميات من الخام بحقن مزيج مناسب من الغاز الطبيعى ومنتجات البترول الخفيف .

ولذا نجد أنه باختلاف حالة الخزان البترولى تختلف طريقة الإنتاج الثانوية التى يجب أن تتبع لكى تتناسب مع حالة الخزان، وذلك للحصول على أعلى نسبة استخراج ممكنة .

(هـ) صيانة الآبار وتنشيطها : (Workover & Stimulation)

١ – صيانة الآبار : (Workover)

تحتاج الآبار طوال فترة إنتاجها ، إلى عمليات صيانة وعناية فائقة لاستخراج أغلب الزيت الموجود فى الطبقة البترولية . وتتفاوت مقدار العناية المطلوبة تفاوتاً كبيراً ، وتخضع لتأثيرات خصائص الخزان البترولى (أى نوع التكوين ونوعية الزيت الموجودة وما إلى ذلك من متغيرات) وكذلك يخضع لطريقة الإنتاج . عموماً آبار الضخ هى أكثر الآبار حاجة إلى العناية المستمرة طوال فترة إنتاجها .

ومن المشاكل الميكانيكية التى يكثر حدوثها فى الآبار ما يلى :

١ ــ دخول الرمل إلى قاع البئر .

٢ ــ ترسيب الشمع فى مواسير الإنتاج .

٣ ــ كسر قضبان السحب .

٤ ــ تأكل البساتم والصمامات فى المضخات الجوفية .

ويدخل الرمل عادة إلى البئر بالرغم من استخدام مختلف أنواع مواسير التغليف أو أساليب تثبيت الرمل . ومن مضار وجود الرمل أنه يعمل على تأكل أجزاء مختلفة فى المضخة وقد يتسبب فى تأكل صمامات تركيبة رأس البئر وكذلك المعدات الموجودة على سطح الأرض اللازمة لعمليات الإنتاج . كما أنه قد يترسب فى قاع البئر ويتراكم إلى ارتفاع كبير داخله .

ويمكن التغلب على هذه المشكلة بإزاحة الرمل بواسطة أنبوب مفتوح له صمام فى القاع يدلى به فى البئر بواسطة خط سلكى (Wire line) أو أن نقوم بضخ خليط ، من الزيت والماء فيعمل هذا الخليط على سحب الرمال المتراكمة إلى أعلى خارج البئر وفى بعض الأحيان نضطر إلى استعمال الطريقتين السابقتين مجتمعتين .

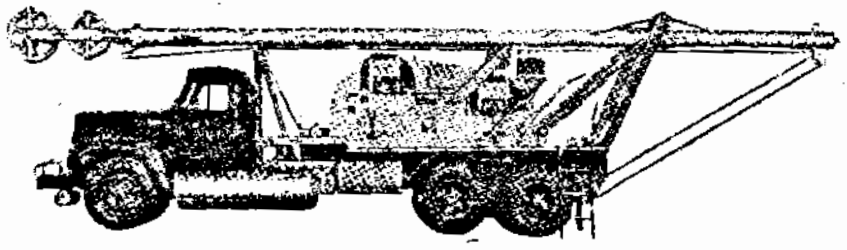
وفى هذه الحالة نضطر إلى وقف إنتاج البئر لعدة أيام .

ويترسب الشمع (البرافين) أحيانًا من بعض أنواع الزيت على جدران مجموعة مواسير الإنتاج ، وبالذات فى الجزء الأعلى البارد من البئر . ويمكننا أحيانًا إزالة هذا الشمع بالطرق الميكانكية ، ولكن قد تدعو الحاجة إلى سحب مجموعة مواسير الإنتاج وتسخينها بواسطة البخار لإذابة الشمع .

من أجل تجنب عمليات السحب المعطلة والمرتفعة التكاليف ينبغى رفع درجة حرارة الزيت، أحيانًا وذلك بتسخين الجزء العلوى من مواسير الإنتاج بالكهرباء أو بحقن البئر ، بزيت ساخن . ويمكنا التقليل من تكوين رواسب الشمع بتبطين المواسير بمادة لدنة ، (بلاستيك) تجعل السطح أملس .

يتم استخراج قضبان السحب ومجموعة مواسير الإنتاج من البئر لاستبدال القضبان المكسورة أو لتغيير المضخات الجوفية وإزالة الرمل بواسطة جهاز رفع وصارية متداخلة الأجزاء

موكبة على سيارة نقل (كما فى الشكل ١١٨) . ويمكنا استعمال أبراج الإنتاج الصغيرة عندما تكون موضوعة فى بئر ما لإتمام عمليات الصيانة السابق ذكرها .



(شكل ١١٨) جهاز رفع وصارى حفر مركبان على سيارة نقل

وبالإضافة إلى أعمال الصيانة الروتينية قد يلزم الأمر القيام بإصلاحات جذرية تتفاوت تفاوتاً كبيراً فى طبيعتها ومداها مثل التحكم فى رأس بئر يتسرب منه الزيت ، وهذه من الإصلاحات البسيطة ، إلى اعمال أكثر تعقيداً مثل مد مواسير تغليف ، جديدة للجزء الاسفل من البئر ومن أكثر الاصلاحات شيوعاً هو عزل الماء الذى يدخل البئر من أحد أجزاء الطبقة المنتجة ، ويتم ذلك عادة بحقن الاسمنت فى الطبقة عند النقطة التى يحدث منها التسرب .

وقد تتطلب هذه العملية ضغوطاً عالية جداً تحتاج إلى استخدام مضخات إضافية كما تحتاج إلى وضع صمامات (Pakers) خاصة حول الفتحة الموجودة لحصر هذه الضغوط ولوضع الأسمنت فى المكان الصحيح .

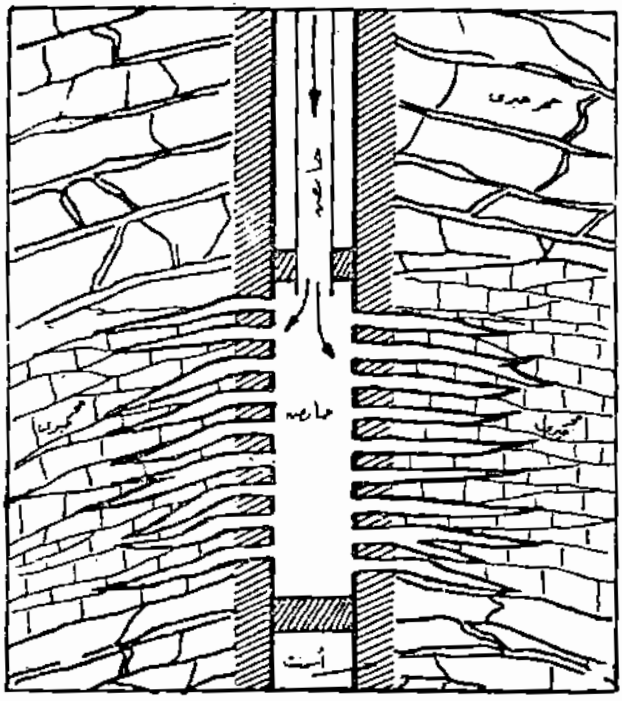
٢ ــ تنشيط الطبقات المنتجة : (Stimulation)

من النواحى المهمة فى انتاج البترول هو تنشيط الطبقات المحتوية على الخام، وذلك، بمعالجة الآبار من أجل تحسين معدل انتاجها . وهناك طريقتان تتبعان عادة وهما :

(ا) حقن الحامض : (Acidizing)

المعالجة بالحامض عملية قديمة وتستعمل عادة فى تنشيط طبقات الحجر الجيرى لزيادة إنتاجيتها وذلك بمحاولة زيادة قيمة نفاذية هذا الحجر الجيرى فى المنطقة المحيطة بالبئر (شكل رقم ١١٩) ويتم ذلك بضغط محلول من حامض الهيدروكلوريك مضافاً إليه فى

أغلب الأحيان مواد كيميائية أخرى فى هذه الطبقات فيعمل على توسيع مجارى التدفق بإذابة الحجر الجيرى مسهلا انتقال الزيت الخام نحو البئر .



(شكل ١١٩) حقن الحامض فى طبقات الحجر الجيرى لتحسين نفاذيته

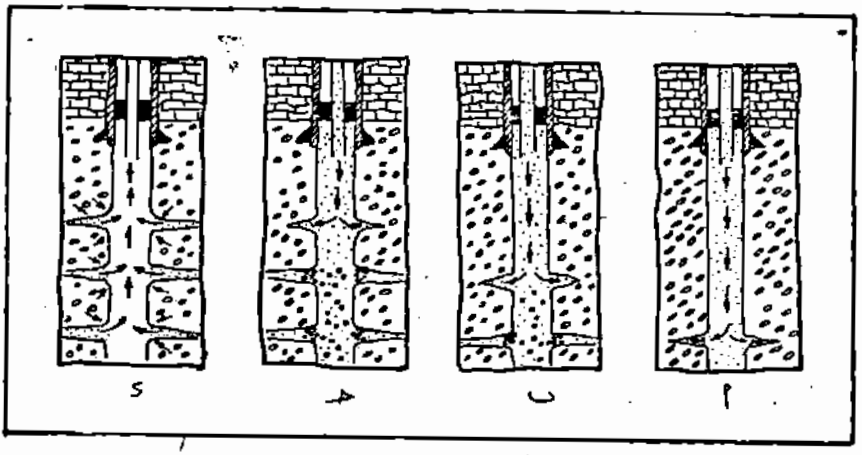
(ب) إحداث شقوق : (Fracturing)

وهى الطريقة الثانية المستخدمة لتنشيط الآبار خصوصاً فى حالة صخور الحجر الرملى والطبقات المكونة من رمال متماسكة . فى هذه الطريقة نعمل على إحداث شقوق فى الطبقة المنتجة (شكل رقم ١٢٠) وذلك بأن نضغط فيها ماء أو زيتاً بسرعة عالية ، وتحت ضغط مرتفع تشكل هذه الشقوق مجارى لتدفق الزيت مما يزيد من سرعة الإنتاج .

وللمحيلولة دون انسداد هذه المجارى عند إبطال الحقن تمزج عادة بالسائل المضغوط كميات من الرمل وكريات من الزجاج ومن الالومنيوم وما أشبه ذلك فتحول دون إنسداد الشقوق .

وتستخدم أيضاً المعالجة الكيميائية (؟) من أجل تخفيف انسداد الطبقات الموجودة

قرب البئر بالمواد الطينية المترسبة من سائل الحفر . وعند نضوب الطبقة المنتجة فبالإمكان إعادة إنجاز (Recompletion) البئر في منطقة أعلى منها بتركيب سدادة من الأسمنت (Cement plug) عند الطبقة الأولى وإحداث ثقوب في مواسير التغليف المواجه للطبقة العليا .



(شكل ١٢٠) أ ، ب ، جـ : المراحل المختلفة لإحداث الشقوق في طبقات الحجر الرملي
د : في مرحلة الإنتاج من هذه الشقوق

(و) محطات تجميع الزيت وفصل الغاز والماء :

١ ـ محطات التجميع :

منذ حوالي ثلاثين عام مضت زاد الاهتمام بالبحث عن البترول تحت مياه البحيرات والبحار والمحيطات ، وتم فعلا اكتشاف حقول بترولية بحرية ضخمة جداً. يتطلب استغلال هذه الحقول وجود محطات بحرية لتجميع الزيت . وتختلف هذه المحطات البحرية اختلافاً كبيراً عن محطات التجميع المقامة على الأرض . وذلك لأن المنصات البحرية الممكن إنشاؤها مساحتها محدودة مهما كانت الأحوال ، ولا نستطيع أن نقيم فوقها خزانات من الصلب لتجميع البترول فيها وتخزينه لحين شحنه في ناقلات البترول ، وإنما نستطيع أن ننشيء مضخات كبيرة تضغط البترول الآتي من الآبار في خط أنابيب كبير يصل المحطة بالشاطيء حيث تقام مستودعات التخزين .

يصاحب الزيت المنتج من الآبار قدر معين من الغاز وفي أغلب الأحيان يكون

مصحوباً بالماء أيضاً . ولذلك يجب تيسير المرافق اللازمة لفرز الغاز والماء من الزيت ولقياس إنتاج كل منها .

ينقل انتاج كل بئر من الآبار بحرياً كان أو فوق سطح الأرض خلال خط أنابيب من فوهة البئر إلى محطة التجمع ويسمى خط الإنتاج (Production line) . وهذه المحطة مزودة بأجهزة لفرز الغاز وبخزانات يمكن قياس الزيت فيها وتصريف ما يستقر منه من ماء . ويكون إنتاج الآبار فى المحطة مختلطاً بوجه عام إلا أنه يوجد عادة مجموعة مستقلة من أجهزة فرز اختبارية وخزانات يحول إليها إنتاج كل بئر على حدة لقياسه .

ويضخ الزيت عادة من محطة التجميع إلى الخزانات الرئيسية مباشرة إلا إذا كان لا يزال يحتوى على مقدار ملحوظ من الماء فيحول هذا الزيت إلى محطة فصل كيميائى لانتزاع الماء منه . وقد تدعو الحاجة إلى إجراء تغييرات محلية فى شبكات التجميع مثل تسخين الزيت الخام الثقيلة قبل ضخها . أو فرز الغاز وتخفيض الضغط على مراحل متعددة وربما عند فوهة البئر إذا كان الضغط فى الآبار مرتفعاً .

٢ ــ فصل الغاز عن الزيت :

تتكون أجهزة فصل الزيت والغاز أساساً من أوعية اسطوانية رأسية أو أفقية تحتوى على عوارض يتم فيها فرز الزيت والغاز ؛ ويختلف التركيب التفصيلى لأجهزة الفصل اختلافاً شاسعاً حسب السعة المطلوبة وضغط التشغيل الذى يتراوح بين بضع عشرات من الأرطال وعدة آلاف من الأرطال على البوصة المربعة .

ويمكن نقل الغاز المنفصل فى خط أنابيب لتوصيله إلى خارج الحقل وبعيداً عن المنشآت الأخرى ليتم حرقه . غير أن هذا الغاز من شأنه أن يكون مصدراً قيماً للطاقة فى حقل البترول كاستخدامه فى الغلايات والمحركات التى تدور بالغاز أو لحقنه من جديد فى الطبقات الحاملة للزيت . وقد يحتوى الغاز على عناصر قيمة يمكن استخدامها فى الصناعة بعد تسييلها فى وحدات خاصة .

٣ – فصل الماء :

(ا) فصل الماء عن الزيت :

فى معظم الحالات يكون الماء مرافقاً للزيت الخام المنتج . ووجود هذا الماء غير مرغوب فيه إذ أنه يحتل مكاناً فى ناقلات البترول وفى الخطوط الأنابيب وفى مرافق التخزين التى يجب من الوجهة الاقتصادية أن تقتصر على الزيت الخام وحده . ثم إن الزيت الخام المرسل إلى معامل التكرير يجب ألا يحتوى على أكثر من ١ ٪ من الماء وذلك لمساعدة المعمل على القيام بالمعالجة الفعالة ويفصل معظم الماء الذى ينتج مع الزيت قبل شحنة من الحقل إلى المعامل .

تتم عملية الفصل هذه فى خزانات ضخمة . فالماء المنفصل تلقائياً عن الزيت الخام يجرى سحبه من صمام موجود فى الجزء الأسفل من الخزان . إلا أن الماء يوجد أحياناً على صورة قطرات دقيقة جداً (مجهرية) فى مستحلب الماء والزيت (Oil-Water emulsion) وهذه القطرات لا تترسب فوراً بل يجب حثها على الاندماج مع بعضها لتصبح قطرات كبيرة تترسب تلقائياً .

ولتحقيق هذه الغاية يجب أن نعالج المستحلب معالجة خاصة فنقوم بضخ الإنتاج المبلل (Wett product) من محطة التجميع إلى معمل انتزاع الماء حيث نقوم بتسخين المستحلب ونضيف إليه بعض المواد الكيميائية من أجل التعجيل فى اندماج قطرات الماء . أو يمكن تمرير المستحلب بين قطبين كهربائيين يمر بينهما تيار كهربى متردد بحيث يبلغ الجهد بينهما مقدار ١٥٠٠٠ فولت تقريباً .

يعد تصريف هذه الكميات الضخمة من المياه الناتجة من عمليات الفصل مشكلة نظراً لأنه يحتوى عادة على نسبة عالية من الملح قد تلوث شبكات التصريف السطحية . غير أنه يمكن فى كثير من الأحوال حقن هذا الماء وإعادته إلى الطبقات البترولية مرة ثانية وذلك فى حالة تطبيق إحدى طرق الإنتاج الثانوى وهى الإغراق بالماء .

(ب) فصل الماء عن الغاز المنتج مع الزيت :

يكون الغاز المفصول عن الزيت عادة مشبعاً بالماء ، فإذا استدعى الأمر نقل الغاز مسافات طويلة فيجب إزالة معظم الماء منعاً لتآكل خطوط الأنابيب . ويتم فصل هذا الماء من الغاز إما بامتصاصه أو بامتزازه بواسطة مواد صلبة معينة لها هذه القدرة .

(جـ) فصل الماء عن الغاز المستخرج من آبار الغاز :

يسبب تكوين الهيدرات انسداد الصمامات فى آبار الغاز ذات الضغط المرتفع وكذلك فى خطوط نقل الغاز فى الحقول المنتجة للغازات البترولية . والهيدرات (hydrates) عبارة عن مركبات بللورية من الماء وبعض عناصر الغاز . وتتكون هذه المركبات التى تبدو كالثلج المتصلب بفعل التبريد خاصة عندما يتمدد الغاز ذو الضغط المرتفع والذى يحتوى على بخار ماء ، عند تخفيض ضغطه .

ولتجنب ذلك تستخدم غالباً عملية فصل للسوائل عند درجات حرارة منخفضة حيث يتم فيها فصل معظم الماء من الغاز ، وكذلك بعض الهيدروكربونات التى تكون فى الحالة السائلة .

ولمنع تكون الهيدرات فى الخط بين بئر الغاز وأجهزة الفصل ذات الحرارة المنخفضة يمكن حقن مادة الجليكول فى الخط عند رأس البئر ثم استعادتها من أجهزة الفصل لاعادة استخدامها ثانية .