الأخطار المهنية وأخطار عموم الجمهور للغاز الطبيعي أقل من المعدل الخاص بنظيره النفط إلا أن معدل الوفيات بسبب الأحداث العنيفة للغاز تتفوق على المعدل الخاص بالنفط .

● الطاقة المائية

تعد الطاقة المائية ومساقط المياه من أنظف مصادر الطاقة على الإطلاق من حيث تأثيراتها البيئية حيث لا يتولد عنها أية مخلفات صلبة أو سائلة ولا تنطلق عنها أية غازات حابسة للحرارة أو مسببة للحموضة إلا أن المصادر المائية تتميز بأعلى معدل للتأثيرات الصحية لعموم الجمهور بسبب الحوادث العنيفة الناجمة عن إنهيار السدود. وبالإضافة إلى ذلك يتميز هذا المصدر بإهدار مساحات شاسعة من الأرض ويغير نمط الحياة والنظم البيئية عليها ، وقد يؤدي إلى انقراض أصناف من النبات والحيوان والأسماك .

● الطاقة النووية

تعد الطاقة النووية من حيث التأثيرات البيئية العاجلة قليلة التأثير حيث لاينطلق عنها غازات ثاني أكسيد الكربون أو أكاسيد الكبريت والنيتروجين . إلا أنه يتولد عنها كميات محدودة من هذه الغازات نتيجة عمليات استخراج وتصنيع الوقود النووي ، ويقترب معدل الوفيات الناجم عنها من معدل الغاز الطبيعي من حيث التأثيرات المهنية وعلى عموم الجمهور يقل معدل الوفيات عن الحوادث العنيفة من الطاقة النووية بالمقارنة بجميع المصادر الأخرى . إلا أنه يبقى تأثير هام للطاقة النووية مازال خاضعا للتقويم وهو المخاطر الآجلة الناتجة عن الحوادث العنيفة كحادث مفاعل تشرنوبل . كذلك فإنه ينبغي أن تدرج النفايات المشعة المتخلفة عن الطاقة النووية في الحسبان ، لأنها تبقي بعد إستغلال الوقود النووي في توليد الطاقة لأكثر من ألف عام ، كما أن التخلص منها - زيادة على تكلفته الباهظة - قد يتسبب فى إضرار بيئية وصحية .

المياه المصاحبة للنفط والتخلص منها

م / محمد عبد القادر الفقي

لم يكن المنتجون الأوائل للنفط يدركون وجود الماء والزيت معا في المكامن البترولية ، وفي الحقيقة ، لم يتم الإعتراف بوجود المياه في مسام الصخور الحاملة للنفط حتى عام ١٩٣٨م ، رغم الإشارة إليها في عام ١٩٢٨م بوساطة العالم توري (Tory) ، حيث كان مقتنعا بأن المكامن النفطية تحتوي على مياه تتناثر في مسام التكوينات الصخرية ، ومن المؤسف أن إعتقاد توري هذا قد قوبل وقتذاك بالرفض من قبل زملائه العاملين في جيولوجيا البترول ، ذلك أن معظم الآبار المنتجة للنفط في ذلك الحين لم تكن تنتج ماء عند الإنتهاء من إكمالها ، وبعد ذلك تعرَّف كل من جريسوولد (Griswold) و مَّنْ (Munn) على وجود مخاليط الزيت والغاز مع الماء ، ولكنهما كانا يعتقدان أن ثمة إنفصالا محددا للزيت عن الماء ، وأن مخاليط الزيت والغاز والماء لا توجد في الصخور الرملية قبل أن تخترق البئر المحفورة المكمن النفطي .

تم إنشاء أول معمل تجاري لتحليل عينات الصخور الإسطوانية عام ١٩٢٨م ، وكانت أول عينة إسطوانية يتم إختبارها معمليا هي تلك التي أخذت من حقل برادفورد (Bradford) بولاية بنسلفانيا الأمريكية ، حيث تم تحديد نسبة تشبع كل من الزيت والماء ونسبة المسامية ، وتمثيل ذلك بيانيا مع العمق . وقد استنتج توري من دراسته للأملاح المعدنية الذائبة المستخلصة من هذه العينة أن الماء يوجد بصورة فطرية في الصخور الرملية المنتجة للزيت .

كان مَّنْ أول من أدرك أن المياه الجوفية المتحركة قد تكون السبب الأول لهجرة وتراكم الزيت والغاز ، غير أن نظريته كانت تفتقر إلى بيانات معملية تدعمها ، واستمر الحال إلى أن قام ميلز (Mills) بإجراء عدد من التجارب المعملية حول تأثير حركة الماء والغاز على الموائع والرمال في المكامن النفطية . وقد استنتج ميلز أن هجرة الزيت والغاز وعلوهما فوق الماء تنجم عن عاملين ، هما : قوة الدفع التي تسبب طفو الزيت والغاز فوق الماء ، والتيارات المائية . وقد تعرضت هذه النظرية حينذاك لمناقشات مستفيضة من قبل كثيرين من معاصري ميلز ، ورفضها أغلبهم .

وقد أكدت الحسابات الحجمية التي تم إجراؤها لمعرفة النواحي الهندسية المتعلقة بحقن المياه في حقل برادفورد وجود المياه بوجه عام في الفراغات المسامية الواقعة بين حبيبات الصخور الرملية . وقد وفر جاريسون (Garrison) وسيلثويس (Schilthuis) معلومات تفصيلية حول توزيع المياه والزيت في الصخور المسامية وحول أصل ووجود المياه الفطرية كما قدَّما معلومات حول العلاقة بين تشبع الصخور المحتوية على النفط بالماء وبين نفاذية التكوين الصخري للمكمن النفطي .

أصل المياه المصاحبة للنفط

تتكون الصخور الرسوبية الحاملة للنفط من رواسب طباقية تكونت في المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار ،

وعليه فمن الطبيعي أن تكون هذه الرواسب مليئة بالمياه ، وستظل هذه المياه في تلك الرواسب إلى ما شاء الله .

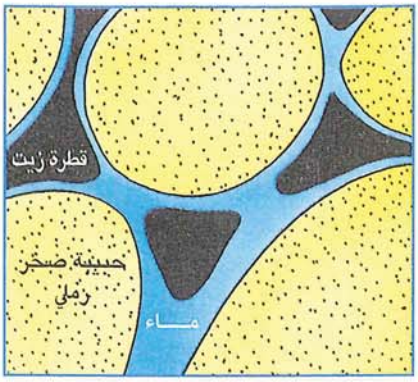
ووفقا لنظرية النشأة العضوية للنفط فإن الكثير من الطبقات الرسوبية السميكة ترسبت في بيئات بحرية . لذا فإن المياه الأصلية المصاحبة للنفط في مثل هذه الرواسب تعد مياها بحرية ، أما رواسب البحيرات والأنهار القديمة فإنها تحتوى على مياه أقل في بداية ترسبها . ولكن مع تعاقب السنين ووقوع الأحداث التكتونية ، إضافة إلى غمر البحار والمحيطات لهذه الرواسب وإنحسارها عنها ، فإن هذه الرواسب قد تعرضت آنذاك للمياه البحرية نتيجة لعملية الإرتشاح (Infiltration) .

تتسبب الأحداث التكتونية التي تتعرض لها الطبقات الرسوبية في هجرة النفط من صخر المصدر (Source Rock) إلى صخر المكمن ، ولما كان النفط (كالزيت والغاز) أقل كثافة من الماء ، فإنه يطفو فوق كتلة الماء سواء أكانت فوق سطح الأرض أم تحته . وبناءً على هذا فإن المياه المصاحبة للنفط في المكامن تحت السطحية تسمى مياه حقول النفط .

من الصعب معرفة أصل المياه المصاحبة للنفط لأنها يمكن أن تكون قد وجدت معه في تواريخ مختلفة ومتباعدة . فقد تكون المياه موجودة أصلا داخل الصخور الرسوبية وفي هذه الحالة فإنها تعد مياها باطنية المنشأ (Endogenetic) ، وقد تكون مياها إرتشحت من سطح الأرض أو نفذت مع تراكم الرواسب ، وفي هذه الحالة فإنها تعد خارجية المنشأ (Exogenetic). ويمكن لهذين النوعين من المياه أن يلتقيا ويختلطا في الطبقات تحت السطحية ، ومن ثم فإن الخليط قد يحتوي على مياه ناشئة من مصدرين مختلفين ، وبوجه عام يمكن القول أن مياه البحر تمثل أغلب المياه الموجودة في الطبقات الرسوبية.

المياه المصاحبة للنفط

يوجد الماء المصاحب للنفط على عدد من الأشكال وذلك على النحو التالي : ـ



● شكل (١) حبيبات الصخر الرملي مغطاة بالمياه القطرية وقطرات الزيت .

أولاً : مياه المكامن النفطية

يوجد الماء داخل المكامن النفطية في أربع صور هي : ـ

١ ـ المياه القطرية

توجد هذه المياه في التكوين الصخري للمكمن منذ نشأته ، ولما كان المكمن النفطي يوجد في طبقة صخرية رسوبية كانت تغمرها مياه البحر في الأزمنة القديمة ، فإن بعض مياه البحر تظل محصورة بين حبيبات الصخور المكونة لهذه الطبقة . ويسمى هذا النوع من المياه بالمياه القطرية (Connate Water) ، شكل (١) ، أو المياه المسامية (Interstitial) لأنها توجد بين فراغات الحبيبات المكونة لصخور المكمن النفطي .

٢ ـ مياه القاع

وهي المياه الموجودة تحت طبقة الزيت مباشرة في أي مكمن نفطي . وتعد مياه البحر التي كانت موجودة في الصخور الرسوبية المكونة للمكمن النفطي مصدرا لهذه المياه حيث تمت إزاحتها إلى قاع المكمن نتيجة لثقل وزنها النوعي مقارنة مع النفط .

٣ ـ مياه الحواف

وهي المياه التى توجد في حواف مكامن التراكمات النفطية نتيجة لتسرب المياه من سطح الأرض ـــ مثل مياه الأمطار ـــ حتى بلوغها تلك الحواف ، وتعد هذه المياه المصدر الرئيس للضغوط الجوفية التي تدفع الزيت عبر البئر في المكامن ذات الدفع المائي(Water Drive) .

٤ ـ مياه حقن الآبار

يساعد تنفيذ برامج حقن المياه على زيادة مقادير المياه المصاحبة للنفط إذ أنه مع استمرار عمليات الإنتاج فإن كثيراً من حقول النفط تنخفض فيها الطاقة الأولية التي ترفع الزيت إلى السطح إلى أقل المستويات لتصبح معدلات الإنتاج أقل مما كانت عليه في بداية المراحل الأولى من الإنتاج ، لذا تستخدم طرق ثانوية لإستخلاص النفط من المكامن ، ومن أكثر هذه الطرق شيوعا طريقة الإزاحة بالماء وفيها تضخ المياه خلال آبار خاصة إلى التكوينات الجيولوجية الحاملة للنفط لتدخل إلى المكمن النفطي من عدة نقاط خاصة من الأطراف ، وتقوم المياه المحقونة بإزاحة النفط أمامها ودفعه إلى الآبار المنتجة . تستمر عمليتا إنتاج النفط وحقن المياه متلازمتين عادة إلى أن تصبح معظم الموائع (Fluids) المنتجة من الآبار النفطية هي الماء .

ثانياً : مياه النفط المنتج

توجد المياه المصاحبة للنفط الخارج من آبار الإنتاج في صورتين هما ماء حر (Free Water) حيث يكون في شكل قطرات أو مقادير مختلفة من الماء ترافق النفط المتدفق من الآبار ، ومستحلب (Emulsion) كون في إحدى صورتين هما : ـ

١ ـ مستحلب الماء في الزيت

يعد مستحلب الماء في الزيت (Water in Oil Emulsion) أشهر أنواع المستحلبات الموجودة في النفط شيوعا ، وتصل نسبته إلى نحو ٩٥ ٪ من نسبة المستحلب الموجود في معظم النفط الخام المنتج من الآبار ، وفي هذا النوع من المستحلبات تكون قطرة الماء محاطة بغشاء رقيق مكون من الماء والزيت وبعض المواد التى تساعد على تكوين المستحلب كالأسفلت أو المواد الغروية أو الأحماض العضوية التي تذوب في النفط .

٢ ـ مستحلب الزيت في الماء

تبلغ نسبة مستحلب الزيت في الماء (Oil in Water Emulsion) نحو ٥٪ من نسبة المستحلب الموجود في أغلب النفط الخام ، وفيه تكون قطرة الزيت محاطة

بغلاف رقيق مكون من الماء ونسبة ضئيلة من الزيت وبعض المواد التي تساعد على تكوين المستحلب .

الجدير بالذكر أن المستحلب كلما كان أكثر إتزانا صعب فصل مكوناته ، أي صعب فصل قطرات الماء عن الزيت فيه ، ومن العوامل التي تجعل المستحلب أكثر إتزانا وثباتا ما يلي : -

- عدم امتزاج السائلين معا (الماء والنفط) .
- وجود عمليات تقليب كافية تجعل قطرات الماء تنتشر في الزيت أو العكس ، ونظرا لأن الزيت المنتج من الآبار يمر عادة عبر مجموعة كبيرة من الخطوط والأنابيب والوصلات والصمامات والمضخات ، فإن ذلك يساعد على تكوين المستحلب بإنتشار قطرات الماء في الزيت أو العكس .
- وجود مواد تساعد على تكوين المستحلب كبعض الحبيبات الصلبة الدقيقة مثل كبريتات الحديد ، وكبريتات الزنك ، وكربونات الكالسيوم ، والسيليكا ، وكبريتيد الحديد ، وكبريتات الألومنيوم .

صفات المياه المصاحبة

يطلق على المياه الموجودة مع النفط - إذا استثنينا مياه الحقن — المياه الملحية للحقول النفطية ، لأنها تحتوي على كميات كبيرة من الأملاح الذائبة فيها .

تختلف مياه آبار النفط من حيث تركيز الأملاح ونوعها من إقليم جيولوجي إلى آخر ومن تكوين إلى آخر في الإقليم الواحد ، ويتراوح تركيز أملاح مياه النفط بين المحاليل الملحية الخفيفة (من ألف إلى ثلاثة آلاف جزء من مليون) التي يمكن إستخدامها في بعض العمليات الصناعية ، والمحاليل الملحية المشبعة (أكثر من ٢٧٠ ألف جزء من مليون) التي يمكن أن تكون لها قيمة تجارية حسب نقاوة الأملاح المستخلصة منها .

دلت بعض التحاليل التي أجريت على المياه الفطرية أنها تشابه في تركيبها التركيب الحالي لمياه البحر ، غير أن معظمها قد تعرض لبعض التغيرات التي طرأت عليها منذ احتباسها في مسام الصخور الرسوبية ، وقد تتخلل مياه الأمطار عبر الصخور من خلال الكسور والصدوع وغير ذلك من المناطق الأخرى ذات النفاذية العالية جاعلة المياه الفطرية عبارة عن محاليل مخففة. ويدل وجود الكربونات والبيكربونات والكبريتات في مياه حقول النفط على أ ن بعض هذه المياه لا تزال تحمل آثارا عن أصلها الذي كانت عليه على سطح القشرة الأرضية . ويشير إزدياد تركيز المواد الصلبة الذائبة في المياه الفطرية على تركيزه في مياه البحر إلى حدوث تبخر جزئي للمياه أو حدوث إذابة لأملاح إضافية من الصخور المجاورة للصخور الحاوية لهذه المياه .

ويزيد تركيز الأملاح المعدنية في أغلب مياه الصخور الرسوبية لسببين هما زيادة العمق وملامسة هذه المياه لصخور ذات محتوى عالٍ من الأملاح المعدنية في الطبقات الجيولوجية الأكثر عمقاً ، ويترتب على ذلك أن يكون المحلول الأكثر كثافة في المستوى الأسفل من الطبقة الصخرية المائية (Aquifer) .

يعد التركيب الكيميائي لأملاح مياه حقول النفط عاملا مهما لتحديد مصدر المياه في الآبار النفطية التي يحدث فيها تسرب من خلال مواسير التبطين (Casing) ، أو من خلال معدات تكملة الآبار (Well Completion) كما أنه هام كذلك في تحديد ومضاهاة الطبقات الصخرية للمكامن النفطية الموجودة في مناطق تتميز بإحتوائها على أكثر من طبقة منتجة خاصة تكاوين عدسات الرمل (Sand lenses) .

يعد ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) من أكثر الأملاح انتشارا وشيوعا في المياه الملحية النفطية ، يليه كلوريد الكالسيوم ، أما كربونات وبيكربونات وكبريتات وكلوريدات الماغنسيوم والبوتاسيوم فتوجد بنسب أقل . بجانب ذلك توجد نسب قليلة من أملاح البروم واليود و آثار من أملاح عناصر الإسترونشيوم والبورون والنحاس والمنجنيز والفضة والقصدير والفاناديوم والحديد .

إستخدامات المياه المصاحبة

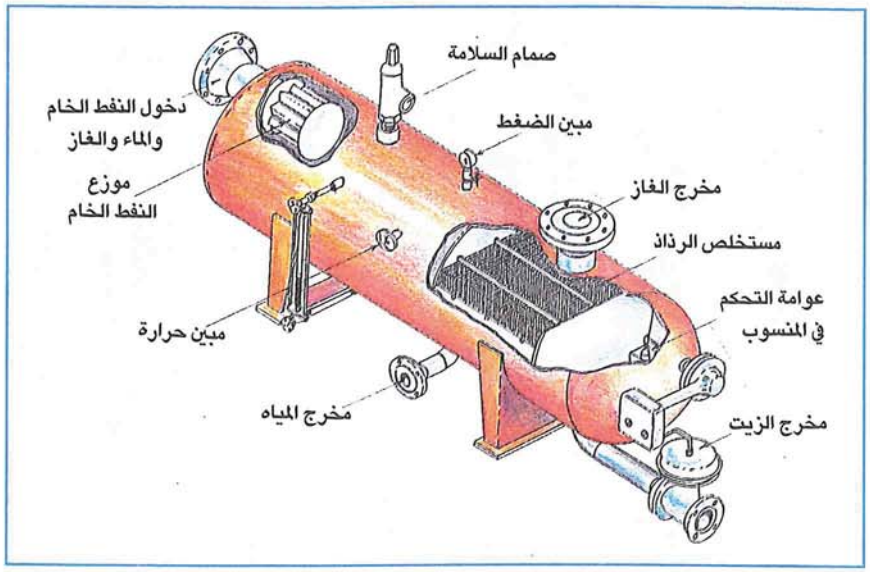
لعل من أهم إستخدامات مياه حقول النفط إستعمالها في التفسير الكمي لبيانات التسجيلات الكهربائية والنيوترونية التي تجرى للآبار النفطية ، كذلك تعد مياه النفط - خاصة المياه الفطرية - المياه الوحيدة التي يمكن إستخدامها في عمليات حقن المياه (Water Flooding) لآبار النفط ولكنها قد تؤدي إلى تآكل مواسير ومضخات الحقل أو إلى إنسداد المنطقة المنتجة للنفط (Pay Zone)، وعليه فإنها في هذه الحالة لا تصلح للإستخدام في عمليات الحقن التي تجرى لزيادة إنتاجية آبار النفط .

أضرار المياه المصاحبة

من الضروري فصل المياه عن النفط قبل نقله إلى معامل التكرير سواء عن طريق الضخ في خطوط الأنابيب أم بإستخدام الناقلات البترولية . وذلك سواء أكانت تلك المياه مياه فطرية أم مياه حقن الآبار أم الإثنين معا ، وبما أن المياه المصاحبة للنفط - في أغلب الأحيان - مالحة قلوية أو حامضية . فإنها ، تميل إلى إحداث التآكل الكيميائي (Corrosion) للمعدات المعدنية التي تلامسها .

وحين يمر النفط والماء خلال المضخات وأنابيب الإنتاج وفتحات التصريف وأجهزة المبادلات الحرارية (Heat Exchangers) يختلط أحدهما بالآخر تمام الإختلاط في هيئة قطرات صغيرة جدا يصعب فصل بعضها عن بعض ، وهو ما يعرف بالمستحلب ، ويعد وجود المستحلب مع النفط أمر غير مرغوب فيه بسبب دوره في إحداث التآكل الكيميائي ، ولهذا فإن شركات خطوط الأنابيب ومعامل التكرير ترفض وجود هذا المستحلب في النفط الوارد إليها .

ويحتوي الماء المنتج من آبار النفط



● شكل (٢) رسم تخطيطي لجهاز فصل الماء عن الزيت .

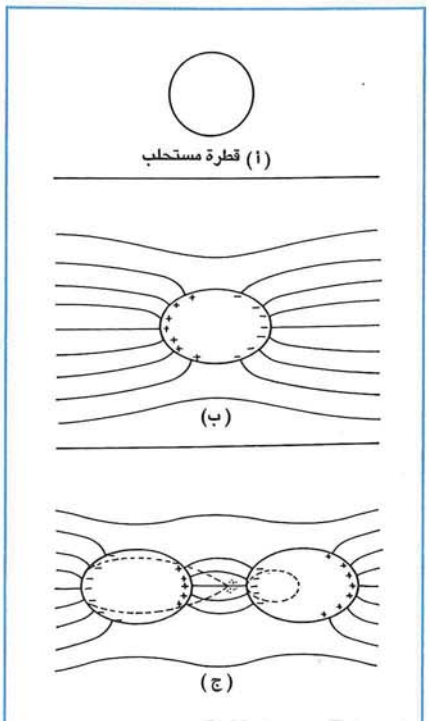
والغـاز في أحيان كثيـرة على مـواد يمكن أن تتـرك رواسب في صـورة قشـور (Scales) ، على سطح الأنـابيب والأجهـزة الموجـودة قـد تـؤدي إلى إنسـداد الأنـابيب والوصلات ويكون من الصعب إزالتها .

بالإضـافة إلى مـا سبق ذكره ، فإن نقل الميـاه مع النفط الخام يـؤدي إلى زيـادة تكـاليف الشحن ، فضلا عن نقل مـادة غير مـرغـوب فيهـا ، كما أنها كـذلك تتسبب في تلـوث المسطحـات المائيـة كالبحار والأنهار والبحيرات .

فصل المياه عن النفـط

مـن السهل فصـل الماء الحر عن النفـط الخام عن طريق إمـراره على أجهزة خـاصة تسـمى الفـواصل (Separators) ، وفي هذه الأجهـزة يتـم فصل مكـونات الزيت الخام (الغاز الطبيعي والغازات المصاحبة والزيت والماء) بعضـها عن بعض ، ومن أبسط أنواع هذه الأجهزة خزان صغير تستخدم فيه قوة الجاذبيـة الأرضية لفصل النفط عن الغـاز ، شكل (٢) . نظـرا لخفـة وزن الغـاز فإنـه يصعـد إلى أعلى الخزان ليـوجـه إلى أنظمـة التجميع أما الـزيت والماء فإنهما يهبطان إلى قاع الجهـاز . ولما كان الماء أثقل من الـزيت ، فإن الأخير يطفـو فـوق الأول ، ومـن ثم يسهل فصل كل منهما عن الآخر .

أمـا بالنسبـة للمستحلب ، فهناك عـدة طرق تستخـدم لمعالجتـه يتمثل أبسطها في ترك المستحلـب لمدة طويلة من الـزمن دون تقليب أو حـركة حتـى يستقر الماء في القـاع بسبب ثقل وزنـه ، وتعد هـذه الطريقـة غير



● شكل (٣) رسـم تخطيطي يبين دور التيـار الكهربائي في تجميع قطرات المستحلـب .

نـاجحـة في كل الحالات نظرا لأنها بـدائيـة ولاتصلح لعمليـات الإنتاج المستمـر للنفط ، ولأن المستحلبات في أحايين كثيرة لا تنفصل حتـى بعـد إستقرارهـا في القـاع لمـدة طـويلة جـدا ، ويـرجع السبب في ذلك إلى أن قطـرات المستحلب تكـون عادة مشحـونـة بشحنـات كهـربـائيـة متشـابهة ، ومن ثم يتنافـر بعضها عن بعض ، وفي هـذه الحالة يمكن إستخدام تيار كهـربائي متردد لإزالة الشحنات الكهـربائية الموجـودة على قطرات المستحلب . كما يسـاعـد هـذا التيـار على تصادم قطـرات المستحلب بعضها ببعض ، ومن ثم يـزداد حجمها فيسهل ترسيبهـا ثم فصلها ، شكل (٣) .

ومن أكثـر طـرق الفصل شيـوعـا إستخـدام بعض الأنواع الخاصـة من المواد الكيميائيـة التي تساعـد على تكسير الغشاء الـرقيق المحيط بـالسطح الخارجي لقطـرة المستحلب لتتـاح الفرصـة لإنفصال قطـرة الماء عن الـزيـت ، و يستخـدم التسخين مع هـذه العملية لتقليل لـزوجة الـزيت ليسهل تحرك قطـرات الماء و تمدد الموجـود منهـا داخل مستحلـب الماء في الـزيت ، ومـن ثم يـزداد حجمهـا فتضغـط على السطـح الخارجي لقطـرة المستحلب وتسـاعـد على تكسيره ، وبذلك تتاح لها الفـرصة للخروج من الغشاء الحاجز الذي يغلف المستحلب .

بعـد عملية المعـالجة يُسمح للمستحلب المعالج بـالدخول إلى جهاز خـاص يستخدم لفصل الماء عـن الـزيت ، حيث تسحب السـوائل المنفصلـة ويتـم ضخ النفط إلى صهـاريج التخزين أو معـامل التكريـر عبر خطوط الأنابيب . أما الماء فيتم التخلص منه بإستخدام نظام خـاص للمعالجة وتصريفه إلى المسطحـات المائيـة ، أو إعـادة حقنـه إلى التكـوينـات الصخـريـة الحـاملة للنفـط لزيـادة الضغـوط الجـوفية في المكامـن النفطيـة كمـا سبق الإشارة إليه .