

دراسة تأثير الإضافة المشتركة للغضار والمطاط السائل على مرونة الحجر الإسمنتي

م. محمد حويري : مهندس في جامعة البعث /كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية / قسم الهندسة البتروولية

ملخص البحث

تعتبر عملية السمنتة الخطوة الختامية لعملية حفر كل مرحلة من مراحل البئر النفطية والغازية.

يطلب من عملية السمنتة (الحجر الإسمنتي) العديد من المهام (عزل الطبقات، منع محتوياتها من الحركة غير الموجهة، تثبيت مواسير التغليف.....الخ). تعاني عمليات السمنتة من نسبة عالية من الفشل تصل حتى 50% حسب بعض الاحصاءات[1].

يظهر فشل عملية السمنتة من خلال ارتفاع الضغط في الفراغ الحلقي والذي ينتج عن تسرب الموائع الطباقية نتيجة عدم إغلاق الطبقة. تعزى اسباب فشل عملية السمنتة إلى عدة عوامل (عدم مناسبة الخلطة الإسمنتية لظروف البئر، الازاحة السيئة لأي من سائل أو كعكة الحفر، تشقق الحجر الإسمنتي..... الخ)

يعتبر تعرض الحجر الإسمنتي لإجهادات خلال مراحل إنهاء البئر أو الإنتاج والإصلاح من العوامل الرئيسة المساهمة بفشل الحجر الإسمنتي بأداء مهامه. تسبب هذه الإجهادات تشوه في الحجر الإسمنتي يتعدى المرحلة المرنة إلى مرحلة التشوه اللدن، وبالتالي انهيار الحجر الإسمنتي.

تم العمل في هذا البحث على إضافة مواد محددة إلى السائل الإسمنتي بحيث تتحسن المواصفات الميكانيكية للحجر الناتج عنه، وبالتالي يتمكن من استيعاب قيم أكبر من التشوهات قبل الوصول إلى حد الانهيار، مع مراعاة عدم الإساءة إلى المواصفات الأخرى للسائل والحجر الإسمنتي.

كلمات مفتاحية

فراغ حلقي، ضغط الفراغ الحلقي، تدفق عبر الفراغ الحلقي، إضافات إسمنتية، ترابط الإسمنت، إزاحة الإسمنت، غضار، تحطم الصخر، نفوذية الحجر الإسمنتي، تدفق بعد السمنتة، صخر متجانس، متجانسة تناظرياً، سائل إسمنتي، المقاومة الحدية لانتهيار الحجر الإسمنتي، زمن انتظار الإسمنت.

Study the effect compined addition of clay and liquid rubber on cement stone elasticity

E.Mohammad Hwery\Al-Baath University\Faculty of chemical and petroleum
engineering

Abstract

Cementing process is the final step of drilling every stage of oil and gas wells. Cementation (Cement stone) must achieve a variety of tasks (insulation layers, prevent its contents from undirected movement, install casing etc).

Cementing operations have failure rate up to 50% according to some statistics [1]. practically, the failure of cementing appears as annular high pressure, which produces because of Formation fluid leak as a result of the inability of the cement stone from closure the layer.

The factors case the failure of the cementation due to many factors (un suitable Slurry to the circumstances of the well, bad Displacement for any of fluid or cake drilling, cement stone Fracture etc.).

The exposing of cement stone to strains is initializer to carry it through the stages finish well, or production, and reform, is the main factors to the failure of the cement stone the performance of his job, where these stresses lead to apparition the deformation in cement stone beyond the flexible phase to the plastically deformation and thus crackup the cement stone.

This research explains addition of specific materials to the Slurry so that improved mechanical specifications of the cement stone, and thus be able to accommodate larger values of distortions before reaching the cracking, without offend the other specifications of the fluid and cement stone.

Key words

API – American Petroleum Institute, Annular Space ,Annular flow, Bentonite, Blowout , Bond, Casing pressure, Casing string , Casing vent flows (CVF), Cement Additive, Cement bond, Cementing, Compress, Compressive strength, Clay ,Crack, Dispersants, Failure ,Filtrate, flow after cementing, Horizon, isotrope, Isolation, Liquid spacers, Slurry, Segregate, Strength Retrogression, Transition period, Waiting on cement (W.O.C), Zero Gel Time,

1 مقدمة.

تعتبر عملية تغليف آبار النفط والغاز (إنزال مواسير معدنية ضمن حفرة البئر)، وسمننة هذه المواسير الخطوة الختامية لكل مرحلة من مراحل حفر البئر. تؤمن عملية التغليف والسمننة عزل الطبقات الصخرية والبئر عن بعضها البعض، وبالتالي حماية سائل الحفر من التأثير بالطبقات ومحتوياتها، كما تحمي الطبقات من تأثير سائل الحفر، وتمنع الحركة غير الموجهة للسوائل الطبقيّة، وتحمي مواسير التغليف من التأثير التآكلي لسائل الحفر.

بالرغم من التنوع الكبير لإسمنت آبار النفط والغاز، والإضافات الكيميائية المستخدمة للحصول على المواصفات المطلوبة للسائل والحجر الإسمنتي، فإن معظم الآبار وخاصة الغازية منها تعاني من فشل عمليات السمننة بأداء مهمها، حيث يظهر ذلك جلياً من خلال تسرب الموائع الطبقيّة، والذي يظهر على شكل ارتفاع ضغط الفراغ الحلفي.

تتعدد أسباب الفشل بسبب تعدد العوامل التي تؤثر على عملية السمننة، والعلاقة المعقدة بين هذه العوامل، وامتدادها الزمني بدءاً من عملية حفر الطبقة، مروراً بعمليات الإنهاء والإنتاج، والتي تستمر لعشرات السنوات، وما يجري خلالها من عمليات إصلاح. تشير الأبحاث [1,15] إلى حصول تسرب للموائع الطبقيّة في المراحل المتأخرة من حياة البئر (بعد أشهر، أو سنوات)، وهذا يعود إلى تشقق الحجر الإسمنتي نتيجة عمليات الإنتاج والإصلاح التي تجرى على البئر، حيث يتعرض الحجر الإسمنتي لإجهادات غير متوقعة.

يعتبر تحسين مواصفة المرونة للحجر الإسمنتي الناتج من العوامل الهامة التي تقلل من إمكانية تشققه نتيجة تغير الظروف الفيزيائية خلال حياة البئر.

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تحسين مرونة الحجر الإسمنتي (زيادة مرونته) من خلال استخدام بعض الإضافات المرنة للسائل الإسمنتي، والتي تتوضع أو تتفاعل مع حبيبات الإسمنت خلال التصلب. وتعمل على تحسين مرونة الحجر الإسمنتي، بحيث يتحمل قدر أكبر من التغيرات الفيزيائية (ضغط، حرارة)، والميكانيكية (اصطدام مواسير الحفر خلال عمليات الإصلاح) التي يتعرض خلالها فترة استثمار البئر.

2 . تحليل أسباب فشل عمليات السمنتة.

تعاني عملية السمنتة بشكل عام من نسبة فشل عالية رغم التطور الكبير الذي تحقق بإنتاج أصناف عديدة من الإسمنت والإضافات لتناسب الظروف والمتطلبات المتنوعة للآبار [1].

يظهر فشل عمليات السمنتة بشكل واضح في الآبار الغازية خاصة، وذلك على شكل تسرب للغاز (Gas migration) عبر الفراغ الحلقي المسمنت، ووصوله إلى فوهة البئر مسجلاً ارتفاعاً في الضغط خارج مواسير التغليف [1,2] (يجدر بالذكر أن عدم وصول الغاز إلى السطح لا يعني عدم التسرب فعند مصادفة الغاز المتسرب لطبقة ذات ضغط منخفض فإنه يدخل إليها وقد لا يصل إلى السطح، وبالتالي لا يُكتشف).

تعتبر مشاكل فشل الإسمنت بأداء مهامه من المشاكل الشائعة في كافة حقول العالم النفطية، حيث تعاني نسبة لا تقل عن 25 % من الآبار من ارتفاع ضغط الفراغ الحلقي نتيجة تسرب الغاز الذي يتراوح بين عدة أمتار وحتى آلاف الأمتار المكعبة في اليوم [9,12]، وهذا يشير بشكل قاطع إلى فشل الحجر الإسمنتي بأداء أهم وظائفه، وهي اغلاق الطبقة المسمنتة، ومنع الحركة غير الموجهة لمحتوياتها.

يشير تسرب الغاز عبر الفراغ الحلقي إلى فشل الإسمنت بأداء المهام المطلوبة منه، حيث لوحظ أن أسباب هذه الظاهرة تصف لـصنفين : أسباب أساسية (مباشرة)، وأسباب ثانوية (غير مباشرة).

- أسباب أساسية: يحصل التسرب أثناء عملية السمنتة أو خلال الساعات الأولى بعد (3-8) ساعة من توضع السائل الإسمنتي، وعادة ما يكون التسرب الناتج عن هذه الأسباب أكثر شدة من الحالة الثانية. يعتبر المسؤول عن 70 % من حالات التسرب الحاصلة في آبار الغاز. يذكر من هذه الأسباب [6,10]:

A. الإزالة غير الجيدة لكل من سائل وكعكة الحفر تسمح ببقاء جزء من الكعكة ملتصقاً مع جدران البئر، وبالتالي تمنع الالتصاق الجيد بين مواسير التغليف وجدران البئر الصخرية، وتشكل طبقة هشة تسهل عبور الغازات الطبقية عبرها [10].

- B. الفصل المائي العالي للسائل الإسمنتي، فعند توقف السائل الإسمنتي عن الحركة في الفراغ الحلقي تترسب حبيبات الإسمنت نحو الأسفل، وتصدد جزيئات الماء نحو الأعلى مشكلة أحزمة مائية خالية من جزيئات الإسمنت، ومخلقة بعد تصلب الإسمنت قنوات فارغة تؤمن ممرات لهروب الغاز [6,10].
- C. تؤدي عمليات انكماش الحجر الإسمنتي أثناء التصلب إلى نشوء إجهادات تعمل على فصل الحلقة الإسمنتية عن مواسير التغليف وجدران البئر، وإحداث شقوق ميكروية بين الحلقة الإسمنتية وكل من مواسير التغليف وجدران البئر، وحتى ضمن الحجر الإسمنتي نفسه، وهذا يرفع من مسامية ونفوذية هذا الحجر. يمكن أن يؤدي هذا الانكماش إلى فك الارتباط بين الحجر الإسمنتي وجدران البئر أو بين الحجر الإسمنتي ومواسير التغليف، أو بين الحجر الإسمنتي وكليهما، وبالتالي فتح الطريق أمام الغازات الطبقيّة للحركة غير الموجهة [6,7].
- D. يساهم فاقد الرشح العالي للسائل الإسمنتي بفقد الماء اللازم للتصلب، وبالتالي يتشكل حجراً إسمنتياً بنفوذية عالية، كما يسهم بإنقاص حجم السائل الإسمنتي، ويسرع من انخفاض الضغط المسامي، وبالتالي زيادة هروب الغاز [10].
- E. يعتبر هبوط الضغط المسامي للسائل الإسمنتي في مرحلة التصلب من الأسباب الرئيسية لتسرب الغاز. يشكل السائل الإسمنتي على الطبقة المنتجة ضغطاً هيدروستاتيكياً أكبر من الضغط الطبقي مع استمرار عمليات تصلب السائل الإسمنتي، يتحول طور السائل إلى جل، حيث يرتكز الجل على جدران البئر مشكلاً جسوراً بينها وبين مواسير التغليف، وبالتالي يحمل نفسه في حين تتوزع جزيئات الماء داخل الجل، نتيجة لذلك يتحول الضغط الهيدروستاتيكي من ضغط عمود السائل الإسمنتي إلى ضغط عمود من الماء أو أقل من ذلك مع استمرار عمليات تصلب السائل الإسمنتي واستهلاك الماء. عند وصول الضغط في الفراغ الحلقي إلى قيم أقل من الضغط الطبقي تبدأ الموائع الطبقيّة بالتحرك من الطبقة إلى الفراغ الحلقي حيث الإسمنت لا يزال بمرحلة الجل. يستمر دخول الموائع الطبقيّة إلى الفراغ الحلقي طالما أن ضغط هذه الموائع قادر على تخريب تركيب الجل وفتح الطريق أمامها، ويتوقف

عند نمو قوة الجل إلى مرحلة تقاوم ضغط الموائع المتسربة من الطبقة (انتهاء التصلب) [2] .

- أسباب ثانوية: تؤدي إلى حصول تسرب متأخر للغاز (بعد أسابيع، أو أشهر، أو سنوات، وأحياناً عقود)، وهي تتعلق بالتغيرات الميكانيكية والحرارية التي يتعرض لها الحجر الإسمنتي خلال عمليات الإنهاء والإنتاج والصيانة والتحسين التي تجرى على البئر [16,8]. يذكر من هذه العوامل:

A. اصطدام مواسير الحفر مع جدران البئر خلال عمليات إكمال الآبار، حيث يؤدي ذلك إلى تشقق الحجر الإسمنتي وانفصاله عن مواسير التغليف [8] .

B. تُختبر عازلية مواسير التغليف والحجر الإسمنتي من خلال رفع الضغط داخل البئر لزمان محدد. يسبب رفع الضغط تمديداً في مواسير التغليف والحجر الإسمنتي، وبما أن كل منهما يملك معامل تمدد مختلف فإن ذلك يعمل على انفصال الحلقة الإسمنتية عن مواسير التغليف، وربما تشقق الحجر الإسمنتي.

C. تتضمن عمليات وضع البئر بالإنتاج عملية التنقيب التي تُعرض الحلقة الإسمنتية لإجهاد كبير. يزداد تأثير هذا الإجهاد مع زيادة قساوة الحجر الإسمنتي [7].

D. يؤدي استمرار الإنتاج وانخفاض الضغط في قاع البئر إلى تقلص الحلقة الإسمنتية ومواسير التغليف الإنتاجية بنسب مختلفة، وبالتالي يعمل ذلك على فك الارتباط بينهما.

E. عمليات التحسين المختلفة (تحميض، تشقيق، تسخين... الخ) تُحدث أيضاً إجهادات جديدة، ومتغيرة تسيء للحجر الإسمنتي، وعلاقته بالوسط المحيط [8] .

استناداً على الدراسة المرجعية لأسباب فشل العمليات الإسمنتية، خاصة في المراحل المتأخرة من حياة البئر تعود إلى تشقق الحجر الإسمنتي خلال حياة البئر نتيجة تعرضه لإجهادات لم تكن موجودة قبل عملية الاستثمار.

بحسب [4,13] فإن إضافة ألياف السيليلوز إلى السائل الإسمنتي تحسن من مقاومة الحجر الإسمنتي وقدرته على تحمل الإجهادات التي يتعرض لها أثناء عمليات الإنهاء والاستثمار اللاحقة.

تنصح دراسات أخرى [3,5] بإضافة مركبات ذات مرونة عالية (مركبات مطاطية، الياف، مطاط مطحون بنعومة عالية) إلى السائل الإسمنتي بهدف الحصول على حجر إسمنتي أقل قساوة (أكثر مرونة)، وبالتالي تخفيض معدل واحتمال تشققه.

3 . المواصفات الميكانيكية للحجر الإسمنتي.

3.1 العلاقة بين الإجهاد والتشوه.

يعبر عن العلاقة بين الإجهاد المؤثر على الحجر الإسمنتي والتشوه الناتج رياضياً حسب قانون هوك المعمم العلاقة (1) .

$$\sigma_{ij} = \beta_{ij} + C_{ijkl} * \epsilon_{kl} \dots \dots \dots (1)$$

حيث: β_{ij} : تنسور الإجهاد الأولي المتناسب مع التشوه الأولي (في الحالة الحرة للمادة يكون مساوياً للصفر).

σ_{ij} : تنسور الإجهاد المطبق على العينة.

C_{ijkl} : تنسور الثوابت الميكانيكية للمادة المدروسة.

ϵ_{kl} : تنسور تشوه المادة.

في الحالة الحرة للمادة يصبح قانون هوك على الشكل التالي علاقة (2):

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} * \epsilon_{kl} \dots \dots \dots (2)$$

من الملاحظ أن تنسور الثوابت من الدرجة الرابعة ويحوي $3^4=81$ مركبة ثابتة، وبما أن تنسوري الإجهاد والتشوه متناظران، فسيكون تنسور الثوابت أيضاً متناظراً، حيث يتناقص عدد المركبات المجهولة في تنسور الثوابت حتى 36 ثابت، ويكون على الشكل التالي علاقة (3):

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \tau_{12} \\ \tau_{23} \\ \tau_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{15} & C_{25} & C_{35} & C_{45} & C_{55} & C_{56} \\ C_{16} & C_{26} & C_{36} & C_{46} & C_{56} & C_{66} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{12} \\ \epsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{13} \end{bmatrix} \dots (3)$$

نظراً لتناظر المصفوفة فلدينا 21 عنصراً يجب تحديدها.

3.2 تصنيف الصخور ميكانيكياً.

تتميز بنية الصخور التركيبية بمواصفات تناظرية تمكن من تخفيض عدد مجاهيل تنسور ثوابت المادة، وتسهيل تحديد قيمها.

3.2.1 مادة غير متجانسة (أورتوتروب).

تتميز هذه المادة بوجود ثلاث مستويات تناظر متعامدة حيث تكون خواص المادة متساوية بالنسبة لكل مستو على حدى.

يحتوي تنسور الثوابت لهذه المادة على تسعة ثوابت مستقلة ومجهولة يجب تحديدها، وتكون المصفوفة على الشكل التالي... مصفوفة (1):

$$\begin{bmatrix} C11 & C12 & C13 & 0 & 0 & 0 \\ C12 & C22 & C23 & 0 & 0 & 0 \\ C13 & C23 & C33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C44 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C55 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C66 \end{bmatrix} \dots (1)$$

3.2.2 مادة متجانسة تناظرياً.

يحتوي هذه المادة تناظراً حول محور واحد فقط، وبالتالي إجراء أي دوران حول هذا المحور لا يغير بمصفوفة الثوابت، والتي تكون على الشكل التالي... مصفوفة (2).

$$\begin{bmatrix} C11 & C12 & C13 & 0 & 0 & 0 \\ C12 & C22 & C23 & 0 & 0 & 0 \\ C12 & C23 & C22 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{C22 - C23}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C55 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C66 \end{bmatrix} \dots (2)$$

يلاحظ أن المصفوفة تحوي خمسة ثوابت مستقلة فقط يجب تحديدها.

3.2.3 مادة متجانسة.

تتميز هذه المادة بعدم تغير مصفوفة ثوابتها مع أي دوران حول محاورها وبأي اتجاه، وذلك نتيجة تجانس تركيب هذه المادة. تكتب مصفوفة الثوابت على الشكل التالي... مصفوفة (3).

$$\begin{bmatrix} C11 & C12 & C12 & 0 & 0 & 0 \\ C12 & C11 & C12 & 0 & 0 & 0 \\ C12 & C12 & C11 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C11 - C12) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C11 - C12) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(C11 - C12) \end{bmatrix} \dots (3)$$

لتحديد مصفوفة الثوابت لمادة متجانسة يجب تحديد الثابتين $C11, C12$. يصنف الصخر الإسمنتي ضمن الصخور المتجانسة، وبالتالي لتحديد المواصفات الميكانيكية للصخر نحتاج لتحديد معاملي مرونة فقط هما معامل يونغ E ، ومعامل بواسون γ ، واللذان يحددان على الشكل التالي:

$$\gamma = \frac{\Delta \varepsilon_3}{\Delta \varepsilon_1} \quad , \quad E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon_1}$$

$\Delta \varepsilon_3$: التشوه الكلي (مجموع التشوهات على المحاور الثلاثة)
 $\Delta \varepsilon_1$: التشوه على محور واحد.
 $\Delta \sigma$: الإجهاد المقابل للتشوه.

3.3 تصنيف الصخور مخبرياً.**3.3.1 تجربة الضغط الهيدروستاتيكي.**

تستخدم هذه التجربة لتصنيف الصخر ميكانيكياً، وتسمح بتحديد معامل انضغاطية الصخر. يتم إجراء هذه التجربة من خلال تطبيق ضغط هيدروستاتيكي بواسطة زيت يحيط بالعينة من كل الجهات، ويفصله عنها غشاء رقيق مرن.

تقاس التشوهات وفقاً للمحاور الثلاثة (X,Y,Z)، ومن ثم تجمع للحصول على التشوه الحجمي والتشوه الحجمي النسبي (يمكن الحصول على معامل الانضغاطية من خلال العلاقة بين التشوه الحجمي والضغط الهيدروستاتيكي).

يحدد من خلال هذه التجربة نوعية الصخر، وذلك بتمثيل التشوهات المقاسة على كل محور بشكل منفصل بالعلاقة مع الضغط الهيدروستاتيكي، وتحديد نوعية الصخر على الشكل التالي:

- عند تساوي قيم التشوهات المقاسة على جميع المحاور يكون الصخر متجانس (الصخر الرملي، الحجر الإسمنتي).
- عند تساوي قيم التشوهات المقاسة على محورين، واختلافها مع المحور الثالث يكون الصخر متجانساً تناظرياً (الغضار).
- عند اختلاف قيم التشوهات المقاسة على جميع المحاور يكون الصخر غير متجانس. من خلال هذا التصنيف يمكن معرفة عدد البارامترات الميكانيكية المطلوبة من أجل دراسة الصخر، وبالتالي تحديد التجارب الواجب استخدامها لتحديد هذه البارامترات.

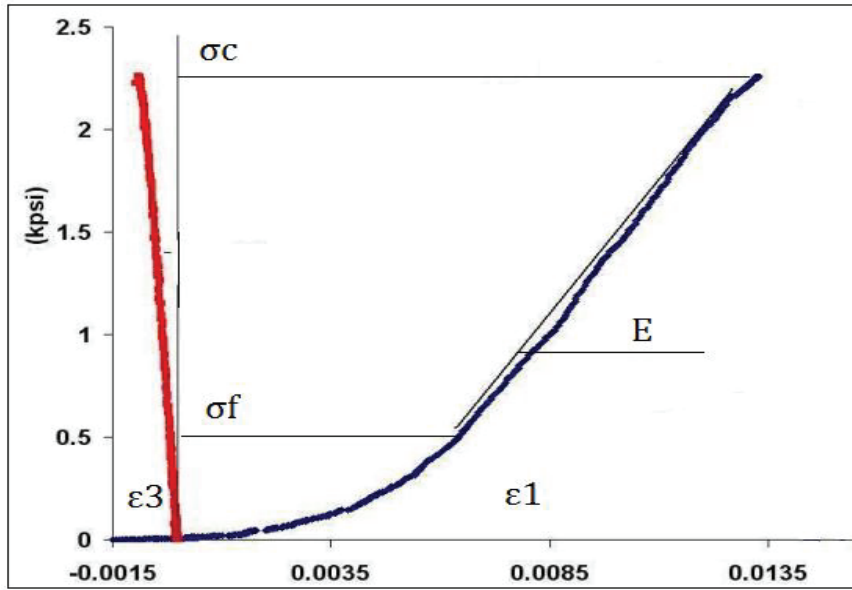
3.3.2 تجربة الضغط أحادي المحور.

تستخدم هذه التجربة لقياس معاملات المرونة للصخر المتجانس [14]، حيث تجرى التجربة على عينات اسطوانية بمعامل تناسب (L/D = 2). يكون الضغط المؤثر ناظماً وفق محور العينة، وبالتالي تتعرض العينة لإجهاد ناظمي من الأعلى، حيث تكون الإجهادات المماسية معدومة، والإجهادات الناظمية على المحاور الأخرى أيضاً معدومة. تعبر المصفوفة (4) عن تنسور الحالة الإجهادية، في حين تعبر المصفوفة (5) عن تنسور التشوه.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

$$\varepsilon_{kl} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

يتم قياس التشوه الطولي النسبي $\frac{\Delta L}{L}$ ، والتشوه العرضي النسبي $\frac{\Delta D}{D}$ الناتجين عن القوة المطبقة. يُستمر بزيادة القوة المطبقة حتى انهيار العينة عند الإجهاد σ_c الذي يدعى الإجهاد الحدي لإنهيار العينة تحت الضغط. ترسم العلاقة بين الإجهاد المطبق وكل من التشوه الطولي والعرضي، حيث يتم الحصول على المنحني شكل (1) [14].



شكل 1: العلاقة بين الضغط احادي المحور ومعامل المرونة

يتم الحصول من هذا المنحني على القيم التالية:

σ_f : الإجهاد الحدي اللازم لإغلاق الشقوق الأساسية الموجودة في البنية التركيبية للصخر.

σ_c : الإجهاد الحدي لإنهيار العينة تحت الضغط، ويمثل أعظم قيمة من الإجهاد يمكن أن يتحملها الصخر قبل أن ينهار.

يحدد من خلال هذا المنحني كل من معامل يونغ الذي يمثل معامل المرونة الأول والأهم للصخر، والذي يمثل ميل الجزء الخطي من منحني العلاقة بين الإجهاد والتشوه

الطولي (بعد إغلاق الشقوق)، ومعامل بواسون الذي يربط بين التشوهات الطولية والعرضية.

3.3.3 تجربة الضغط ثلاثي المحاور.

هي تجربة تستخدم لتحديد قانون سلوكية الصخر وفقاً لحالات إجهاديه متعددة. تجرى التجربة على عينات اسطوانية بنسبة أبعاد طول إلى عرض ($L/D=2$). يطبق في البداية ضغط هيدروستاتيكي على العينة من كل الجهات (يدعى ضغط الحصر σ_2)، ثم يتم تطبيق إجهاد عمودي عن طريق مكبس معدني وفق المحور المنتاسب مع محور العينة فيكون الإجهاد ($\sigma_1 - \sigma_2$)، يستمر بزيادة قيمة هذا الإجهاد حتى انهيار العينة. يتم تغيير قيمة إجهاد الحصر وتكرار التجربة، وبالتالي تحديد سلوك الصخر وفقاً لحالات إجهادية متعددة.

4 الدراسة المخبرية.

4.1 المواد المستخدمة في التجارب.

◀ إسمنت آبار صنف G.

استخدم في إنجاز التجارب إسمنت آبار صنف G إنتاج شركة الرستن لصناعة الإسمنت ومواد البناء يتمتع بسطح نوعي $3450 \text{ cm}^2/\text{gr}$ حسب بلاين (جدول 1). يستخدم كإسمنت أساس بدون إضافات حتى عمق 1440 m. ودرجات حرارة حتى 95°C كما يمكن أن يستخدم عند أعماق ودرجات حرارة مختلفة عند استخدام إضافات مناسبة.

جدول 1: التركيب الكيميائي لإسمنت الآبار الصنف G (إنتاج شركة لرستن)									
المكون	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	الفاقد بالحرق	مواد غير منحلة	مجموع
النسبة %	21.2	4.28	5.64	64.2	1.51	1.99	1.02	0.007	99.92

◀ مطاط سائل.

أجريت تجارب على مطاط ستيرين بوتادين سائل مستخدم في الصناعات البلاستيكية.

◀ الغضار السوري.

يضاف الغضار بهدف تخفيف الوزن النوعي للسائل الإسمنتي، وتخفيض السائل الحر له، كما يحسن الترتيب الهيكلي للسائل الإسمنتي مما يقلل من تغلغل الموائع الطبقيّة داخل السائل الإسمنتي في المرحلة الانتقالية. استخدم في البحث غضار سوري إنتاج معمل بيلون حلب (تركيب فلزي غير معروف).

4.2 التجارب المخبرية.

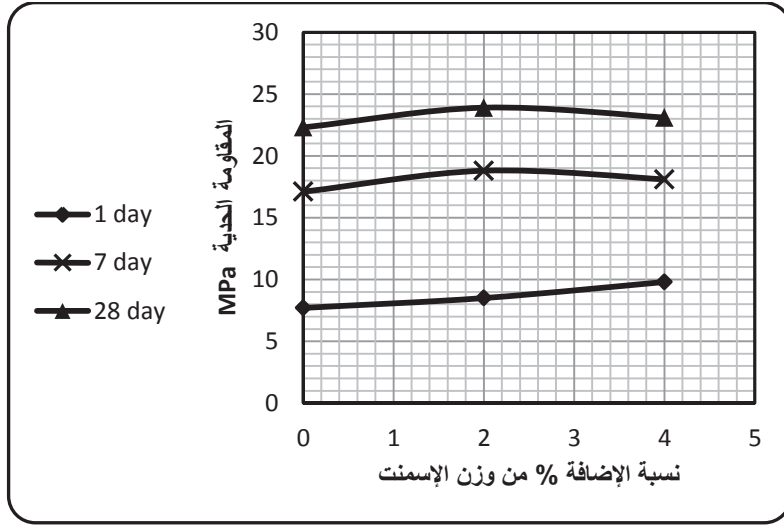
تم اختيار نسبة إضافة الغضار 5% ، عند هذه النسبة تتحسن بعض خواص السائل والحجر الإسمنتي دون الإساءة لمقاومة الضغط للحجر الإسمنتي [11].

أضيف المطاط السائل تم إضافته بنسب متدرجة % (1,2,..) من وزن المسحوق الإسمنت إلى ماء الخلط، ومن ثم أضيف مسحوق الإسمنت خلال عملية الخلط، حيث لوحظ بداية تكتل المطاط السائل عند النسب % (5-6) من وزن الإسمنت المسحوق.

بناءً على ذلك تم إضافة المطاط السائل بالنسب % (2,4) من وزن الإسمنت كإضافة مشتركة مع الغضار، كما تم مقارنة هذه الإضافة مع عينة مقارنة من الإسمنت النقي (بدون أية إضافة).

دُرِس مبدئياً تأثير هذه الإضافات على المقاومة الحدية لانتهيار الحجر الإسمنتي تحت الضغط (درست هذه الخاصية على عينات مكعبة قياس $5 \times 5 \times 5$ Cm).

يظهر الشكل (2): تأثير إضافة مزيج من المطاط السائل والغضار على المقاومة الحدية لانتهيار الحجر الإسمنتي تحت الضغط (أضيف الغضار بنسبة ثابتة 5%)، ومقارنته مع الإسمنت النقي (النسبة 0%).



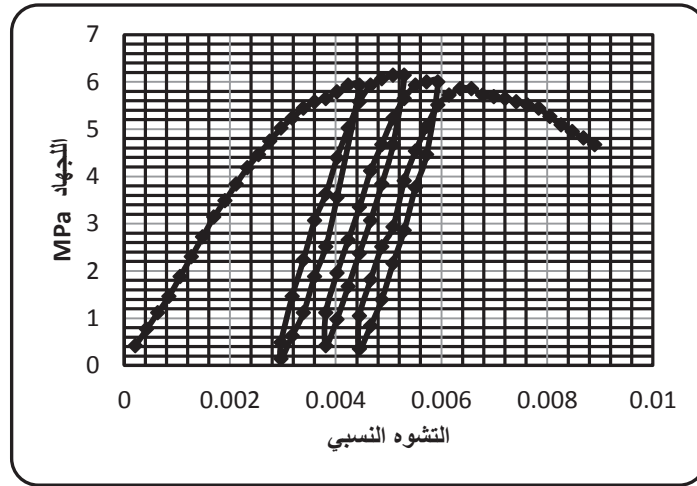
شكل(2): تأثير إضافة مزيج من المطاط والغضار على المقاومة الحدية لانهيار الحجر الإسمنتي

يلاحظ من الشكل السابق أن النسب المضافة تؤثر إيجاباً على المقاومة الحدية البدائية (بعد 24 ساعة)، والنهائية (بعد 28 يوم) لانهيار الحجر الإسمنتي، حيث يلاحظ تحسن المقاومة الحدية النهائية بنسبة تصل إلى (7.1%) عند نسبة إضافة من المطاط السائل 2%، وبنسبة (3.5%) عند نسبة إضافة من المطاط السائل 4%. تمت دراسة المواصفات الميكانيكية للحجر الإسمنتي من خلال إجراء تجربة الضغط احادي المحور، وقياس التشوه الطولي، وبالتالي تحديد معامل يونغ للمرونة (يعتبر الحجر الإسمنتي من الصخور المتجانسة) [14]، ومقارنة ذلك مع عينة بدون إضافة بهدف تحديد تأثير الإضافة على مرونة الحجر الإسمنتي. أُجريت في هذه الدراسة تجربة الضغط احادي المحور على عينات اسطوانية بمعامل تناسب (L/D = 2)، وتم قياس التشوه الطولي وفق محور تطبيق القوة، ومن ثم رسم العلاقة بين الإجهاد المطبق والتشوه النسبي، وتحديد معامل يونغ للمتانة (E) من خلال ميل الجزء المستقيم من المنحني.

يمثل الشكل (3) تجربة التحميل أحادي المحور على عينة من الحجر الإسمنتي تم إجرائها بهدف تحديد سلوكيته، وتغير معامل يونغ نتيجة تكرار التحميل لعدة مرات.

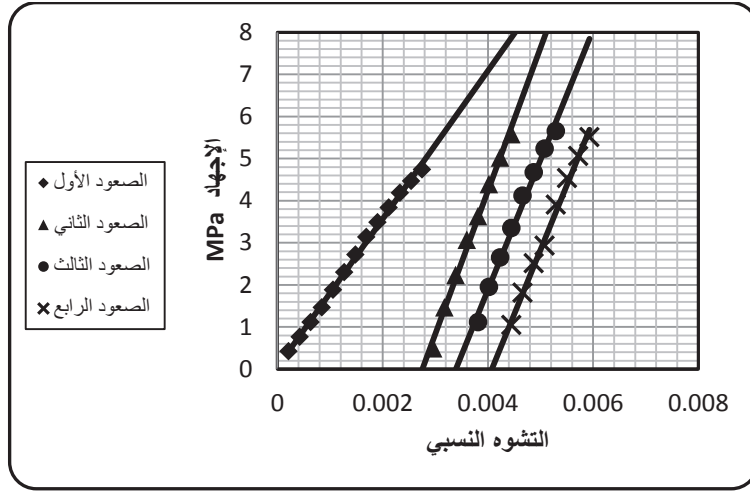
اجريت هذه التجربة من خلال تطبيق الإجهاد على العينة وزيادة التحميل مع قياس التشوه الطولي.

يتم التحميل حتى الوصول إلى قيم قريبة من القيم الحدية لانتهيار الحجر الإسمنتي، يُخفف بعد ذلك الإجهاد بشكل تدريجي مع القياس المستمر للتشوه، يُستمر بإزالة الحمل عن العينة حتى الصفر، يُعاد التحميل ثانية مع المحافظة على قياس التشوهات. تكرر العملية بالعدد المطلوب للدراسة، مع مراعات عدم وصول الإجهاد إلى حد انهيار العينة حتى التحميل الأخير.



شكل: (3) تجربة التحميل المتكرر أحادي المحور

يمثل الشكل (4) الجزء المستقيم من مرحلة كل صعود. رُسم بهدف الحصول على معامل يونغ لنفس الحجر عند تكرار التحميل (جدول:1).



شكل: (4) مراحل التحميل المتكررة على الحجر الإسمنتي

جدول 1: قيم معامل يونغ عند كل تحميل على العينة				
رقم الصعود	الصعود الأول	الصعود الثاني	الصعود الثالث	الصعود الرابع
قيمة معامل يونغ	1760	3397	3087	3062

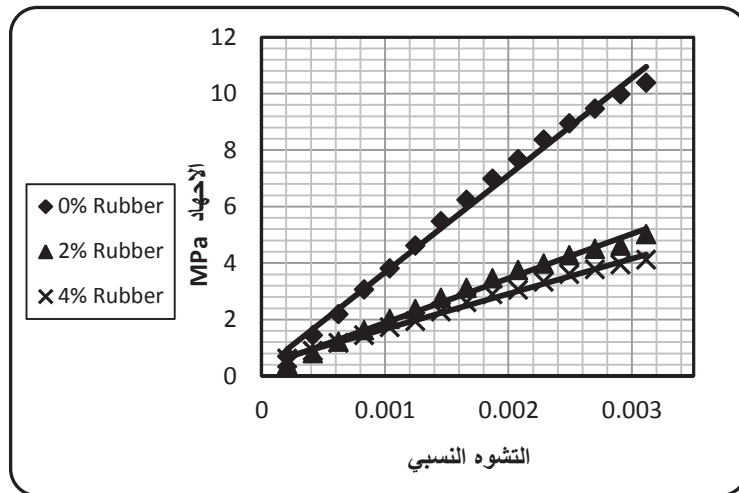
يلاحظ من خلال الشكلين (3,4)، والجدول (1) ما يلي:

- يمثل الصعود الأول الحالة الأولية لتشوه الحجر الإسمنتي بتأثير الجهد المطبق، حيث يلاحظ أن التشوهات ذات قيم أكبر عنه لحالات التحميل الأخرى على الحجر الإسمنتي.
- الصعود الثاني حتى الرابع تظهر قيم متقاربة لمعامل يونغ (ميل متقارب للمنحنيات)، ولكنها جميعاً أكبر من قيمة معامل يونغ عند الصعود الأول.
- يلاحظ من خلال الجدول (1) معامل يونغ منخفض عند التحميل الأول مقارنة مع مراحل التحميل اللاحقة. يشير ذلك إلى زيادة صلابة الحجر الإسمنتي بعد التعرض للإجهاد مع عدم الانهيار.
- يعزل ارتفاع معامل يونغ بعد الصعود الأول (تتاقص مرونة الحجر الإسمنتي) نتيجة انضغاط الحجر الإسمنتي بعد التحميل الأول، الأمر الذي أدى إلى إغلاق الشقوق الموجودة في الحجر الإسمنتي، وتقارب حبيبات الإسمنت من بعضها البعض، وبالتالي أصبحت ذات مواصفات مرونة أقل جودة (قساوة عالية للحجر).

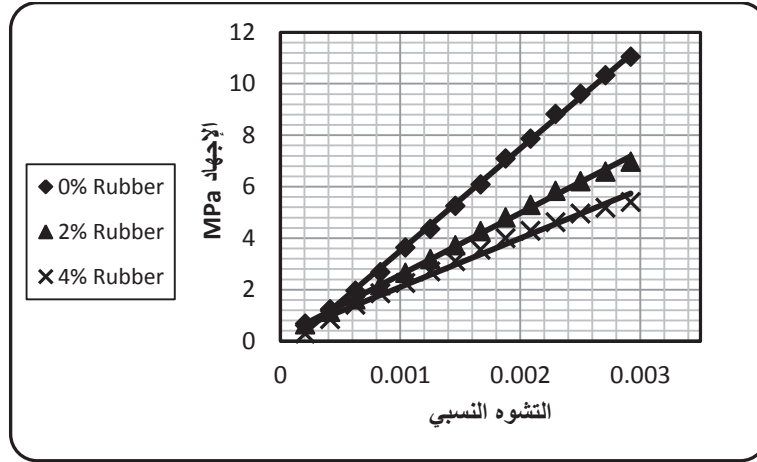
أُعدت في التجارب اللاحقة تحميل العينة بنسبة 10% من قيمة الضغط الحدي لانتهيارها (يتم تحطيم عينة تجريبية لتحديد ذلك) بهدف إغلاق الشقوق الموجودة في الحجر الإسمنتي، وإلغاء التشويش الذي قد يتسبب به وجود مثل هذه الفراغات. يتم بعد ذلك إجراء تجربة الضغط احادي المحور، وتسجيل النتائج.

أضيف كل من الغضار والمطاط السائل إلى السائل الإسمنتي (حسب النسب المذكورة سابقاً)، ودرس تأثير ذلك على مواصفة المرونة للحجر الناتج من خلال تحديد معامل يونغ عند أزمنة مختلفة من التصلب، ومقارنته مع عينة من الإسمنت النقي (بدون أية إضافة).

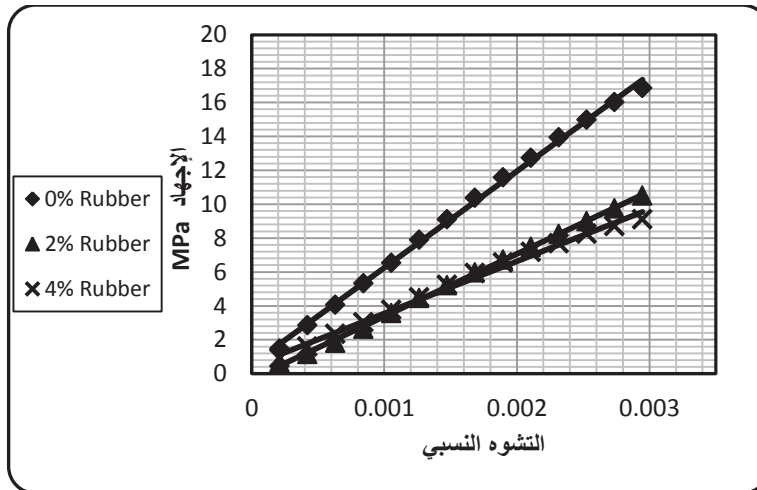
تظهر الأشكال (5,6,7) العلاقة بين الإجهاد والتشوه الناتج بعد (1,7,28) يوم من تصلب السائل الإسمنتي، لعينة الإسمنت النقي، والإسمنت مع الإضافات المقررة.



شكل 5: العلاقة بين التشوه الطولي والإجهاد المطبق بعد 1 يوم من التصلب



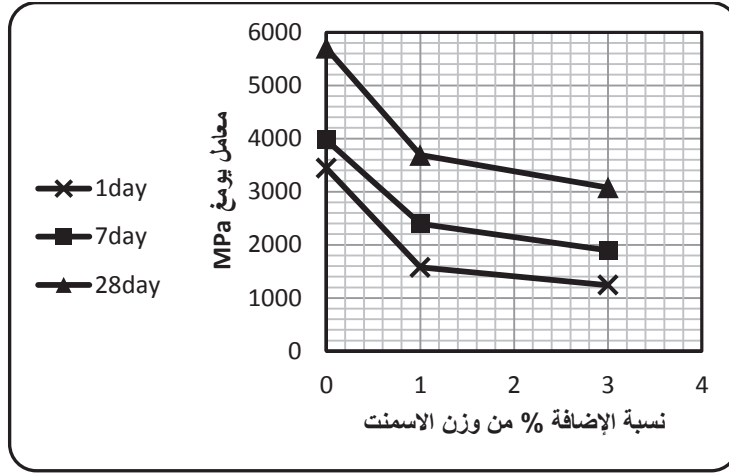
شكل6: العلاقة بين التشوه الطولي والإجهاد المطبق بعد 7 يوم من التصلب



شكل7: العلاقة بين التشوه الطولي والإجهاد المطبق بعد 28 يوم من التصلب

يلاحظ من خلال الأشكال السابقة (5,6,7) تناقص معامل يونغ (زيادة المرونة) نتيجة إضافة الغضار 5% مع المطاط السائل بنسبة (2,4) من وزن مسحوق الإسمنت مقارنة مع عينة الإسمنت النقي.

الشكل (8) يظهر العلاقة بين معامل يونغ ونسبة الإضافة من المطاط السائل (مع إضافة ثابتة من الغضار)، ومقارنتها مع عينة من الإسمنت النقي (نسبة الإضافة 0%)، وذلك عند أزمنة مختلفة.



شكل 8 : العلاقة بين معامل يونغ للحجر الإسمنتي وزمن التصلب

يلاحظ من خلال الشكل (8) تناقص معامل يونغ مع زيادة نسب مواد الإضافة، كما تزداد حدة التناقص مع استمرار عمليات تصلب الإسمنت. يشير تناقص معامل يونغ إلى زيادة مرونة الحجر الإسمنتي، حيث يتمكن الحجر الناتج من استيعاب قيم أكبر من التشوه قبل الوصول إلى حد الانهيار، الأمر الذي يمكنه من تحمل أكبر للتغيرات الفيزيائية والميكانيكية التي يتعرض لها.

النتائج والمقترحات.

بناءً على ما تقدم يمكن تلخيص نتائج البحث بما يلي:

- يتعرض الحجر الإسمنتي بعد التصلب لإجهادات متنوعة نتيجة عمليات الحفر والانتهاء والإصلاح والإنتاج، حيث تعمل هذه الإجهادات على نشوء تشوهات ضمن الحجر الإسمنتي، والتي بدورها تعمل على تحطيم هذا الحجر عند وصولها إلى قيم محددة.
- ضعف إمكانية الحجر الإسمنتي باستيعاب التشوهات يؤدي إلى نمو سريع للإجهاد وبالتالي الوصول عند تشوه (تمدد، تقلص) محدود إلى قيم جهد انهيار الحجر الإسمنتي، في حين تمكن الحجر من استيعاب قيم أكبر من التشوه يؤخر الوصول إلى حد الانهيار.
- رفع مرونة الحجر الإسمنتي (تناقص معامل يونغ) يجعله يتمكن من تحمل مقدار أكبر من التشوهات قبل الوصول إلى حد الانهيار.
- ترفع إضافة الغضار والمطاط السائل من مرونة الحجر الإسمنتي (تناقص معامل يونغ)، وبالتالي يتحمل الحجر الإسمنتي قيم أكبر من التشوه في المرحلة المرنة من التشوه.
- زيادة نسبة المطاط السائل ترفع من مرونة الحجر الإسمنتي، إلا أن زيادة نسبة الإضافة تؤدي إلى تكثف المطاط خلال عمليات الخلط، مما يؤثر سلباً على مقاومة الحجر الإسمنتي الناتج.
- يظهر تحسن المواصفات الميكانيكية للحجر الإسمنتي نتيجة الإضافة بشكل أكثر وضوحاً مع الزمن، وهذا يعود لزيادة صلابة الحجر الإسمنتي النقي (بدون إضافة)، وبالتالي ظهور تأثير الإضافات المرنة بشكل أكثر وضوحاً.

من خلال هذا البحث يمكن اقتراح إضافة الغضار مع المطاط السائل بالنسب المستخدمة للحصول على حجر إسمنتي يتمتع بمرونة أفضل من الحجر النقي، وبالتالي يتمكن من استيعاب التشوهات الناتجة عن الإجهادات التي يتعرض لها بشكل أكبر. يفتح هذا البحث افق واسع للبحث من خلال استخدام نسب أعلى من المطاط السائل، والغضار (مع مراعاة عدم التكتل السريع للمطاط السائل)، كما يفتح المجال للبحث عن إضافات مرنة أخرى بشرط المحافظة على الخواص المطلوبة للسائل والحجر الإسمنتي.

References

- 1- AKhodadadi, 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- B.James, R.Laila, A. Rouhollah, M.Lyndon, "Dimensional change and elastic behavior of layered silicates and Portland cement paste", Cement & Concrete Composites 32 (2010), pp25–33 .
- 4- C.Robert , "A review of Australian research into natural fibre cement composites", Cement & Concrete Composites 27 (2005) , pp 518–526.
- 5- D.Dale, W.Greg, E.Husky, N.Ken,"Field Study on the Use of Cement Pulsation to Control Gas Migration",paper SPE 75689, 2002 .
- 6- D.Walton el al, April 2003– drilling fluid and cementing improvements reduced per-ft drilling cost by 10 %. World oil pg.39–47 .
- 7-Gene Culver,2002– Drilling and well construction .Geo-Heat Center, Klamath Falls, OR 97601,Chapter 6.
- 8- JCPT. K.R.Backe, O.B.Lile,S.K.Lyomov,H.Justnes, J.Sveen," shrinkage of oil well cement Slurries "1998.PP 63–67.
- 9- Kevin Soter B.S, December 2003 –Removal of sousing pressure utilizing a work over rig. University of Tulsa, PP 95 .

- 10- KUMAR.R, June11,2007- drilling specialization leakage behind casing. Thesis, work, Ntnu, Khandha .
- 11-pierre. m, 2003- "an improvement in placing cement slurry in wells in the presence of geological zones containing swelling clays or mud residues containing clays" us 6390197.
- 12- Process for controlling gas migration during well cementing. US Patent Issued on August 30, 2005 .
- 13- R. MacVicar , L.M. Matuana, J. Balatinecz . "Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites" Cement & Concrete Composites 21 (1999), PP 189-196 .
- 14-S. K. Pedam,"Determining Strength Parameters of Oil Well Cement", 2007, University of Texas at Austin. PP 74.
- 15-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.
- 16-Treating wells to mitigate flow-after-cementing . United States Patent 4120360 .

