

v - سرعة تدفق الحمض (ft/sec)

w - عرض الشق (in)

وتنبع سرعة التدفق للحمض v بمعدل الحقن وبهندسة الجريان للحمض (نوع

الجريان) وتعطي v بالمعادلة التالية :

$$v = 17.2 q_i / d^2$$

(1) من أجل القنوات الأسطوانية

$$v = 1.15 q_i / h w$$

(2) من أجل الشقوق الطولية

$$v = 0.18 q_i / r_i w$$

(3) من أجل الشقوق الشعاعية

حيث أن : q_i - معدل حقن الحمض (bbl/min)

d - قطر القناة (in)

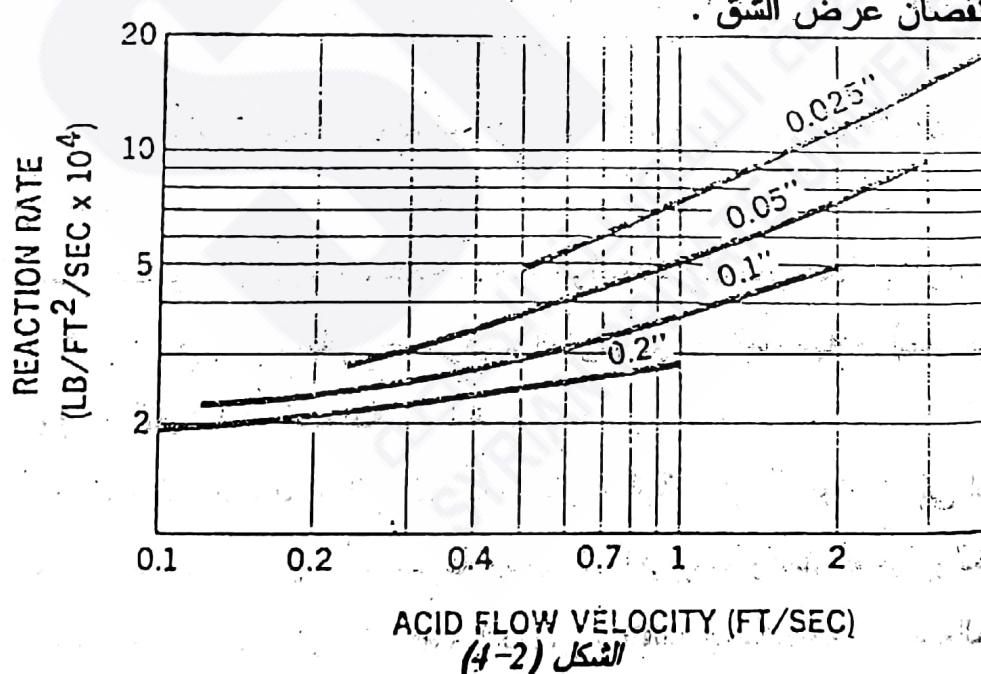
w - عرض الشق (in)

h - ارتفاع الشق (ft)

r_i - نصف قطر الشق (ft)

ويبيّن الشكل (4-2) تأثير سرعة تدفق الحمض على معدل التفاعل عند اختلاف عرض الشق ، حيث يلاحظ من الشكل أنه عند سرعة تدفق محددة يزداد معدل

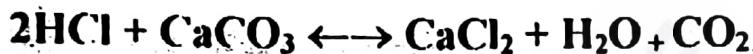
التفاعل بنقصان عرض الشق .



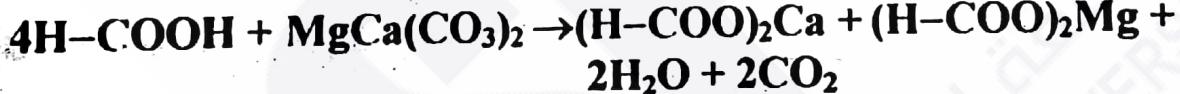
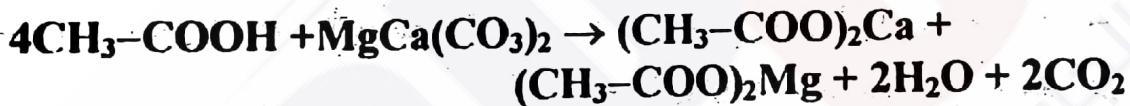
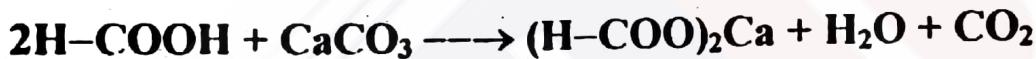
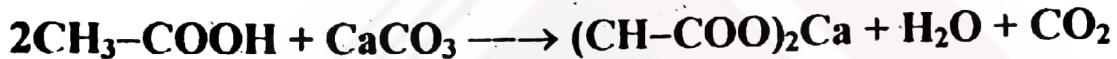
الشكل (4-2)

2-3-5- تركيب الصخر الخازن

وهو العامل الأكثر أهمية الذي يتحكم بفعالية المعالجة الحمضية حيث توجد اختلافات بين تفاعلات الحمض مع الأحجار الكلسية وبين تفاعله مع الدولوميت ، نتيجة الاختلاف في السمات الفيزيائية والكيميائية وتبعد لهذا الاختلاف فإن النواتج تختلف أيضاً وهذا ما توضحه العلاقات التالية :



ونواتج تفاعل HCl مع الحجر الكلسي ومع الدولوميت هي مواد محللة في الماء ويمكن إبعادها بسهولة من الطبقة وهي كلور الكالسيوم وكلور المغنيزيوم .



وخلات ونملاحات الكالسيوم والمغنيزيوم تحل أيضاً في الماء وبالتالي تبعد من الطبقة بسهولة .

ويجب عند وضع خطة المعالجة دراسة مواصفات الصخر الخازن دراسة مفصلة من حيث : التركيب الكيميائي - التركيب المنرولوجي - المسامية - أبعاد المسامات والشقوق - النقوش - السماكة ... الخ .

إن دراسة التركيب الكيميائي للصخور الكربوناتية يمكن أن يوجهنا إلى استخدام نوع خاص من الحموض ، أما معرفة المميزات الفيزيائية والمنرولوجية والخزنية فهي تحدد العوامل الأخرى مثل كمية الحمض والتبنية المستخدمة في المعالجة . وتختلف نتائج المعالجة بالتحميس بين عينة وأخرى لها نفس التركيب الكيميائي

ذلك تبعاً للصفات الفيزيائية ، وهكذا نجد أن المميزات الكيميائية والفيزيائية للصخر الخازن مرتبطة تماماً ويجب أخذها بعين الاعتبار .

ونظراً للتلوّع الكبير اللامحدود في تشكيل البنية الصخرية فإنه من الصعب جداً التبرّر بحقيقة استجابة الطبقة للعلاج الحمضي ، ولكن معظم التشكيلات الكربونية يمكن أن تعالج بنجاح لتحسين وزيادة النفوذية أو لخلق نفوذية جديدة كل ذلك من أجل تحسين قدرة جريان النفط وبالتالي المرتود .

2-3-6- نواتج التفاعل

تلعب نواتج التفاعل دوراً هاماً في تحديد اتجاه التفاعل وسرعته ، كما ذكرنا عند الحديث عن تأثير الضغط حيث أن زيادة الضغط تعمل على زيادة اتحلال CO_2 الناتج عن التفاعل في الماء الناتج أيضاً مما يؤدي إلى تغيير اتجاه التفاعل .
وما يهمنا من نواتج التفاعل هو أن لا تكون راسبة وتؤدي إلى تقليل نفوذية الطبقة مما يسيئ إلى هدف عملية التحميض .

من النواتج التي تتجنب تشكيلها التربسات المتشكلة نتيجة تفاعل الحمض مع بعض الشوارد الموجودة في المياه الطبيعية ، مثل شوارد الألمنيوم Al^{+++} هذه الشاردة التي تترسب على شكل ماءات الألمنيوم وذلك عند ارتفاع PH الحمض بين 3 - 4 .
كما توجد شوارد الحديد Fe^{+++} , Fe^{++} التي تؤدي إلى تشكيل ماءات الحديد عند وجودها في الماء بتركيز كبير وعند درجة PH أكبر من 2.7 ، أما شوارد الباريوم Ba^{++} توجد بكميات قليلة ولكنها تشكل خطراً على عملية التحميض نتيجة لترسب كبريتات الباريوم الناتجة عن تفاعل شوارد الباريوم مع شوارد الكبريتات SO_4^- ، الآتية من وجود حمض الكبريت بنسبة ضئيلة (0.4 %) وبشكل شوائب في حمض كلور الماء المركز . كما أن تفاعل السائل الحمضي مع النفط يؤدي إلى تشكيل مركبات صعبة الانحلال تدعى بالأحماض القطرانية وتبقى على هيئة مواد صلبة لا تتحل بالنفط وقد تؤدي إلى انسداد كلي أو جزئي لمسامات الطبقة ولتجعل تشكيل هذه الأحماض يتم إضافة مذيبات خاصة للحمض مثل الألكيل فينول

والأحماض العضوية وبعض المواد المنشطة .

2-4- برامج عملية تحميض الطبقة

يتم وضع برنامج التحميض من حيث معدل الحقن والزمن الذي يترك فيه الحمض في الطبقة بعد تحديد نوع الحمض وكميته :

1. إن اختيار نوع وحجم الحمض يتم بناء على معرفة خواص الصخر الخازن

(التركيب المتراليجي والكيميائي) .

2. دراسة مواصفات المركبات الهيدروكرбونية وتحديد إمكانية تشكيل أحماض قطرانية عند تماستها مع الحمض المستخدم .

3. معرفة الخصائص الخزنية للطبقة (مسامية - نفوذية - درجة التشبع بالماء والنفط . . . الخ) .

4. ظروف البئر .

5. النتائج المطلوبة .

6. مواصفات الحمض المطلوب .

بعد إجراء هذه الدراسات تجرى تجارب مخبرية على عينات أسطوانية مأخوذة من الطبقة وبشروط الطبقة من ضغط وحرارة ، وإذا لم تستطع هذه التجارب تحقيق صورة مشابهة للشروط الحقيقية تماما فإنها تزودنا بمعلومات دقيقة من أجل تصميم المعالجة الحمضيّة ووضع الخطة المناسبة لها .

وعند وضع هذه الخطة يجب أن نأخذ بعين الاعتبار الأمور التالية :

أ. اختيار مؤخر تفاعل مناسب وذلك يعتمد على درجة الحرارة عند المعالجة وعلى نوع الحمض .

ب. اختيار التركيز والكتافة للسائل الحمضي بحيث تساعد على تبديد القطع الصلبة الناعمة التي لا تتحلل كالقطع الأسمنتية أو الطينية أو بعض المعلقات لأن إزاحة هذه المواد تلعب دورا هاما في نجاح عملية التحميض للطبقة .

- ج. دراسة معدل الحقن بحيث تستخدم أكبر نسبة ممكنة بدون زيادة الضغط .
- د. تحديد زمن كافٍ لبقاء الحمض في الطبقة قبل استرجاعه وإلا ستكون المعالجة غير ناجحة ويكون التوظيف غير تام .
- هـ. دفع الحمض داخل الطبقة بحقن سوائل بعده من : مياه البحر ، ماء ، زيت ، حمض ضعيف ، ويجب أن تكون الكمية كافية لتأمين اختراق الحمض لأكبر مسافة ممكنة .

4-1-2 المواد المضافة للسائل الحمضي

عند تحضير السائل الحمضي بالكمية المطلوبة والتركيز المطلوب ، وذلك بخلط الحمض المركز مع الماء ، تضاف للسائل عدة مواد تقوم بمنع حدوث الظواهر السلبية الناجمة عن وجود الحمض في البئر والطبقة . وهذه الإضافات هي :

4-1-1-1-2 مبطئات التفاعل

هذه المواد تعمل على الإقلال من سرعة التفاعل بين الحمض والصخر وذلك لزيادة نفوذية المنطقة المجاورة للبئر ولامسافة أكبر .

إن الزمن الذي تبقى فيه هذه المبطئات فعالة يعتمد على عدة عوامل هي :

1. درجة الحرارة والضغط .

2. نوع وتركيز الحمض .

3. نوع وتركيز المتباط (مؤخر التفاعل) .

4. نوع المعدن .

5. المواد المضافة إلى الحمض .

يوجد نوعان رئيسيان من المبطئات :

- غير عضوية

- عضوية .

وعلى الرغم من أن المركب غير العضوي لأسيد الزرنيخ لا يزال مثبط فعال

للتفاعل ، فإن الأنواع العضوية تستخدم اليوم بشكل أكبر ، ومن الأنواع العضوية ذكر : الكحولات الأستيلينية - المركبات التي أساسها النتروجين أو المزيج من كليهما مع الديتروجينات .

وتعد الحمض العضوية من المواد القادر على تأخير التفاعل لمدة 24 ساعة على الأقل في درجة حرارة 400 فهرنهايت ، أما تأخير التفاعل لعدة أيام فيمكن الحصول عليه عند درجات حرارة أقل من 200 فهرنهايت .

أما كمية المثبت المستخدم فتتراوح بين 0.2 - 2 % وزناً من الحمض وتعتمد على الظروف المحيطة وزمن التأخير المطلوب .

2-1-4-2- مخفضات التوتر السطحي

تستخدم هذه المواد بهدف رئيسي من أجل تخفيض التوتر السطحي عند تلامس السائل الحمضي مع النفط ، ولتأمين دخوله بسهولة في الطبقة حيث تشكل هذه المواد عوامل مبللة ، كما تعمل هذه المواد على عودة المحاليل المعالجة وتساهم في التنظيف ، ومجالات التركيز لها من 0.01-0.05 % وزناً وهي الأكثر شيوعاً . وتساهم هذه المواد بإزالة التربسات من النفط الثقيل والإسفالت .

ومخفضات التوتر السطحي بحد ذاتها وبغض النظر عن كونها مواد مضافة ومساعدة في التحميض تعد من إحدى طرق الاستثمار المدعى للنفط ، حيث حققتها في الطبقة بكميات وتركيز مدرسوسة يساهم في زيادة المردود وقد أفرد لها فصل خاص في بحثنا هذا .

2-1-4-3- المواد المضافة للتخلص ولمنع ضياع السائل المحكون

هذه المواد هي بوليمرات اصطناعية ومواد صمغية طبيعية ، وهناك عدة أنواع منها بأسماء تجارية وتستخدم البوليمرات الاصطناعية من النوع غير الشاردي الخطمي وبنسبة أقل من (0.1 - 2) % وزناً .

وفي حالة التركيز العالية فإن الطبيعة اللزجة التي تمنع للحمض تمنع خسارة

السائل وضياعه داخل المسامات الصغيرة وقنوات جريان الطبقة .

4-1-4-2 الكحولات

تستخدم أحياناً كحولات الميتيل أو الإيزوبروبيل كمضادات للحمض .
وعند تركيز 5 - 20 % حجماً فإن فائدتها الرئيسية هي تحسين درجة التنظيف
التي تلي المعالجة الحمضية وهذا يكون مفيد بشكل خاص في الآبار الغازية الجافة .
إن أهم ما يميز الكحولات هو ضغوط البخار العالية _ وتوترات السطح المنخفضة .
وأهم ما يميزها عن مخفضات التوتر السطحي أنها لا تمتز على سطح الصخر .

4-1-4-3 مواد واقية

وهي تقوم بدور تقليل أو منع تأثير السائل الحمضي على المعدات الموجودة في
البئر وعلى السطح وهذه المواد يجب أن تتصف بما يلي :

- 1 أن تكون ذات ثبوتية جيدة عند درجات الحرارة العالية .
- 2 أن لا تؤثر على فعالية الحمض مع الصخر .
- 3 أن تحافظ على خواصها بوجود نواتج التفاعل .
- 4 أن لا تؤدي إلى تشكيل مستحلبات بين النفط والماء .

وهنالك عدة أنواع من هذه المواد معروفة بأسماء تجارية مختلفة ، وإضافة أي نوع منها بكمية (0.1) % من الحجم الكلي للمحلول الحمضي يقلل من ظاهرة التلاكل بمقدار (55 - 65) مرة .

4-1-4-4 مواد مثبتة

هذه المواد تعمل على إعاقة ترسب مركبات الحديد والألمنيوم الناتجة عن تفاعل
الحمض مع أكسيد الحديد والألمنيوم الموجودة في قعر البئر أو في الصخور
الطبقة .

ومن هذه المواد حمض النمل وحمض الخل الذي يستخدم بتركيز 2 - 0.8 %

من حجم السائل الحمضي لمنع الترسب ، ويضاف بنسبة 4-5% من الحجم الكلى للحمض فيعمل على تقليل سرعة تعادل الحمض ويبقيه فعالاً لمدة أطول فيخترق أعماق أكبر ، كما يمنع ترببات ماءات الحديد في الفراغات المسامية . وتوجد بعض أملاح الصوديوم ذات التأثير الفعال في هذا المجال .

7-1-4-2 مواد تمنع ترسب الجص

منها كلور الباريوم الذي يعالج به السائل الحمضي قبل ضخه ، فتنتج كبريتات الباريوم التي تترسب وتفصل بسهولة على السطح . وينتج الجص من تفاعل حمض الكبريت الموجود على شكل شوائب في حمض كلور الماء المركز مع الصخر لذلك تعمد للتخلص من هذه الشوائب إلى إضافة كلور الباريوم .

8-1-4-2 استخدام N_2 و CO_2

إن استخدام N_2 و CO_2 في الحمض يساعد في المعالجة حيث تسهم هذه الغازات في التزويد بقدرة غازية كبيرة لكي تساعد في إعادة الحمض المتبدد ووضع البئر في الإنتاج .

كما يعد CO_2 الذي يضاف إلى محلول الحمضي بنسبة معينة من المواد التي تقلل سرعة التفاعل وتؤخره ، وكذلك غاز CO_2 الناتج عن تفاعل حمض كلور الماء المركز مع الصخور الكربوناتية .

5-2 تقنيات التجميض ونقطة المعالجة

يعتمد نجاح عملية التجميض على التحليل الصحيح لمشكلة البئر ، ولذلك يتطلب اختيار المواد اللازمة والتقنيات المناسبة حسب نوع البئر . ومشاكل الآبار تصنف إلى فئتين :

- 1- الآبار ذات النفوذية الجيدة والتي تلوثت في أثناء الإنتاج وبشكل الحفاظ على نفوذيتها .

2- الآبار ذوات الطبيعة النفوذية القليلة .

والأبار من النوع الأول هي المرشحة للمعالجة بالتحميسن إعادة نفوذتها إلى ما كانت عليه أما الآبار ذوات الطبيعة النفوذية القليلة فيمكن تحسين إنتاجها بالتحميس وبطرق أخرى كالتشقيق والتفجير وغيرها حسب شروط الطبقة ونتائج المعالجة الحمضية يجب أن تبقى لفترة زمنية طويلة كافية لتحديد القيم الحقيقية مع الأخذ بعين الاعتبار التكاليف ومدى اقتصادية العملية .

ويمكن استخدام التحميس من أجل ثلاثة أهداف هي :

1- تنظيف مسام البئر .

2- تحميض الطبقة .

3- التشقيق الحمضي .

2-5-1- تنظيف مسام البئر

حيث يملأ البئر تماماً ويغسل ويترك الحمض فيه لتنظيف مسام جدران البئر وقعره ، وجدران المصفاة وتقويبها مقابل الطبقة المنتجة إذا كان البئر غير تام هيدروديناميكيأ . وتهدف عملية التنظيف هذه إلى إزالة الرواسب المتعددة (سائل الحفر - أكسيد مختلف للعناصر - بارافينات ... الخ) وذلك من أجل تخفيف تعادل السائل الحمضي أو قسم منه داخل البئر وقبل دخوله إلى الطبقة عند تفاعله مع هذه الرواسب مما يؤدي إلى التقليل من فرص نجاح عملية التحميس للطبقة .

ويجري غسل البئر عن طريق ضخ السائل الحمضي من خلال مواسير الإنتاج لتنظيفها أيضاً ويتم التفاعل خلال عدة ساعات لأن المنطقة محبوكة ثم يزاح السائل الحمضي من خلال مواسير الإنتاج أيضاً منعاً من تأكل مواسير التغليف .

2-5-2- تحميض الطبقة

هو يحقن الطبقة بالسائل الحمضي تحت ضغط هيدروليكي ، بحيث يحدث الجريان

شكل أساسى من خلال الشقوق الطبيعية والمسامات .

ولهذا يجب أن تكون النفوذية الطبيعية للطبقة كافية لتحقيق جريان يساهم في نجاح عملية التحميض للطبقة الملوثة نتيجة عمليات الحفر والإنتاج .

أما إذا كانت النفوذية ضعيفة فعندهن نجأ إلى التشقيق من أجل زيادتها ، وبالتالي الحصول على إنتاجية متزايدة ، ولكن بتكليف أكثر وأخطار أكبر .

- وعند نجاح تحميض الطبقة فإن قدرة السوائل على الجريان تزيد من 3-10 أضعاف أو أكثر مما يؤدي إلى تحسين الإنتاج من الصخور الكربوناتية وزيادة المردود وهذا بسبب إزالة التلوث والشوائب التي أدت إلى انفاص نفوذية الطبقة .

• ولتنظيف الطبقة الملوثة نجأ لإحدى الطرق التاليتين :

أ- حل الشوائب نفسها : وذلك باختيار الحمض المناسب لها والذي يتفاعل معها دون تشكيل رواسب تؤثر على نفوذية الطبقة من جديد .

ب- حل جزء من البنية الصخرية التي توجد فيها هذه الشوائب : حيث تتحرر وتتباعد ضمن السائل وتسحب معه ، وهذه الطريقة مجديّة خصوصاً إذا كانت الشوائب طينية ، حيث أن تشتت الوحل هو أكثر فعالية من حله بالطريقة الأولى ، وذلك لأنّه عند حل الشوائب الغضارية الموجودة ضمن الصخور الكربوناتية يستخدم حمض فلور الماء الذي يتفاعل مع الكربونات وينتج عن التفاعل فلور الكالسيوم CaF_2 الراسبي الذي يسد المسامات ويقلل من فرص نجاح عملية التحميض ، ومن أجل هذا نجأ إلى حل بنية الصخور الكربوناتية حول الغضارب بواسطة حمض كلور الماء الذي يتفاعل مع الصخور الكربوناتية مما يؤدي إلى تحرير الشوائب المحصورة ضمن الصخور الكربوناتية وتشتيتها بحيث يفتح المسامات والشقوق التي كانت تشغّلها .

• إن جريان الحمض في الصخر الكربوناتي عند تحميض الطبقة غير منظم فهو يختلف حسب أبعاد وأشكال المسام ، التجاويف ، الشقوق الشعرية ،

الشقوق التي تشبه الأنابيب المترعة .

فجريان الحمض في القنوات الموسعة يتم بشكل جذر الشجرة حيث بعض القنوات الموسعة تمتد من مسام جدران البئر إلى الطبقة وتتفرع إلى الآلاف من القنوات ذات الأقطار الصغيرة وكلما زادت المسافة بسبب هذا التوزيع كان مقدار الحمض المطلوب لزيادة الاختراق أكبر .

2-5-3- التسقيف الحمضي

إن الهدف الرئيس من التسقيف الحمضي هو تحقيق إنتاجية إضافية فوق قدرة الخزان الطبيعية وذلك عن طريق فتح شقوق جديدة لتخليق ممرات جديدة إلى جزء من الطبقة الخازنة ، وبالتالي تقوم بربط الشقوق والممرات القديمة .

ونجاح عملية التسقيف يعتمد على عاملين هما :

- ناقلية الشق .
- مدى الاختراق الفعال للخزان
- كما يعد شكل الشق من العوامل المهمة التي تؤثر على نتائج المعالجة يمكن تقدير تأثير تفاعل الحمض (معدل اختراقه) و الناقلية الشقيقة باستخدام المعادلات التالية :

• في حال الشقوق الخطية (الطولية) : من أجل 1.5 % حمض كلور الماء

تطبق العلاقة التالية :

$$e_r = \left[15.2 \left(\frac{q_i}{h \cdot w^2} \right)^{0.8} + 156 \right] C_A \times 10^{-6} \quad (20-2)$$

حيث أن :

e_r - معدل اختراق الحمض ، in /min .

w - عرض الشق ، in .

• h - ارتفاع الشق ، ft

• q_i - معدل الحقن ، bbl/min

• C_A - المعامل الحمضي ويعرف بالتفاعل النسبي للحمض ويعطى بالعلاقة التالية :

$$C_A = S (T - 10) 70 C_x$$

(21-2)

حيث أن :

• T - درجة حرارة الطبقة ، F°

• C_x - الوقت النسبي اللازم للحمض من أجل تركيز 15% لـ HCl حتى

• 1.5 % .

• S - ثابت تابع للسوق .

• في حال السوق الشعاعية (الراديكالية) : من أجل 1.5% حمض كلور الماء :

$$e_r = \left[6.1 \left(\frac{q_i}{r_f \cdot w^2} \right)^{0.8} + 156 \right] C_A \times 10^{-6} \quad (22-2)$$

حيث أن :

• r_f - نصف قطر الشق ، ft

وتعطى ناقلة الشق بالمعادلة التالية :

$$K_{fw} = 4.53 \times 10^9 W^3$$

(23-2)

حيث أن :

• K_{fw} - ناقلة الشق ، md - ft

• K_f - نفودية الشق ، md

• W - عرض الشق وهو غير ثابت ويتبع تبعاً لمعدل الضخ وخواص

السائل الحمضي وخواص الصخر .

ما سبق نلاحظ أنه عند حدوث تفاعل كاف للحمض فإن النفودية الشمية تزداد

وبالكتل فإن الناقلة الشقيقة تزداد أيضاً بشكل كبير مما يؤدي إلى زيادة القدرة على الجريان .

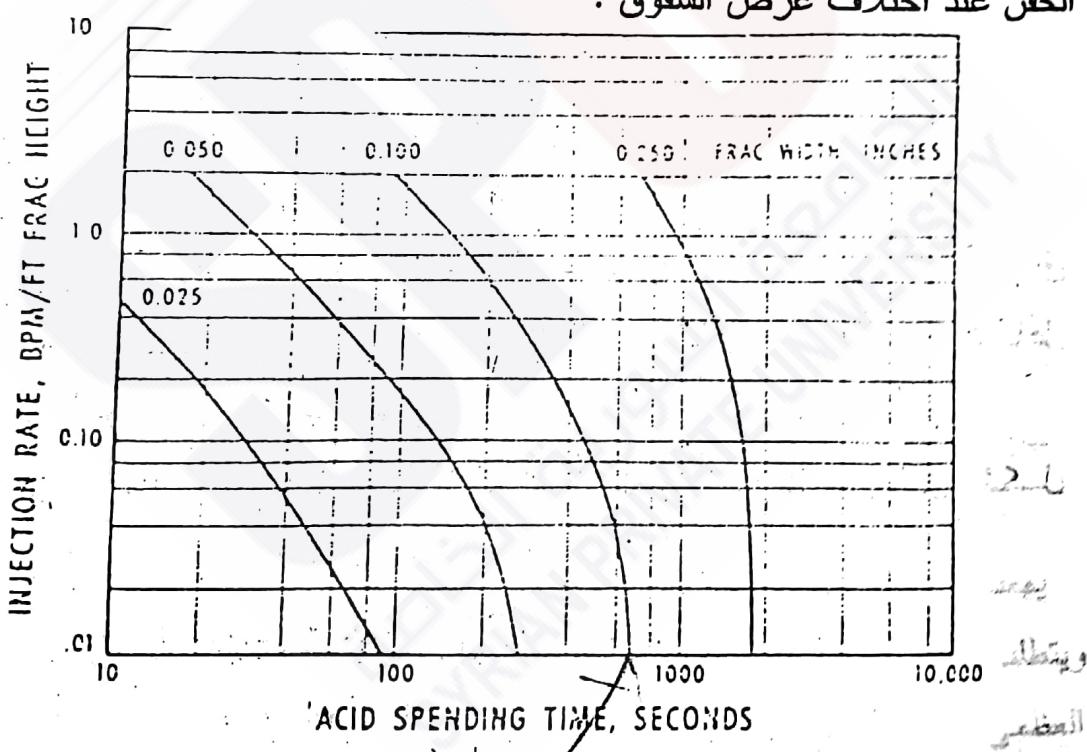
ويمكن تقدير الزمن اللازم لحدوث تفاعل كاف للحمض من خلال المعادلة التالية:

$$t = 10.000 C_x \frac{W}{T} \quad (24-2)$$

حيث أن :

١ - زمن التحميض النظري بالدقائق

وزمن اختراق الحمض هو الزمن الذي يتعرض فيه الشق لتأثير الحمض تحت الشروط اللاحقة لأنحل الكمية الضرورية من الكربونات وتشكيل الناقلة الشقيقة المطلوبة . إن الزمن الفعلي المتصور يكون أقصر عند معدلات الحقن المنخفضة وهذا ما يوضحه الشكل (5-2) الذي يبين زمن التحميض اللازم بالثاني ومعدل الحقن عند اختلاف عرض الشقوق .

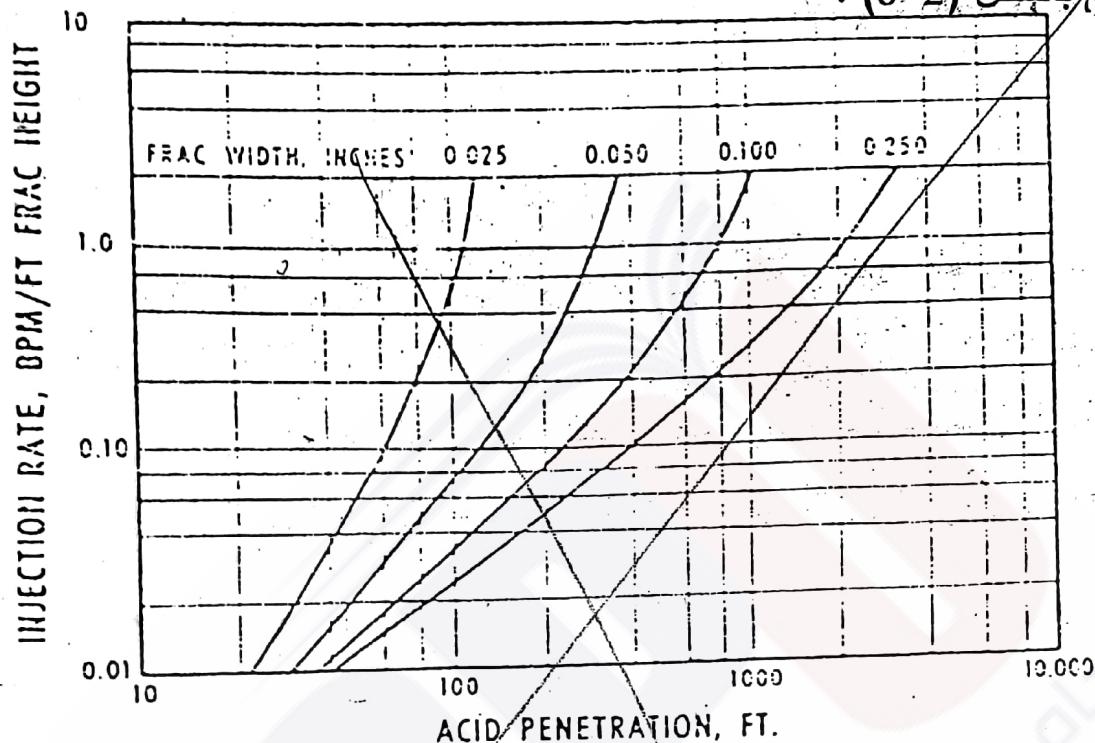


الشكل (5-2)

حيث أن الشقوق العريضة التي يكون عددها معدلاً الحقن منخفض تسبيب تبدّل توازيّب السائل الحمضي ، وهذا يفسّر سرعات الجريان المنخفضة للحمض الناشئ

عن تسربه من الشقوق .

إن اختراق الحمض للصخر قبل أن يتبدد يزيد عند معدلات الحقن العالية وعندما تكون الشقوق واسعة مما يؤثر تأثيراً إيجابياً على عملية التحميض . وهذه العلاقة تتضح بالشكل (6-2) .



الشكل (6-2)

إن بعض التأخير أو التثبيط للحمض قد يكون ضرورياً للحصول على الاختراق المطلوب قبل أن يتبدد الحمض ، ولكن إذا كان تثبيط التفاعل كبيراً فإن تفاعل الحمض يمكن أن يكون بطئاً جداً وغير قادر على خلق ناقلة شمية كافية .

- إن المسافة المخترقة تتعلق بالإضافة إلى معدل الحقن بزمن التفاعل وشكل وعرض الشق بالإضافة إلى الشروط الطبيعية .

وتعطى المسافة المخترقة بالمعادلة التالية :

عند الشقوق الخطية (الخطية) :

$$L_s = 33.5 q_1 \cdot t / h \cdot w \quad (25-2)$$

حيث L_s : المسافة التي يخترقها الحمض (F_1)

عند الشقوق الشعاعية (الرادiale) :

$$L_i = 4.6(q_i/w)^{1/2} \quad (26-2)$$

- إن العوامل التي تؤثر على معدل تفاعل الحمض مع سطوح التشقق في الصخور الكربوناتية تحدد المسافة التي يقطعها الحمض في الصخر الخازن قبل أن ينفذ ، والمساحة الممتدة تتناسب طردياً مع معدل الحقن ، وتتناسب عكسياً مع فعالية السائل الحمضي ومع معدل تسربه من الشقوق .
- كما تتأثر بصفات السائل وبميزات الصخر الخازن وبالضغط الهيدروليكي المطبق .
- إن الاختلافات الجوهرية بين معالجات التشقق الحمضي وبين المعالجات بدون حمض تتلخص في عدم احلال الصخر بالسائل الحمضي ، فالحمض لا يزيد فقط ناقلة الشقوق بل يفتح شقوقاً وطرقًا جديدة للجريان ، مما يؤدي إلى زيادة الإنتاجية إلى أربعة أضعاف الإنتاج الطبيعي .

2-6- المسافة التي يغترقها الحمض في الطبقة

يدخل الحمض في الطبقة على شكلين :

- أ- متفاعلاً مع الطبقة حتى مسافة معينة بنصف قطر R_1
- بـ- غير متفاعل مع الطبقة وذلك بعد أن يكون قد انتهى كحمض ويدخل حتى (مسافة بنصف قطر R_1) .

يهمنا طبعاً المسافة التي يدخلها السائل متفاعلاً مع الطبقة أثناء عملية المعالجة ويتطلب تحديد نصف قطر المنطقة R_1 ومعدل الضخ اللازم لذلك. تعتمد المسافة العظمى التي يدخلها الحمض في الطبقة متفاعلاً معها على:

- 1- سرعة تقدم السائل الحمضي في مسامات الطبقة .
- 2- الزمن اللازم لتعادل السائل الحمضي مع الصخر . وهو يساوي زمن تفاعل السائل مع الصخر وهذا الزمن يعتمد بدوره على الضغط ودرجة الحرارة

وتركيز السائل الحمضي والاستهلاك النوعي لهذا السائل (كم m^3 من السائل الحمضي يتفاعل مع 1 من سطح الصخر) وكذلك خواص الصخور (التركيب الكيميائي المترافق ، المسامية ... الخ)

يتتحقق نصف القطر هذا عند تعادل أول كمية محقونة من السائل الحمضي تماما مع الصخر بفرض أن معدل الحقن وزمن تعادل السائل الحمضي ثابتين فإذا الكميات المحقونة اللاحقة لن تدخل إلى مسافة أبعد متفاعلة مع الصخر مما حققت أول كمية بمعنى أنها لن تزيد في أطوال القنوات التي حققتها الدفعية الأولى بل تعمل على توسيع تلك القنوات :

من أجل تعريف R_1 نفرض أن حجم السائل المحقون يساوي حجم الفراغات الموجودة في الطبقة وحتى نصف القطر R_1 أي يمكن كتابة العلاقة التالية :

$$Q_i \cdot t_r = \pi (R_1^2 - r_c^2) h \cdot m \quad (27-2)$$

ومن أجل سماكة 1 م تكتب بالشكل التالي :

$$q_i \cdot t_r = \pi (R_1^2 - r_c^2) \cdot m \quad (28-1)$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{q_i \cdot t_r}{\pi \cdot m} + r_c^2} \quad (28-2)$$

حيث :

R_1 : نصف قطر المنطقة التي يدخلها السائل متفاعلا مع الصخر (m)

Q_i : معدل الحقن (m^3/s)

q_i : معدل الحقن الخاص ($\frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}}$)

t_r : الزمن اللازم لتعادل السائل الحمضي (s)

h : سماكة الطبقة المعالجة (m)

m : مسامية الطبقة %

٢: نصف قطر البئر (m)

ومن العلاقة نلاحظ أن زيادة المسافة R_1 (زيادة النفوذية وبالتالي زيادة معدل الإنتاج) تتحقق بالطرق التالية :

١- تقليل سرعة التفاعل بين الصخر والسائل وذلك بمعالجة السائل بماء

مقللة للسرعة (مبطنة للتفاعل)

٢- ضخ السائل في البئر وبالتالي في الطبقة بمعدل كبير .

أما من أجل تعين R_1 نصف قطر المنطقة التي يخترقها الحمض في الطبقة بعد انتهاء التفاعل بين الحمض والصخر فإننا ننطلق من نفس الفرضية السابقة والتي تقول بتساوي الحجم الكلي المحقون والفراغات في الطبقة

$$Q_i \cdot t_i = \pi (R_1^2 - r_c^2) \cdot h \cdot m$$

ومن أجل $t_i = h$ نحسب R_1 بنفس الطريقة :

$$R_1 = \sqrt{\frac{q_i t_i}{\pi \cdot m} + r_c^2} \quad (29-2)$$

حيث t_i : الزمن الكلي لحقن السائل الحمضي في الطبقة .

٢-٧- تقييم عملية التحميض

من أجل تعين نجاح أو فشل عملية التحميض لطبقة ما يؤخذ بعين الاعتبار معدل الإنتاج قبل التحميض وبعده وتكون النسبة بين معدل الإنتاج على الشكل التالي :

$$\varphi = \frac{Q_A}{Q_0} = f\left(\frac{K_1}{K_2}\right) \quad (30-2)$$

حيث أن :

Q_A - معدل الإنتاج بعد التحميض .

Q_0 - معدل الإنتاج قبل التحميض .

يعطى معدل الإنتاج من الطبقة قبل التحميض بفرض أن الطبقة ذات نفوذية متجانسة K_2 والجريان في مستوى نصف قطرى متساوى متجانس وغير اضغاطى ومن أجل بئر تامة هيدروديناميكيا بالعلاقة :

$$Q_0 = \frac{2\pi K_2 h (P_L - P_C)}{\mu L n \frac{R_K}{r_c}} \quad (31-2)$$

أما معدل الإنتاج بعد التحميض وبفرض وجود طبقتين متمركزان ذاتي نفوذيتين مختلفتين حيث تعتبر نفوذية المنطقة القريبة من البئر K_1 والمنطقة البعيدة (التي لم يصل إليها التلوث) فيعطى بالعلاقة التالية :

$$Q_A = \frac{2\pi \bar{K} h (P_L - P_C)}{\mu L n \frac{R_K}{r_c}} \quad (31-2)$$

حيث \bar{K} النفوذية الوسطية للطبقة ككل وبالتعويض في العلاقة (30) نجد:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_A}{Q_0} &= \frac{\bar{K}}{K_2} = \frac{\frac{1}{K_2} \ln \frac{R_K}{r_1} + \frac{1}{K_1} \ln \frac{r_1}{r_c}}{K_2} \\ \frac{Q_A}{Q_0} &= \frac{\ln \frac{R_K}{r_c}}{\ln \frac{R_K}{r_1} + \frac{K_2}{K_1} \ln \frac{r_1}{r_c}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{2\pi \bar{K} h (P_L - P_C)}{\mu L n \frac{R_K}{r_c}} &= \frac{2\pi K_2 h (P_L - P_C)}{\mu L n \frac{R_K}{r_c}} \cdot \frac{\frac{K_1}{K_2}}{\frac{K_1}{K_2} + \frac{K_2}{K_1} \ln \frac{r_1}{r_c}} \\ &= \frac{K_1}{K_2} \end{aligned}$$

نضرب العلاقة بـ $\alpha = K_1/K_2$ (النسبة بين نفوذية المنطقتين) :

$$\frac{Q_A}{Q_0} = \frac{\alpha \ln \frac{R_K}{r_c}}{\alpha \ln \frac{R_K}{r_1} + \ln \frac{r_1}{r_c}} \quad (32-2)$$

إذا مثنا بيانا $\phi = f(\alpha)$ فنحصل على الشكل (9) الذي يلاحظ فيه :

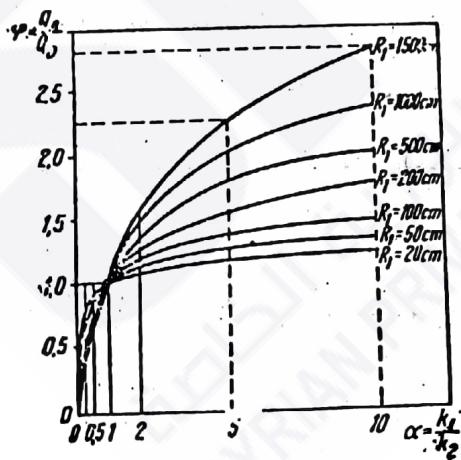
$$\phi = 1 \Rightarrow \alpha = 1 \Rightarrow K_1 = K_2$$

$$\phi > 1 \Rightarrow \alpha > 1 \Rightarrow K_1 > K_2$$

$$\phi < 1 \Rightarrow \alpha < 1 \Rightarrow K_1 < K_2$$

في الحالة الأولى لم تعط عملية التحميض أي نتيجة لا إيجابية ولا سلبية أما في الحالة الثانية فإن عملية التحميض أدت إلى زيادة النفوذية وبالتالي معدل زيادة الإنتاج فهي عملية ناجحة في حين أن الحالة الثالثة أعطت نتائج عكسية تماماً أدت إلى إنفاص النفوذية وبالتالي إنفاص معدل الإنتاج.

$$\frac{\bar{K}}{\ln \frac{R_K}{r_c}} = \frac{\ln \frac{R_K}{r_1}}{\ln \frac{R_K}{r_c}}$$



الشكل (7-2)

يلاحظ من الشكل (7-2) أن معدل التدفق يزداد بحدود ثلاثة أضعاف فيما إذا تفاعل الحمض مع الصخر حتى مسافة 15 m وهذا ما لا يمكن تحقيقه عملياً.

ولكن الملاحظات العملية على عمليات التحميض تشير إلى أنه قد نحصل على عامل يساوي الألف أو أكثر في الشهرين أو الثلاثة الأولى بعد عملية التحميض ثم يبدأ بالتناقص التدريجي ويختلف معدل التناقص من بئر إلى أخرى ويمكن أن يصل إلى قيمة أقل من الواحد وهذا يعني أن التقييم غير دقيق في الشهرين أو الثلاثة الأولى بعد العملية .

تفسر الزيادة الكبيرة جداً في معدل الإنتاج هو أن الحمض يحرر النفط في الفراغات المحصورة وغير المتصلة بقنوات نقل السوائل إلى البئر وهذه الفراغات تشكل نسبة تتراوح بين 25 - 40% من الحجم الكلي لفراغات داخل الطبقه وفي كل عملية تحميض يتحرر قسم من هذا النفط . إذن يمكن إجمال تأثير عملية التحميض بتحرير النفط من الفراغات المحصورة وغير المتصلة مع البئر وفي توسيع القنوات الموجودة أصلاً في الطبقه وتشكيل قنوات جديدة حتى المسافة R_1 المذكورة سابقاً .

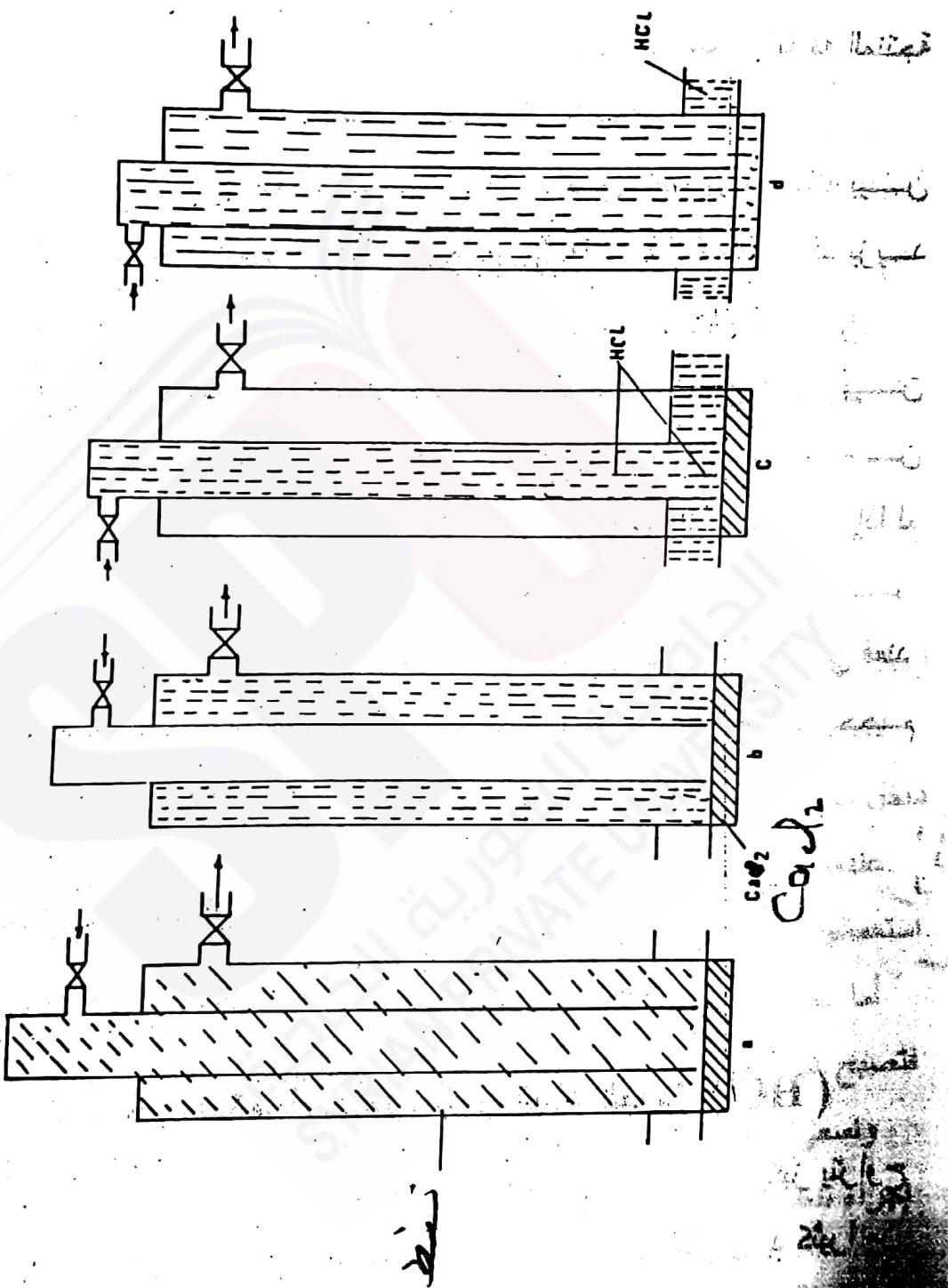
8-2 خطوات حقن الحمض :

يتم حقن السائل الحمضي من خلال مواسير الإنتاج وذلك لمنع تأثير الحمض على مواسير التغليف التي يجب أن تبقى طيلة عمر البئر ، وقد توجد مواسير حقن خاصة تستعمل أثناء عملية التحميض . وتم هذه العملية وفق الخطوات التالية انظر الشكل (2-8) .

1- يملأ البئر بالنفط ويتم التحقق من وجود دوران داخل البئر (a : البئر مليء بالنفط) .

2- ضخ سائل عازل من محلول كلور الكالسيوم CaCl_2 في قعر البئر وتكون أنابيب الإنتاج أعلى من القعر بمتر أو مترين (b) .

3- يحقن بعد السائل العازل نفط بحجم مساوي لحجم مواسير الإنتاج لثبيت السائل العازل بقعر البئر (المرحلة b) .



الشكل (8-2)