

للأسباب التالية :

أ. حدوث ترسيب لماءات الحديد والألمنيوم $Fe(OH)_3$ ، $Al(OH)_3$ بحجم كبير يؤدي إلى تخفيض النفوذية وأحياناً إلى إغلاق كلي للمسامات وانعدام الإنتاج من الطبقة .

ب. ترسيب كبريتات الكالسيوم على شكل جـص $CaSO_4 \cdot H_2O$ أو انهدريت $CaSO_4$ وذلك حسب درجة حرارة الطبقة ، لأن هذه الكبريتات المنحلة يمكن أن تترسب بعد تعادل الحمض في الطبقة بحجم أكبر من حجمها الأولي وتؤدي إلى تقليل النفوذية المطلقة للطبقة. كذلك يتصرف الحمض وكأنه الماء بعد زمن التعادل حيث تنتفخ الحبيبات الغضارية وتشغل أماكن الفراغات . كما يمكن أن تتوضع الرمال في قاع البئر إذا كانت الشروط غير مدروسة بشكل جيد في أثناء عملية التشقيق الهيدروليكي حيث تشكل سداة رملية يمكن أن تمنع الجريان وتخرج البئر من الإنتاج . كما أن تركيز البوليميرات ومقلات التوتر يمكن أن تكون عكسية إذا لم يراع تركيب الصخر ونوع النفط وملوحة المياه المرافقة حيث يمكن أن تترسب وتخفض من حجم الفراغات في الطبقة كما أنها يمكن أن تقوم بدور عكسي في تسهيل مرور الماء أو الغاز إلى البئر .

التحميض

مقدمة

إن إنتاجية المكامن النفطية الكربونائية تتخفض باستمرار مع مرور الزمن ، وانخفاض هذه الإنتاجية يعود لعدة أسباب أهمها نقصان نفوذية الطبقة الخازنة . ولزيادة إنتاجية الآبار تستخدم عدة طرق لزيادة نفوذية الطبقة المنتجة وخاصة المناطق المحيطة بالبئر ، والتي تتعرض للتلوث الذي يسبب نقصان نفوذيتها بشكل أكبر من غيرها من المناطق .

ويعد التحميض الكيميائي أقدم وأهم الطرق المستخدمة لتحسين الإنتاجية من خلال تحسين نفوذية الطبقة الحاملة ، وقد بدأ تطبيق هذه الطريقة منذ عام 1930 حيث عولجت الطبقة بحمض محقون إلى عمق معين عمل على إذابة بعض الصخور ، وكذلك أثر على أسمنت الترابط بين حبيبات الصخر . أما استخدام الحمض لتنظيف جدران البئر من آثار سائل الحفر والمواد الملوثة الأخرى المتوضعة على الجدران فقد طبق منذ عام 1891 .

2-1- أنواع الحموض

يوجد فقط أربعة أنواع رئيسية من الحموض التي تستعمل في معالجة الصخور الكربونائية وهي :

- حمض كلور الماء - حمض فلور الماء - وحموض عضوية مثل : حمض النمل وحمض الخل .

كما توجد بعض الحموض الأخرى مثل : Sulfamic - Propionic

chloroacetic ولكنها استعملت بشكل محدود .

ولكي يكون الحمض فعالاً وذا تأثير مقبول يجب أن يحقق الشروط التالية :

1. أن يتفاعل مع الكربونات أو مع الفلزات الأخرى أو الرواسب ليشكل محاليل سائلة .

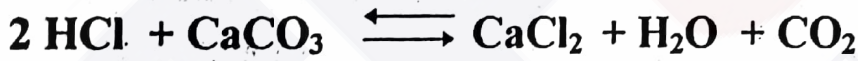
2. أن لا يتفاعل بشدة مع الأجزاء المعدنية في البئر حتى لا يسبب تأكلها

3. أن يكون سهل التداول وتكاليفه معقولة .

والحموض الأربعة السابقة تحقق هذه الشروط ، لذلك تستخدم الحموض العضوية بكميات معقولة خاصة في الصخور الخزنة العميقة ذوات الحرارة العالية أو عند التفاعلات ذوات الزمن الطويل ويعتبر حمض كلور الماء الأكثر استخداماً اليوم من بين الحموض وعادة يباع بتركيز 32 - 36% .

يؤثر حمض كلور الماء على الصخور الكربوناتيّة (كلس - دولوميت) وفق

المعادلات التالية :



يتحلل نواتج التفاعل CaCl_2 و MgCl_2 في الماء ويمكن إبعادها بسهولة من الطبقة وكذلك غاز CO_2 الذي يمكن أن يوجد قسم منه بحالة غازية .

تطبق هذه الطريقة للأغراض التالية :

1. تنظيف الشوائب الموجودة على جدران البئر مقابل الطبقة المنتجة أو تلك

المتوضعة في القنوات التي تجري خلالها الموائع .

2. توسيع مسامات الصخور بجوار جدران البئر .

3. توسيع وتنظيف الشقوق الموجودة في الصخور .

4. تشكيل قنوات جديدة بنفوذية عالية وذات عمق كبير يصل البئر بالمنطقة

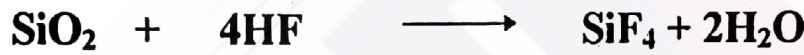
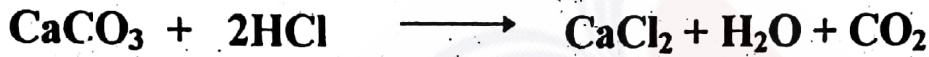
المشبعة بالنفط .

5. توسيع قطر البئر .

6. تنظيف المنطقة الملوثة بجوار البئر .

7. تساعد على نجاح عمليات الأسمنت لطبقات الماء الموجودة بين الطبقات النفطية وذلك بتوسيع الفراغات الحرة للصخور قبل البدء بعمليات ضخ الأسمنت .

أما إذا كانت الطبقة تحوي الرمل فيستعمل خليط من حمض كلور الماء HCl وحمض فلور الماء HF حيث يتفاعل HCl مع ملاط الترابط الكاسي للحبيبات الرملية أما HF فيتفاعل مع الغضار والرمل وفق المعادلات :



يبقى فلور السيليسيوم وثاني أكسيد الكربون في حالة غازية أو تتحلل في الماء ويمكن إبعادها من الطبقة . أما فلور الكالسيوم وفلور الألمنيوم فهي رواسب صعبة الذوبان في الماء ، ولذلك تضاف مواد تساعد على انحلالها كي يتم إبعادها من الطبقة ، ولكي تمنع ترسب فلور الكالسيوم تحقق الطبقة بكمية من حمض كلور الماء قبل مزج الحموض لإذابة الكربونات الموجودة في الطبقة وبحجم يتراوح بين 50 - 70 % من حجم المزيج الحمضي .

2-2- مزج الحموض

يمكن مزج وخلط حمض كلور الماء مع أحد الحموض العضوية : حمض النمل أو حمض الخل ، لإطالة زمن التفاعل وتشكيل حمض مثبط يدخل الطبقة ويتفاعل معها ببطء . كما يمكن مزج حمض النمل وحمض الخل مع بعضهما . ومن أجل معالجة الدولوميت يستخدم حمض فلور الماء بكميات ضئيلة جداً

حوالي 25 % مع حمض كلور الماء . هذا التركيز الضئيل يزيد سرعة تفاعل حمض كلور الماء مع الدولوميت . ونستخدم لمعالجة الغضار الموجود في كعكة الحفر أو الغضار الطبيعي الموجود في الطبقة خليطاً مكوناً من 2 - 10 % حمض فلور الماء مع 5 - 26 % حمض كلور الماء .

والجدول (1-2) يبين محاليل الحموض المستعملة مع CaCO_3 بتركيز مختلفة وزمن تفاعلها .

الجدول (1-2)

نوع الحمض وتركيزه %	الكمية المنحلة من CaCO_3 بـ 1000 غالون من الحمض	زمن التفاعل النسبي
HCl 7.5 حمض كلور الماء	890	0.7
HCl 15 حمض كلور الماء	1.840	1.0
HCl 28 حمض كلور الماء	3.670	6.0
HCl 36 حمض كلور الماء	4.860	12.0
formic 10 حمض النمل	910	5.0
acetic 10 حمض الخل	710	12.0
acetic 15 حمض الخل	1.065	18.0
formic 7.5 حمض النمل	2.420	6.0
HCl 14 حمض كلور الماء		
acetic 10 حمض الخل	2.380	12.0
HCl 14 حمض كلور الماء		
formic 8 حمض النمل	11700	18.0
acetic 14 حمض الخل		

ويجب مزج الحموض من العمليات المهمة لتشكيل الحموض المثبطة ، وذلك من

أجل اختراق أعمق للطبقة وتحسين فعالية المعالجة الحمضية .
ويعرف الحمض المثبط : بأنه حمض ذو صفات فيزيائية وكيميائية وتركيز معين
بمنحه فعالية لزمان أطول بـ 15 % من حمض HCl تحت نفس الظروف ويحقق
اختراق أعمق .

فمثلاً :

الحموض العضوية (حمض الخل ، حمض النمل) تتفاعل ببطء أكثر من
محلولات حمض كلور الماء وذلك بسبب تشتيدها الضعيف حيث :

$$K_i = 1.77 \times 10^{-4} \quad \text{ثابت التشتيد لحمض النمل}$$

$$K_i = 1.75 \times 10^{-5} \quad \text{ثابت التشتيد لحمض الخل}$$

ولا يمكن زيادة تركيزها لزيادة معدل تفاعلها لأنها فوق تراكيز معينة
(15 % لحمض الخل و 9 % لحمض النمل) تنتج خلاص الكالسيوم وفورمات
الكالسيوم التي تترسب لأن انحلالية هذه النواتج محدودة ، و زمن التفاعل الطويل
يجعل هذه الحموض العضوية مناسبة أكثر للاستعمال في الآبار ذات درجات
الحرارة العالية فوق (250° f) .

وللاستفادة من مزايا حمض كلور الماء السريع التفاعل ، ولزيادة عمق اختراقه
نلجأ إلى مزجه مع أحد هذه الحموض العضوية لتشكيل (حمض مثبط) يستخدم
لتأمين تفاعل سريع نسبياً لـ HCl يتبعه فيما بعد تفاعل مثبط بطيء للحمض
العضوي .

وعلى الرغم من أن الحموض العضوية المثبطة لها أوقات تفاعل أطول من
HCl تحت نفس الظروف لكن داخل الصخور الكربوناتيّة تختلف أوقات تفاعلها
تماماً عن تلك المتوقعة حيث أن تدفق الحمض داخل الصخور الكربوناتيّة غير
المتجانسة يؤمن محيط متبدل باستمرار من الأنماط الجريانية ومن أشكال تفاعل
الحموض .

فحمض الخل بمعدل تفاعله البطيء يستطيع أن يتشعب ويتبدد بشكل أسرع لكن

يخترق الصخر بشكل أقل من حمض كلور الماء الذي يتفاعل بسرعة ويخترق الصخر عبر عدد من الممرات والقنوات التي يفتحها .
ويوضح الشكل (1-2) الفرق بين تفاعل حمض الخل وتفاعل حمض كلور الماء مع الصخور الكربوناتيّة .



2-3- العوامل المؤثرة على تفاعل الحمض مع الصخر

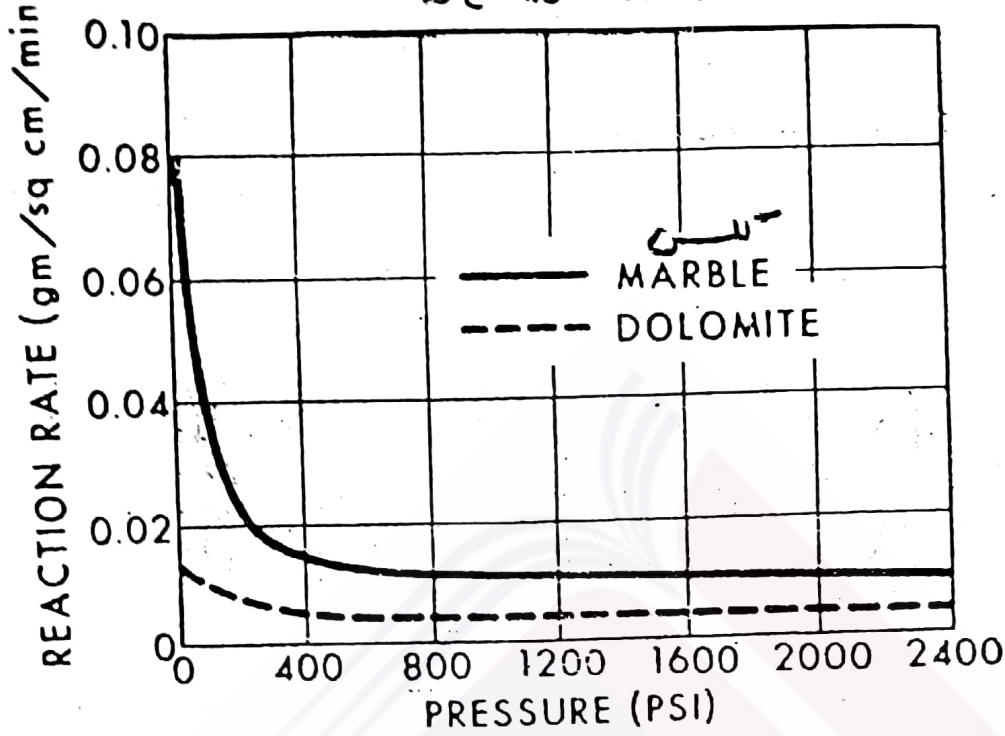
إن معرفة العوامل المؤثرة على التفاعل بالإضافة إلى معرفة مميزات الصخر الخازن يمكن أن يساهم في اختيار نوع الحمض وكميته لتأمين نجاح عملية التحميض .

والعوامل الأساسية المؤثرة هي :
الضغط - الحرارة - تركيز الحمض - سرعة التدفق - التركيب الكيميائي والصخري للصخر - نواتج التفاعل .

2-3-1 - الضغط :

إن سرعة التفاعل بين الحمض والصخور الكربوناتيّة تتناقص مع زيادة الضغط ،
الشكل (2-2) ، ويلاحظ هذا التناقص جلياً عند نطاقات الضغط المنخفض أما عند الضغوط الأعلى من (1000 Psi) فإن تأثير تغييرات الضغط يمكن أن يهمل

حيث تأخذ سرعة التفاعل قيمة ثابتة تقريباً مع زيادة الضغط .



الشكل (2-2)

ويعلل ذلك بوجود CO_2 الناتج عن التفاعل والذي ينحل في الماء الناتج ليغير اتجاه التفاعل :



درجة الانحلال هذه تزداد بزيادة الضغط ، ويتجه التفاعل نحو اليسار ويتباطأ أو يتوقف انحلال الكلس ، أما إذا انخفض الضغط فإن CO_2 الناتج يكون بشكل غاز ويمكنه الخروج وبالتالي يتجه التفاعل نحو اليمين أي الكلس ينحل بسهولة أكبر أي سرعة التفاعل تزداد .

ويبين الشكل (2-2) علاقة الضغط مع سرعة التفاعل لحمض كلور الماء مع الحجر الكلسي ومع الدولوميت .

ويكون ثاني أكسيد الكربون بشكل سائل عند الضغط 55-70 at ولكن بدرجات حرارة أقل من $30^\circ C$ وهذا ما لا يمكن مصادفته مع الطبقات النفطية وفي كل الأحوال تزداد انحلالية CO_2 في السائل الحمضي بزيادة الضغط وبالتالي فإن

سرعة التفاعل تتناقص مع تزايد الضغط .

2-3-2 - الحرارة :

إن سرعة تفاعل الحموض تزداد بشكل مباشر بازدياد درجة الحرارة فمعدل تفاعل يتم في درجات حرارة تتراوح بين 140-160 فهرنهايت أكبر بمرتين من معدل تفاعل يتم في درجات حرارة بين 70-80° f .

ونذكر هنا أن درجة الحرارة الفعلية التي تتحكم بتفاعل الحمض يجب أن تأخذ بعين الاعتبار درجة حرارة الحمض المحقون ، ودرجة حرارة الصخر الخازن ، بالإضافة إلى درجة الحرارة المتحررة والنتيجة عن التفاعل .

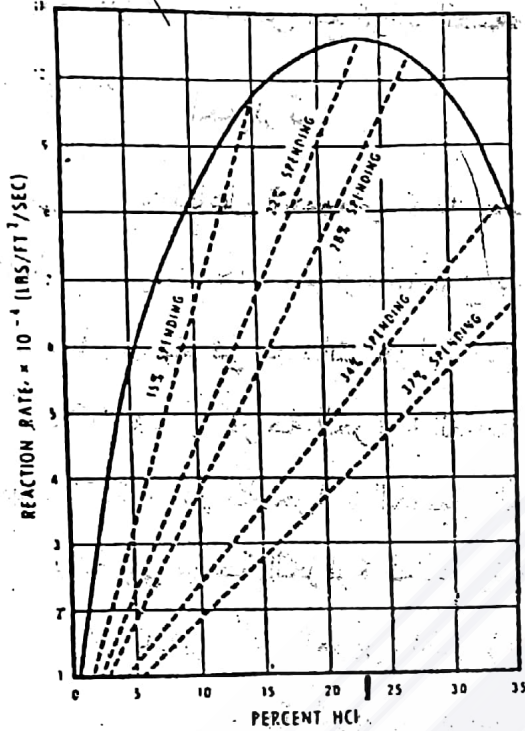
ويمكن تلافي تأثير الحرارة التي تزيد من سرعة التفاعل باستخدام مبطنات التفاعل أو عن طريق تبريد شديد للمنطقة القاعية باستخدام الأزوت السائل ، وبذلك يمكن حقن الحمض إلى مسافات أبعد في الطبقة .

إن تحميص صخر كلسي بدرجة حرارة 158 C° بـ HCl تركيزه 15 % يستهلك الحمض خلال 3 دقائق فإذا حقن الحمض بمعدل 1.7 م³/دقيقة فإنه يمكن حقن 5.7 م³ من الحمض فقط قبل تعادله في جبهة الحقن ومن أجل زيادة حجم الحمض المحقون تستخدم مبطنات التفاعل أو تستعمل معدلات ضخ أكبر .

2-3-3 - تركيز الحمض :

عند استعمال سائل حمضي بتركيز قليل يجب ضخ كميات كبيرة من هذا السائل في الطبقة حيث يدخل إلى أعماق كبيرة يصعب عندها إعادة سحبه عند انتهاء عملية المعالجة . أما عند استعمال سائل حمضي بتركيز كبير وبعد انتهاء التفاعل تزداد كثير الأزوجة السائل بسبب انحلال نواتج التفاعل (كلور المغنزيوم - كلور الكالسيوم) هذه النواتج التي تؤثر على معدل التفاعل الذي ينقص بسببها وبسبب تناقص قوة الحمض ، هذا بالإضافة إلى أن التركيز المرتفع ينشط عمليات تآكل المعدات المستخدمة .

وبين الشكل (2-3) العلاقة بين تركيز حمض كلور الماء المتفاعل مع الصخور



الشكل (2-3)

الكربوناتية وبين معدل التفاعل .

حيث نلاحظ أن معدل التفاعل يزداد حتى تركيز 15-20% وهذه الزيادة تصل عند حد أقصى هو 24-25% وفوق هذا التركيز فإن معدل التفاعل يتناقص فعليا .

ولقد تم التوصل نتيجة التجارب المخبرية إلى تعيين أفضل تركيز للسائل الحمضي وهو يتراوح بين (6-13% HCl) وعادة يستعمل

التركيز الأعظمي للصخور ذوات

النفوذية الضعيفة والحد الأدنى للطبقات ذوات النفوذية الجيدة .

2-3-4 - سرعة التدفق :

إن سرعة تدفق السائل الحمضي داخل الصخور الكربوناتية تؤثر على المسافة التي يقطعها الحمض في الطبقة ، وبزيادة سرعة التدفق للحمض يزداد معدل التفاعل للحمض مع الصخر .

ويتضح تأثير هذه السرعة بشكل أكبر في القنوات ذوات الأقطار الصغيرة أو في الشقوق كما هو مبين في المعادلة التالية :

$$R_r = [(28.5 (v/w)^{0.8} + 184)] \times 10^{-6}$$

حيث أن :

R_r - معدل التفاعل ($\frac{ft}{sec}$) ، من أجل 15% من حمض كلور الماء مع

$CaCO_3$ عند درجة الحرارة 80 فهرنهايت وضغط 1100 psi

v - سرعة تدفق الحمض (ft/sec) .

w - عرض الشق (in) .

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

الجريان) وتعطي v بالمعادلة التالية :

(1) من أجل القنوات الأسطوانية $v = 17.2 q_i / d^2$

(2) من أجل الشقوق الطولية $v = 1.15 q_i / hw$

(3) من أجل الشقوق الشعاعية $v = 0.18 q_i / r_i w$

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

d - قطر القناة (in) .

w - عرض الشق (in) .

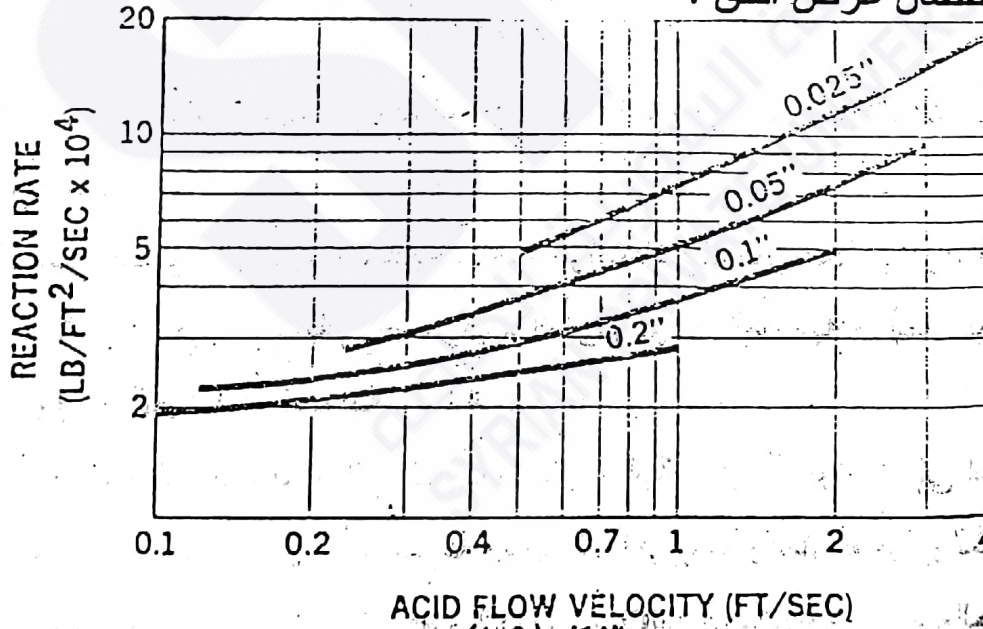
h - ارتفاع الشق (ft) .

r_i - نصف قطر الشق (ft) .

وبين 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)