دراسة تأثير إضافة الزيوليت السوري على خواص إسمنت آبار النفط والغاز

م.محمد حويري

ملخص البحث

تعتبر عملية السمنتة المرحلة الختامية لعملية حفر كل مرحلة من مراحل البئر النفطية والغازية. يطلب من عملية السمنتة (الحجر الإسمنتي) العديد من المهام، منها عزل الطبقة عن البئر، منع محتوياتها من الحركة غير الموجهة، تثبيت مواسير التغليف .الخ.

تعاني عمليات السمنتة من نسبة فشل تزيد عن 25% . يظهر هذا الفشل جلياً في الطبقات الإنتاجية من خلال ارتفاع ضغط الفراغ الحلقي الناتج عن تسرب الموائع الطبقية عبر الفراغ الحلقي.

تستخدم العديد من الإضافات إلى السائل الإسمنتي بهدف الحصول على سائل وحجر إسمنتي مناسب لظروف كل مرحلة من مراحل البئر، وبالتالي الحصول على عملية سمنتة أكثر نجاحاً.

تتجه الدراسات الحديثة باتجاه استخدام إضافات طبيعية تناسب مسحوق الإسمنت وتحقق عدة أهداف من أهمها الحصول على خلطة إسمنتية مناسبة لظروف البئر والحصول على حجر إسمنتي يحقق الأهداف المطلوبة منه، إضافة لتقليل كلفة واحدة الحجوم من السائل الإسمنتي.

ندرس في هذا البحث إمكانية استخدام الزيوليت السوري كإضافة إلى إسمنت أبار النفط والغاز كونه يتميز بتركيب فلزي قريب للتركيب الفلزي لمسحوق الإسمنت، وبالتالي يمكن أن يكون له خواص ترابطية وخاصة عند درجات الحرارة العالية.

Study the effect of adding Syrian zeolite on the properties of oil and gas wells Cement

Abstract

cementing process is the final job of drilling every stage of the oil and gas wells. Cementation (Cement set) must achieve a variety of tasks, as good insolation between the layer and the well, prevent its contents from undirected movement, fixing casing..etc.

Cementing operations have a failure rate exceeding 25%. This failure appears evident in the productivity Formations through annular high-pressure as a result for the annular fluid leak .

many of Additives Use to the Cement liquid in order to obtain a cement set means appropriate to the circumstances of each stage of the well, Thus obtaining the more successful cementation process.

Recent studies tend to use the natural additives fit cement ,and check several of the most important objectives to obtain cement Slurry appropriate to the circumstances of the well and get the cement set to achieve the required goals, in addition to reduce the cost of cementing process.

this research study the possibility of using Syrian zeolite as an addition to oil and gas Cement, because his min composition is similar to cement. and thus can have an associative properties, especially in circumstances of high temperatures.

1 – مقدمة.

تعتبر العمليات الإسمنتية من الأعمال الأساسية التي لا بد منها لإنجاز حفر آبار النفط والغاز، حيث تخضع كل مرحلة من مراحل حفر البئر لعملية سمنتة بعد الانتهاء من حفرها، وإنزال مواسير التغليف المعدنية داخل حفرة البئر هذه.

تجري عملية السمنتة بضخ السائل الإسمنتي (إسمنت مع الماء ومضافات أخرى) داخل مواسير التغليف (السمنتة المباشرة)، ثم إزاحته بواسطة سائل الإزاحة (الماء، أو سائل الحفر)، ليتوضع في الفراغ الحلقي بين مواسير التغليف وجدران البئر. تستأنف عمليات الحفر ثانية بعد زمن الانتظار (تحول السائل الإسمنتي إلى حجر).

تعتبر مرحلة السمنتة النهائية (المرحلة الإنتاجية) من أهم مراحل سمنتة البئر حيث يطلب من سمنتة هذه المرحلة إضافة إلى مهام المراحل الأخرى مهمة إغلاق الطبقة المنتجة، ومنع محتوياتها من الحركة غير الموجهة، وهي المهمة الأساسية لهذه المرحلة، وخاصة في الطبقات الغازية حيث يتميز الغاز بإمكانية الحركة ضمن القنوات ذات النفوذية الصغيرة (لا تتجاوز نفوذيتها 2 mD) [1].

يعتبر فشل الإسمنت بأداء مهامه من المشاكل التي يصعب حلها، حيث تتميز الحلول بنسبة فشل أكبر من عملية السمنتة ذاتها.

2 – تصنيف إسمنت آبار النفط والغاز.

تنتج العديد من أصناف إسمنت آبار النفط والغاز، إلا أن تصنيف معهد النفط الأمريكي API لإسمنت آبار النفط البورتلاندي يعتبر التصنيف الأكثر شيوعا في كافة أنحاء العالم، حيث يصنف وفق النشرة الجديدة من تصنيف API 10A ، في ثمانية أصناف هي[6]:

A ,B ,C ,D ,E ,F ,G ,H

يعتبر إسمنت الفئتين G و H من أكثر فئات الإسمنت استخداماً في كافة أنحاء العالم كإسمنت أساس ويتوفر بنوعين:

- اسمنت متوسط المقاومة للكبريتات (MSR) $C_3A \leq 8\ \%$
- اسمنت عالي المقاومة للكبريتات (HSR) $C3A \leq 3\ \%$

3 – أنواع الإضافات المستخدمة مع الإسمنت.

يتطلب التغير الحاد في ظروف البئر الجيولوجية والفيزيائية والفنية تعديلاً في خواص السائل الإسمنتي لتنفيذ عملية سمنتة ناجحة. يحصل ذلك من خلال إضافات معينة إلى المسحوق الإسمنتي الجاف (البوزولانات)، أو إلى ماء الخلط أثناء تحضير السائل الإسمنتي (الاضافات السائلة المتنوعة). تحدد نوعية ونسب الإضافات اعتماداً على الظروف الخاصة بكل بئر. من هذه الإضافات نذكر:

3.1 – مسرعات التصلب cement Accelerators .

تهدف مسرعات التصلب لخفض زمن تجمد السائل الإسمنتي، وتستعمل عادةً في المراحل السطحية حيث تكون درجة الحرارة منخفضة نسبياً، وبالتالي يكون زمن تجمد السائل الإسمنتي طويلاً. تستخدم هذه المواد أيضاً عند سمنتة الطبقات الحاوية على غاز، وذلك بهدف خفض كمية الغاز التي تعبر من خلال كتلة السائل الإسمنتي. كما أنها تستخدم في بعض العمليات الخاصة التي تتطلب الإسراع بتصلب السائل الإسمنتي (معالجة تسرب سائل الحفر، عزل مجالات معينة ....الخ) نذكر من المسرعات[7]:

◄ كلور الكالسيوم: يستخدم كلور الكالسيوم بنسبة تصل إلى %(2-4) من وزن الإسمنت.

◄ كلور الصوديوم: يتعلق تأثير كلور الصوديوم بتركيزه في السائل الإسمنتي، فهو يقوم بدور المسرع حتى نسبة % 10 أما عند قيم أكبر فيلعب دور المثبط.

◄ ماء البحر: يستخدم في المناطق البحرية المغلقة، حيث لا يوجد اختلاط مع مياه الأنهار العذبة.

◄ (سيليكات الصوديوم Na_2SiO_2 ، أوكسيد الصوديوم Na_2O ،..... الخ).

3.2 – مثبطات التصلب cement Retarders.

مع ازدياد درجة الحرارة والضغط في البئر(عند أعماق كبيرة في البئر) ينخفض زمن تصلب السائل الإسمنتي، ويمكن أن يبدأ التجمد قبل وصول السائل إلى المكان المحدد.

لتفادي هذه المشكلة يضاف للسائل الإسمنتي مواد تؤخر تصلبه، بحيث تسمح له بالوصول إلى المكان المحدد قبل البدء بالتصلب. يذكر من المواد المستخدمة لهذه الغاية:

- كلور الصوديوم: يعمل كمثبط عند استخدامه بنسب عالية.
- الليغنوسلفونات ومشتقاتها: تستخدم بتراكيز %(0.5-1.5) وزناً.
- مشتقات السيليلوز: تضاف عادةً بنسبة %(0.05-0.5) من وزن الإسمنت بدون ماء إضافي للإسمنت. عند نسب أعلى من ذلك يجب إضافة ماءٍ نقي لإعادة اللزوجة إلى الوضع السابق.

3.3 – مضافات معالجة التهريب Additives for controlling lost circulation.

أثناء إنجاز البئر يهرب السائل الإسمنتي في نفس مكان حصول هروب سائل الحفر. تتم معالجة التهريب بإغلاق مجالات هروب سائل الحفر قبل عملية السمنتة، كما يتم تلافي احتمال حصول التهريب من خلال خفض الضغط السكوني والحركي أثناء السمنتة، وذلك بخفض كثافة السائل الإسمنتي وتخفيض سرعة ضخه.

لتلافي حصول هروب السائل الإسمنتي يمكن استخدام الإسمنت المدعم بالألياف (ألياف الاسبستوس، مواد بلاستيكية مطحونة، قشور الجوز، قشور بذور القطن، الألياف بطول mm (8-10)).

3.4 – مضافات فاقد الرشح Fluid loss Additives.

يعالج السائل الإسمنتي بمواد منظمة لفاقد الرشح بغية الحصول على سائل إسمنتي متجانس، والمحافظة على نسبة ثابتة من المواد الصلبة إلى الماء. من أهم المركبات المستخدمة لهذه الغاية نذكر:

- مركب الأميدون (النشاء): يستخدم للآبار الضحلة فقط، أو المراحل قليلة العمق من الآبار.
- مركب كربوكسيل ميتيل سيليلوز الصوديوم. يعتبر من أكثر المواد فعالية في خفض فاقد الرشح.
- مركب كربوكسيل ميتيل هيدروكسيل إيتيل السيليلوز يماثل المركب السابق من حيث الفعالية والثباتية.

- (الأتابولغيت، غضار البنتونايت، وبولي سكاريد، ..... الخ).

3.5 – مخفضات الاحتكاك Fraction Reducer.

تستخدم هذه المركبات للحد من معدل الاحتكاك وتسهيل عملية نقل السائل الإسمنتي وإيصاله إلى الفراغ الحلقي حتى الارتفاع المقرر. أهم الإضافات المستخدمة لتحفيض الاحتكاك (اللزوجة) [7]:

- مركبات الليغنين بأنواعها.
- البولميرات : تستخدم في السوائل التي لا تحتوي نسبة عالية من الأملاح.
- الملح : يستخدم في الخلطات الحاوية على بنتونايت.
- ميلامين الصوديوم.

3.6 – مضافات خفض الوزن النوعي Light–Weight Additives.

تستخدم بهدف خفض الضغط الذي يشكله عمود السائل، والحد من احتمال حصول تشقق هيدروليكي في الطبقات الهشة. من الطرق المستخدمة لهذا الغرض يمكن أن نذكر:

- رفع نسبة W/C وبالتالي خفض الوزن النوعي للسائل الإسمنتي.
- إضافة مواد ذات وزن نوعي منخفض (غضار، تراب دياتومي، إسفلت طبيعي، فحم ... الخ).
- استخدام الطور الغازي في السائل الإسمنتي (السمنتة الرغوية).

3.7 – مضافات رفع الوزن النوعي Heavy Weight Additives.

تضاف هذه المواد لرفع الوزن النوعي للسائل الإسمنتي بهدف تمكينه من مقاومة الضغوط الطبقية العالية، والتي قد تؤدي إلى تسرب المائع الطبقي إلى داخل السائل الإسمنتي قبل تصلبه. يستخدم لهذا الغرض العديد من المواد مثل : الهيماتيت، البيريتيت، الرمل، الملح، الغالينا، والفروفسفور ...الخ [7].

3.8 – مضافات لمنع تشكل الرغوة Defoamed Additives .

يؤدي تواجد فقاعات في السائل الإسمنتي إلى خفض وزنه النوعي مع ازدياد احتمال دخول كميات كبيرة من الغازات الطبقية إليه، وما ينتج عن ذلك من تشكل حجر إسمنتي مسامي ونفوذي ذي مقاومة ميكانيكية ضعيفة. يذكر من المواد المانعة للرغوة : غليسيرينات متعددات البوبيلين، غول الغار، زيوت سولفانات متدنية [7].

3.9 – مضافات منع تراجع الصلابة Strength Retrogression .

تتراجع مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط عند تصلب السائل الإسمنتي بدرجات حرارة أعلى من ^{o}C 120 نتيجة لتشكل ألفا– سيليكات ثنائية الكالسيوم المائية α- $Ca_2(HSiO_4)OH$. يضاف الرمل السيليسي، والسيليكا الناعمة للإسمنت لمنع هذا التراجع [3].

3.10 – مواد مبعثرة Dispersants.

تضاف المواد المبعثرة للسائل الإسمنتي بهدف المحافظة على تبعثر حبيبات الإسمنت ضمنه ومنعها من الترسب، وبالتالي المحافظة على تجانس السائل الإسمنتي. يستخدم لهذا الهدف الليغنوسلفونات، ميلامين الصوديوم، بوليمير نفتالين- فورم ألدهيد وسيليكات الصوديوم [7].

4– خواص الحجر الإسمنتي.

4.1 – مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط (صلابة الحجر الإسمنتي).

تعتبر المواصفة الرئيسية لتقييم إسمنت آبار النفط والغاز، حيث تقاس هذه الصلابة بوضع السائل الإسمنتي بقوالب ذات قياس $(5.08\times5.08\times5.08)Cm^3$ ، وبحرارة معينة ولوقت محدد. تفك هذه القوالب وتترك لتبرد مدة نصف ساعة ثم تقاس مقاومتها للضغط.

تعتبر هذه المواصفة (إضافة لزمن بدء التصلب، والماء الحر) من المواصفات التي يعتمد عليها لتقييم إسمنت الفئة G حسب مواصفات معهد النفط الأمريكي API ، لذلك تعطى هذه المواصفة أهمية عالية كونها تنعكس على خواص أخرى لا يتم تحديدها (التصاق الحجر الإسمنتي مع معدن المواسير، جهد القص الذي يتحمله الحجر الإسمنتي ونفوذية هذا الحجر).

تساعد المقاومة العالية للحجر الإسمنتي بالحصول على عملية سمنتة ناجحة، في حين أن المقاومة السيئة تبشر مسبقاً بعملية سمنتة فاشلة.

4.2 – نفوذية الحجر الإسمنتي.

لا تعطى نفوذية الحجر الإسمنتي كمواصفة قياسية ضمن نشرات API إلا أنه وبهدف تحقيق العزل الجيد للطبقات المنتجة ولحماية مواسير التغليف من السوائل الأكالة يجب استخدام سوائل إسمنتية تتجمد وتعطي حجراً إسمنتياً لا تزيد نفوذيته عن (2-4) mD. [6]

يمكن الحصول على حجر إسمنتي أكثر كتامة من خلال مراعاة شروط تصلب السائل الإسمنتي، واستخدام إضافات توضع ضمن فراغات الحجر الإسمنتي وتعمل على اغلاقها.

4.3- التصاق الحجر الإسمنتي مع كل من مواسير التغليف وجدران البئر الصخرية.

يعتبر التصاق الحجر الإسمنتي بالسطح الخارجي لمواسير التغليف وجدران البئر الصخرية من الأمور الهامة المؤثرة على نجاح عملية السمنتة. عدم الالتصاق الجيد يسمح بحركية أكبر للموائع ضمن الفراغ الحلقي، ويقلل من تماسك هذا الحجر، ويضعف من قدرته على تحقيق مهمته الأساسية في تدعيم جدران البئر ومواسير التغليف، كما يمنع الحجر الإسمنتي من القيام بمهمة إغلاق الطبقة المنتجة ومنع الحركة غير الموجهة للموائع الطبقية، والتي تعتبر المهمة الأساسية لإسمنت المرحلة الإنتاجية.

تتأثر درجة الالتصاق هذه بعدة عوامل منها درجة نظافة هذه السطوح من سائل الحفر أو القشرة الطينية لسائل الحفر (كعكة سائل الحفر)، نوع مسحوق الاسمنت المستخدم، درجة الحرارة، خشونة سطوح التلامس، نوع وكمية المعدات الموجودة على مواسير التغليف (ممركزات، كاشطات)، لذلك يجب أن ننزع القشرة الطينية بطرق ميكانيكية أو كيميائية، كما يجب أن تنظف السطوح الخارجية لمواسير التغليف من الطلاء الواقي [4].

5 – تأثير الشروط الطبقية على عملية السمنتة.

5.1- تأثير الضغط على عملية السمنتة.

يتميز تأثير الضغط بمحدوديته على عملية السمنتة، فهو يقلل من زمن شك السائل الإسمنتي والزمن الذي يبدأ عنده التصلب، حيث يتناقص هذا الزمن مع تزايد الضغط حتى القيمة $350\ Kgf/Cm^2$ ، كما يساعد الضغط على تراص الحجر الإسمنتي المتصلب، وبالتالي زيادة كتامة الحجر الناتج.

5.2– تأثير درجة الحرارة على عملية السمنتة.

تتميز درجة الحرارة بتأثيرها السلبي على عملية السمنتة حيث، يتناقص بشدة زمن بدء شك السائل الإسمنتي (الزمن الذي يمكن خلاله ازاحة السائل الإسمنتي)، لذلك يجب معالجة السائل الإسمنتي بمبطئات تصلب، والتي تحدد كميتها ونوعيتها وفقاً لنوع الخلطة الإسمنتية ودرجة حرارة البئر، كما تؤثر درجة الحرارة على المتانة التي تتناقص وخاصة عند تجاوز الحرارة 80^oC، فقد تبلغ هذه المقاومة قيماً مرتفعة في الأيام الأولى بعد عملية السمنتة إلا أنها تتناقص تدريجياً مع الزمن، وقد تصل إلى وضع تصبح قيمتها قليلة لدرجة أن الحجر الإسمنتي لا يعود مؤهلاً لعزل الطبقات عن بعضها البعض[3].

5.3 – تأثير المياه الطبقية على عملية السمنتة [1].

يمكن أن تسبب المياه الطبقية تسريع تصلب السائل الإسمنتي بسبب ما تحتويه من أملاح مختلفة، ولكن التأثير الأهم للمياه الطبقية يكون على الحجر الإسمنتي المتشكل إذ تعمل على تخريبه (من خلال التآكل الكيميائي) عند احتواءها على الشوارد الحامضية بتراكيز مرتفعة (Cl^-,HCO_3^-,SO_4^{-2}) حيث تتفاعل هذه الشوارد مع المعادن المشكلة للحجر الإسمنتي الذي يفقد مقاومته كلياً بعد زمن قصير من تشكله في الفراغ الحلقي مقابل الطبقات الحاملة للمياه الطبقية، وتعتبر شوارد الكبريتات (SO_4^{-2}) أكثرها فتكاً بالإسمنت، والتي تسمى في هذه الحالة بالمياه الكبريتية.

6 – تأثير العوامل الأخرى على عملية السمنتة.

6.1– تأثير مواصفات سائل الحفر على عملية السمنتة.

تساهم عملية الحفر بنجاح عملية السمنتة وذلك من خلال الاختيار الصحيح لنوع وخواص سائل الحفر، والذي بدوره يؤمن الوسط الملائم لنجاح أو فشل عملية السمنتة.

يحدد نوع سائل الحفر وطبيعة مكوناته وملائمته للطبقات المحفورة دوراً أساسياً من خلال تأثيره على نظامية قطر البئر النفطية، فالسوائل ذات الأساس المائي يمكن أن تؤدي إلى حصول تكهفات في الطبقات الملحية، يكون من الصعب إزاحة سائل الحفر من هذه التكهفات، واستبداله بالسائل الإسمنتي، وبالتالي تبقى هذه المناطق بدون إسمنت. عدم ثباتية قطر البئر تؤدي إلى تغير سرعة إزاحة سائل الحفر، وبالتالي تغير نسبة الإزاحة.

تعتمد إزاحة سائل الحفر على العديد من العوامل (نوع جريان السائل في الفراغ الحلقي، المعدات المنزلة مع المواسير، ومدى تمركز المواسير ضمن البئر، وعمليات تحريك المواسير، وشكل الحركة .. الخ)[4].

تكتسب الممركزات أهمية بتأمين فراغ حلقي منتظم، وبالتالي انتظام جبهة الإزاحة ومنع التصاق مواسير التغليف بجدران البئر(عدم بقاء مناطق دون سمنتة، أو تجاوز سائل الحفر). يؤثر نوع ومواصفات سائل الحفر والسائل الإسمنتي، أو سائل الإزاحة على نسبة إزاحة سائل الحفر [2].

يؤدي الفارق الكبير ببين خواص كل من سائل الحفر والسائل الإسمنتي إلى رفع معدل اختلاط السائلين مع بعضهما مما يشكل جبهة مختلطة ذات لزوجة عالية يصعب تحريكها.

اللزوجة العالية لسائل الحفر قد تؤدي إلى تهدم الطبقات الهشة نتيجة قوى الاحتكاك مما يساهم بتوسع جدران البئر وتلوث السائل الإسمنتي.

تساعد الطبقات ذات النفوذية العالية على تشكل طبقة متداخلة من الحجر الإسمنتي والصخور الطبقية وبالتالي يرفع ذلك من ارتباط الحجر الإسمنتي مع الصخر.

6.2- تأثير المعدات المساعدة على عملية السمنتة.

تستخدم العديد من المعدات للمساعدة بإنجاز وإنجاح عملية السمنتة، وبالتالي تؤمن الحصول على حجر إسمنتي يؤدي مهامه بكفاءة أكبر.

تستخدم ممركزات مواسير التغليف بهدف مركزة المواسير ضمن البئر. ينصح عادة باستخدام ممركزات مواسير التغليف على طول المواسير، وخاصة في المجال المفتوح من

البئر، وفي مناطق الميل، وبالتالي منع مواسير التغليف من الاستناد على جدران البئر وبقاء مناطق خالية من الإسمنت.

استخدام الخادشات لإزالة كعكة سائل الحفر يساعد في الحصول على حلقة إسمنتية ذات ترابط أفضل مع كل من مواسير التغليف وجدران البئر.

6.3- تأثير التكنولوجيا المطبقة على عملية السمنتة.

تساهم التكنولوجيا المستخدمة بنجاح عملية السمنتة، فقد لوحظ أن تحريك مواسير التغليف يعمل على رفع كفاءة إزاحة سائل الحفر، واستبداله بالسائل الإسمنتي.

يرفع تطبيق ضغط على الفراغ الحلقي بعد انتهاء عملية ضخ السائل الإسمنتي وقبل التصلب من ترابط الحجر الإسمنتي مع الوسط المحيط، ويمنع تغلغل الموائع الطبقية داخل الفراغ الحلقي في المرحلة الانتقالية للسائل الإسمنتي.

6.4- تأثير العمليات اللاحقة على إسمنت آبار النفط.

تنشأ نتيجة الحرارة الناتجة عن إماهة الإسمنت إجهادات تعمل على تشقق الحجر الإسمنتي، كما تؤدي تغيرات الظروف الفيزيائية (حرارة، ضغط) داخل البئر خلال عمليات الإنهاء والاستثمار إلى فك ترابط الحجر الإسمنتي مع محيطه، وإحداث شقوق داخل الحجر الإسمنتي وصولاً إلى انهياره.

عمليات حفر الحجر الإسمنتي داخل مواسير التغليف بعد فترة الانتظار المقررة تعرض الحجر الإسمنتي للإجهاد نتيجة اصطدام مواسير الحفر مع جدران البئر[5].

عند تصميم السائل الإسمنتي يجب مراعاة الظروف التي سيتعرض لها الحجر الإسمنتي في مختلف مراحل عمر البئر، بدءاً من عملية وضع البئر في الإنتاج (تتضمن عمليات التثقيب حيث تتعرض خلالها حلقة الحجر الإسمنتي لإجهادات عالية)، مروراً بعمليات التحسين المختلفة (تحميض, تشقيق, تسخين ..الخ)، ووصولاً إلى انخفاض الضغط في قاع البئر في المراحل الأخيرة للإنتاج.

تؤدي عمليات إنهاء البئر ووضعه في الإنتاج، وعمليات الإنتاج والإصلاح اللاحقة، وما يرافق ذلك من تغيرات في شروط البئر إلى إحداث إجهادات سكونية وديناميكية تضر بالحجر الإسمنتي وعلاقته بالوسط المحيط[8].

يعمل الضغط المطبق أثناء التشقيق الهيدروليكي (الذي قد يستمر لعدة ساعات أحياناً) على تمدد حلقتي الحجر الإسمنتي ومعدن مواسير التغليف، وبعد زوال الضغط، ونتيجة لاختلاف المواصفات الميكانيكية للحجر الإسمنتي ومعدن المواسير ينفصل الحجر الإسمنتي عن الحلقة المعدنية، كما قد يتشقق الحجر الإسمنتي نتيجة لعدم مرونته بشكل كاف لاستيعاب التغيرات الحجمية.

6.5- تأثير مواصفات حفرة البئر.

تتعرض حفرة البئر خلال عملية الحفر لتغيرات في قطر البئر (تكهفات في الطبقات القابلة للانحلال، وتضيق في الطبقات النفوذة)، مما يؤدي إلى عدم تجانس الحلقة الإسمنتية خلف مواسير التغليف، إضافة لعدم التمكن من الإزاحة الجيدة لسائل الحفر.

الحصول على حفرة بئر منتظمة (عدم وجود تكهفات، أو تضيقات في حفرة البئر)، يمكننا من الحصول على مركزة جيدة للمواسير داخل البئر، وبالتالي الحصول على حلقة متجانسة من الحجر الإسمنتي حول مواسير التغليف.

6.6- تأثير سرعة الإزاحة.

يمكن أن نصادف ثلاث أنواع لجريان السوائل داخل الفراغ الحلقي (خطي- كتلي- مضطرب)، وقد أثبتت التجارب أن الجريان المضطرب هو الجريان الأفضل لإزاحة سائل الحفر من الفراغ الحلقي. يمكن التوصل إلى هذا الجريان عن طريق تقليل لزوجة السائل الإسمنتية، أو زيادة غزارة ضخ السائل الإسمنتي، وازاحته إلى الفراغ الحلقي.

6.7- تأثير السوائل العازلة.

يجب أن يبقى كلا من الاسمنت وسوائل الحفر منفصلة عن بعضها البعض، ولذلك نستخدم سوائل عازلة، تقوم بعزل السائل الاسمنتي عن سائل الحفر في الفراغ الحلقي وتمنع اختلاطهما.

من اجل نجاح عملية السمنتة يجب أن تكون هذه السوائل ذات خواص ملائمة لكل من الخلطة الإسمنتية وسائل الحفر الموجود في البئر.

يعتبر الماء هو أفضل السوائل المستخدمة كفواصل حيث انه سائل رقيق، وبالتالي يمكن ضخه بجريان مضطرب وهو مناسب لسائل الحفر (سوائل الحفر ذات الأساس

المائي) وللإسمنت، كما انه رخيص الثمن، في حال كانت سوائل الحفر مثقلة فانه يجب استخدام سوائل عزل مثقلة أيضاً، أما إذا كانت سوائل الحفر ذات أساس زيتي فانه ينصح باستخدام مادة المازوت كسائل فصل، وعند سمنتة الآبار الغازية يجب أن يكون ارتفاع سائل العزل في الفراغ الحلقي لا يقل عن 150 متر.

7- الدراسة المخبرية.

7.1 – المواد المستخدمة في التجارب.

7.1.1 – الزيوليت السوري.

بدأت المؤسسة العامة للجيولوجيا بالبحث عن الزيوليت منذ عام 1985 ، تشير الدراسات الجيولوجية (د.كازمير ، د. الياس ، د. شرف) إلى انتشار توضعات من نوع الشبازيت شمال طرطوس، كما تشير دراسات أخرى (كاينجيسكات 1994 إلى وجود فلز الأنالسيم في منطقة تلول المكحيلات (جنوب شرق سوريا).

كشفت نتائج أعمال التنقيب الجيولوجي عن توضعات الزيوليت في منطقة تلول المكحيلات المنفذة خلال عام 2001 إلى انتشار هذه الصخور بسماكة تتراوح بين (10-160) m.

الدراسة المخبرية: اجريت تحاليل مخبرية على 63 عينة مأخوذة من 29 بئر وفق توزع افقي وعمودي محدد. نتائج التحاليل لوسطي المحتوى الكيميائي للصخور الحاوية على الزيوليت في منطقة تلول المكحيلات يظهره الجدول (1).

جدول:1 المحتوى الكيميائي للصخور الحاوية على الزيوليت في منطقة تلول المكحيلات

LOI	TiO_2	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
16.9	1.35	0.31	0.49	8.59	10.29	11.30	11.79	34.32

يظهر الجدول (1) أن وسطي تركيز الأكاسيد الرئيسية (SiO_2، Al_2O_3، CaO، Na_2O، K_2O) يشكل ما مقداره % 57.2 بينما تشكل المركبات المرافقة (Fe_2O_3، TiO_2،MgO) نسبة 21.24% .

التحاليل المنرالوجية المجراة على 260 عينة باستخدام جهاز X.R.D اظهرت تكون التركيب الفلزي للعينات المدروسة من ثلاث مجموعات فلزية:

- **مجموعة فلزات الزيوليت** وتتألف من: الفيليبسيت، الأنالسيم، الديشاردت، الموردينيت، الشبازيت، الويلسيت، الجيسسموندين، الميريلونيت.
- **مجموعة فلزات اندفاعية** وتتألف من: الاوليفين (فورستريت)، بيروكسين، لوسيت، انورتيت، البيت، اندالوسيت.
- **مجموعة فلزات رسوبية وثانوية** وتتألف من: الكالسيت، المنتموريلونيت، الهيماتيت.

تراوح الوزن النوعي للزيوليت المدروس ضمن المجال gf/Cm^3 (1.5–2.01).

7.1.2 – إسمنت آبار صنف G.

استخدم في إنجاز التجارب إسمنت آبار صنف G إنتاج شركة الرستن لصناعة الإسمنت ومواد البناء يتمتع بسطح نوعي $3450\ cm^2/gr$ حسب بلاين (جدول2) .

يستخدم إسمنت الصنف G كإسمنت أساس في تغليف آبار النفط والغاز نظراً لخلوه من الإضافات. يتوفر هذا الصنف على شكل متوسط وعالي المقاومة للكبريتات، ويمكن أن يستخدم بدون إضافات حتى عمقm 1440 ودرجات حرارة حتى $95\ ^oC$ ، كما يستخدم عند أعماق ودرجات حرارة مختلفة عند استخدام إضافات مناسبة[6].

جدول 2 :التركيب الكيميائي لإسمنت الآبار الصنف G (إنتاج شركة لرستن)

المكون	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	فاقد بالحرق	مواد غير منحلة	مجموع
النسبة %	21.2	4.28	5.64	64.2	1.51	1.99	1.02	0.007	99.92

طريقة تحضير السائل الإسمنتي:

توضع كمية الماء المحددة في الخلاط (استخدمت نسبة ماء إلى مادة صلبة: اسمنت+ زيوليت % 44)، يشغل الخلاط بسرعة 8500 RPM ، تضاف أثناء ذلك المواد المحددة (مانع رغوة، مبطئ تصلب، مؤخر تصلب .. الخ). تضاف عينة الإسمنت المخلوط بالنسبة المحددة من الزيوليت إلى الماء في الخلاط، ترفع سرعة الخلط إلى 12000 RPM ، ويستمر الخلط بحيث لا يتجاوز زمن الخلط بالكامل 50 min بدءاً من لحظة إضافة الإسمنت.

يصب الإسمنت ضمن القوالب المناسبة للدراسة (مكعبة) وتوضع بحرارة 60 °C لمدة 24 ساعة . تفك بعد ذلك لإجراء القياس المطلوب، وتوضع بقية العينات بالماء للاختبارات القادمة.

7.2 – التجارب المخبرية.

7.2.1 – دراسة تأثير اضافة الزيوليت على الوزن النوعي للسائل الإسمنتي.

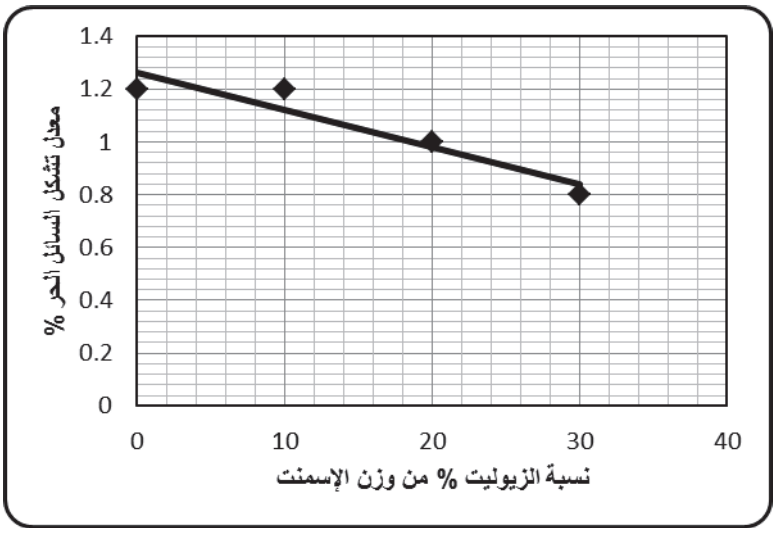
يلاحظ من خلال التجارب أن اضافة الزيوليت تقلل من الوزن النوعي للسائل الإسمنتي (يبلغ الوزن النوعي للسائل الإسمنتي بدون إضافات gf/Cm^3 (1.85–1.9))، حيث ينخفض عند نسبة الإضافة 30% من الزيوليت إلى gf/Cm^3 1.82 . تناقص كثافة السائل الإسمنتي تبقى ضمن المجال المقبول بحيث لا تتجاوز نسبة التناقص 4.2% من الوزن النوعي للسائل الإسمنتي.

يمكن تعويض انخفاض الوزن النوعي بإضافة مواد مثقلة، علماً أن حفر الطبقات النفطية غالباً يكون بكثافات أدنى من كثافة السائل الإسمنتي، وبالتالي يعتبر تخفيض الوزن النوعي للسائل الإسمنتي عامل إيجابي (تحفر طبقات الغاز في حقول المنطقة الوسطى السورية بسائل حفر كثافته تتراوح بين gr/Cm^3 (1.2–1.4)). الشكل(1) يظهر تأثير اضافة الزيوليت على الوزن النوعي للسائل الإسمنتي.

شكل 1:علاقة نسبة اضافة الزيوليت على الوزن النوعي للسائل الإسمنتي

7.2.2 – دراسة تأثير اضافة الزيوليت على معدل تشكل السائل الحر.

يتناقص معدل تشكل السائل الحر مع زيادة نسبة الزيوليت المضافة، يمكن تفسير تناقص السائل الحر بالارتباط الفيزيائي لجزيئات الماء مع مركبات الزيوليت. الشكل (2) يظهر العلاقة بين نسبة الزيوليت المضافة ومعدل تشكل السائل الحر.

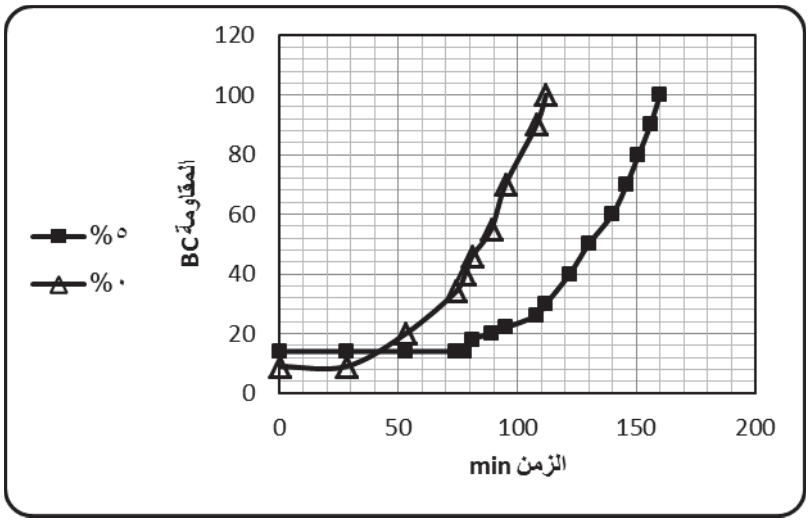


شكل2: معدل تشكل السائل الحر

7.2.3 – دراسة تأثير اضافة الزيوليت على نمو مقاومة السائل الإسمنتي خلال عمليات الاماهة.

يعبر نمو المقاومة عن مدى سرعة تفاعل مسحوق الإسمنت مع الماء، ومراحل هذا التفاعل. يفضل خلال التصلب المنحني الذي يتمتع بزاوية حادة كونه ينبئ بمرحلة انتقالية سريعة (زمن أقل للتحول من سائل إلى حجر)، وبالتالي يقلل من خطر المرحلة الانتقالية على عملية السمنتة.

يظهر الشكل(3) مقارنة بين نمو مقاومة السائل الإسمنتي النقي (بدون إضافة)، والسائل الحاوي على نسبة 5% من الزيوليت. يظهر من الشكل المذكور أن إضافة الزيوليت تحسن بشكل محدود من منحني نمو المقاومة قبل الوصول إلى بداية التصلب.



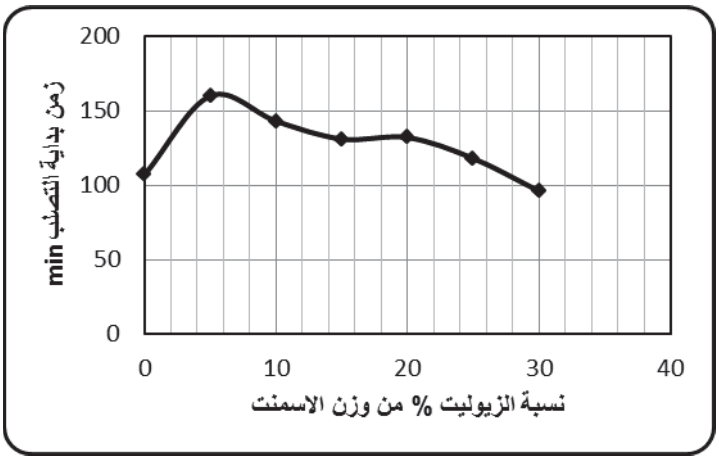
شكل3 : نمو مقاومة السائل الإسمنتي

7.2.4 – دراسة تأثير اضافة الزيوليت على زمن بداية ونهاية تصلب السائل الإسمنتي.

يحدد زمن بداية لتصلب الزمن الذي يمكن خلاله ضخ السائل الإسمنتي وايصاله إلى المكان المقرر. يتمتع إسمنت آبار النفط والغاز بزمن بداية تصلب يتراوح بين (90–120)min، رغم أن هذا الزمن غالباً يكفي لضخ السائل الإسمنتي، وإنزال الفاصل، وضخ سائل الازاحة، إلا أنه تضاف مؤخرات التصلب إلى الخلطات الإسمنتية، وخاصة في

المراحل الوسطية والانتاجية، وذلك تحسباً لأي طارئ يمكن أن يحدث خلال عملية السمنتة.

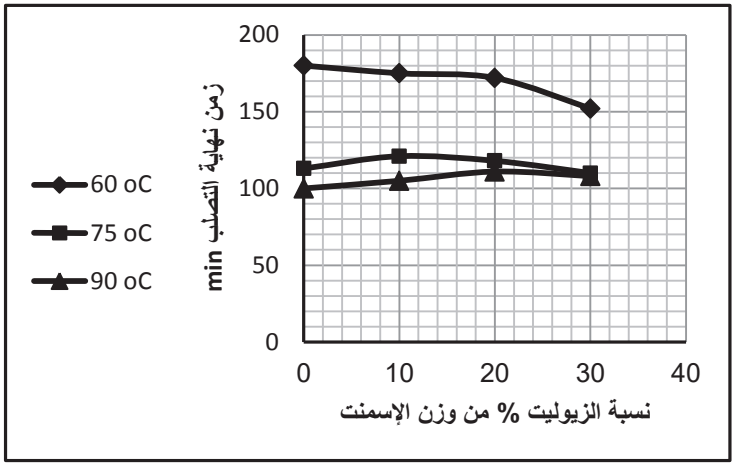
يوضح الشكل (4) زمن بداية التصلب للسائل الإسمنتي عند نسب إضافة متنوعة من الزيوليت. يشير الشكل المذكور إلى ارتفاع زمن بداية التصلب عند النسب المتدنية من الإضافة، تتناقص نسبة الزيادة مع ارتفاع نسبة الزيوليت المضافة للسائل الإسمنتي، وتصل إلى قيم قريبة (أدنى بقليل) من الإسمنت النقي.



شكل4 : علاقة بداية تصلب السائل الإسمنتي مع نسبة اضافة الزيوليت

يشير الشكل (5) إلى تغير زمن نهاية الشك بالعلاقة مع نسبة الإضافة من الزيوليت عند درجات حرارة مختلفة.

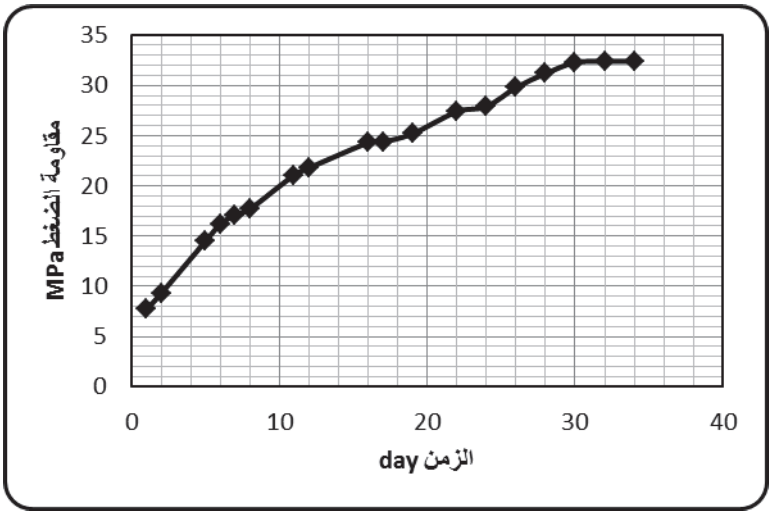
يظهر من الشكل تناقص بسيط بزمن نهاية الشك عند درجات الحرارة العالية ($90\ ^oC$) في حين تبقى قريبة من الإسمنت النقي عند درجات الحرارة $(60,75)^oC$.



شكل 5: نهاية تصلب السائل الإسمنتي مع نسبة اضافة الزيوليت

7.2.5 – دراسة تأثير اضافة الزيوليت على نمو مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط.

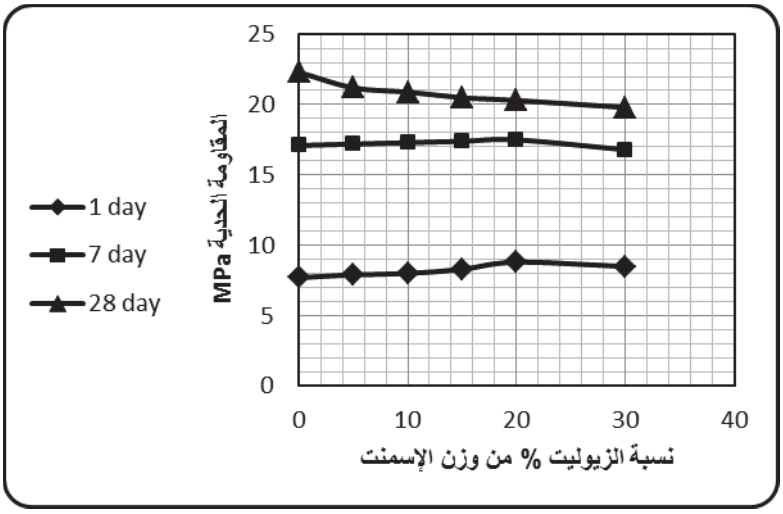
تمت بدايةً دراسة نمو مقاومة الحجر الإسمنتي بالعلاقة مع الزمن لتحديد زمن انتهاء تصلب مسحوق الإسمنت. يلاحظ من الشكل (6) نمو المقاومة الحدية لانهيار الحجر الإسمنتي تحت الضغط بالعلاقة مع الزمن. يستمر هذا النمو حتى زمن 30 يوماً. يتوافق ذلك مع العديد من الأبحاث التي تشير إلى انتهاء التصلب بعد 28 يوم.



شكل6: نمو المقاومة الحدية لانهيار الحجر الإسمنتي مع الزمن

تمت دراسة تأثير اضافة الزيوليت على مقاومة الحجر الإسمنتي حتى نسبة اضافة % 30 من من وزن الإسمنت. يلاحظ زيادة المقاومة المبكرة (بعد 24 ساعة، 7 day) عند كافة النسب المدروسة مقارنة مع عينة الشاهد. تتناقص مقاومة الضغط النهائية عند (28 day) بشكل طفيف.

الشكل (7) يظهر تأثير اضافة الزيوليت على مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط .



الشكل7:علاقة نسبة اضافة الزيوليت على مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط .

النتائج والمقترحات.

يلاحظ من خلال هذه الدراسة ما يلي:

- ينخفض الوزن النوعي للسائل الإسمنتي مع زيادة نسبة الزيوليت بشكل محدود جداً، بحيث لا يشكل هذا الانخفاض أي أثر يذكر، خاصة أن آبار النفط والغاز في الحقول السورية تحفر بسوائل حفر بوزن نوعي أدنى من الوزن النوعي للسائل الإسمنتي (تحفر الطبقات الغازية في حقول المنطقة الوسطى مثلاً بسائل حفر كثافته تتراوح بين (1.2-1.4) (gr/cm^3).
- يتناقص معدل تشكل السائل الحر مع زيادة نسبة إضافة الزيوليت بشكل مطرد. يقلل ذلك من تشكل قنوات ضمن الحجر الإسمنتي الناتج، وبالتالي الحصول على حجر إسمنتي كتيم.

- يلاحظ استقرار أكبر بمعدل نمو مقاومة السائل الإسمنتي عند نسبة إضافة 5% ، حيث يتأخر نمو المقاومة، وعند البدء بالنمو يزداد بشكل سريع مقارنة مع عينة المقارنة، حيث يعتبر النمو الذي يشكل زاوية قريبة من الزاوية القائمة نمواً مثالياً.
- ترفع اضافة الزيوليت (حتى النسبة % 20) زمن بداية تصلب السائل الإسمنتي فتصل حتى% 149 من زمن الإسمنت النقي (بدون اضافة) عند نسبة إضافة5%. تضاف غالباً مؤخرات تصلب إلى خلطات السائل الإسمنتي المستخدمة لسمنتة المراحل الوسطية والإنتاجية في حقول النفط السورية.
- زيادة زمن بداية التصلب عند النسب المتدنية من الإضافة مع بقاء زمن نهاية التصلب قريب منه للإسمنت النقي يدل على تناقص زمن المرحلة الانتقالية للسائل الإسمنتي. الأمر الذي يرفع من نسبة نجاح عملية السمنتة.
- يشير انخفاض زمن نهاية التصلب عند نسبة إضافة 30% ، ودرجة حرارة $90^{o}C$ ، إلى مشاركة مركبات الزيوليت بعمليات التصلب مع مسحوق الإسمنت.

– ترفع اضافة الزيوليت من المقاومة المبكرة للحجر الإسمنتي، حيث تعتبر هذه المقاومة من أهم عناصر تقييم الإسمنت، خاصة أن متابعة العمل بعد زمن الانتظار يتوقف عليها، حيث تعتبر العنصر الأساسي المقرر لزمن انتظار جفاف الإسمنت

اعتمادا على النتائج السابقة يمكن ***اقتراح*** إضافة الزيوليت بالنسب المدروسة، حيث تؤمن إضافة الزيوليت تخفيض معدل تشكل السائل الحر، وتحسين سلوك السائل الإسمنتي بدءاً من لحظة تحضير الخلطة الإسمنتية وحتى انتهاء التصلب. كما تحسن إضافة الزيوليت من المقاومة المبكرة للحجر الإسمنتي، وترفع زمن بداية التصلب، وبالتالي يمكن الاستغناء عن إضافة مؤخرات التصلب للسائل الإسمنتي.

كل هذه المؤشرات تدل على تحسين العديد من خواص السائل والحجر الإسمنتي، وبالتالي فإن هذه الإضافة تؤمن نسب نجاح أعلى لعملية السمنتة، ولمختلف مراحل البئر، وعند مختلف الشروط ، وذلك من خلال التحكم بنسب الإضافة.

References

1- A.Khodadadi , Gospodarka .Surowcami, 2008 -Investigation of gas migration in Khan Iran wells.Zeszyt 4/3 .

2- B, Karen. AUGUST 2005-The Cement-to-Formation Interface in Zonal Isolation . SPE paper 88016 .

3- D.G.Cardno et al, the use of Silicate WBM facilitates successful primary cementation operations on the BHP Petroleum Liverpool bay development , SPE 37611 .

4- D.Walton el al, April 2003- drilling fluid and cementing improvements reduced per-ft drilling cost by 10 %. World oil pg.39-47 .

5- Theresa. Watson ,Exxon Mobil ,Don Getzlaf and JanesE.Griffith, May2002 , Specialized cement Design and Placement Procedures Prove Successful for Mitigating casing Vent Flows- case Histories. Halliburton, paper SPE 76333.

6- L.Mojtaba, Z. Behzad, K.Amin,"Early-age compressive strength assessment of oil well class G cement due to borehole pressure and temperature changes" , Journal of American Science 2010 , PP10 .

7- Universal well cement additives and methods Document Type and Number , United States Patent 5972103 .

8- Zeolite compositions having enhanced compressive strength. United States Patent 7228905.