دراسة تأثير الاضافة المشتركة للغضار السوري وأوكسيد المغنيزيوم على مرونة الحجر الإسمنتي

د. **محمد حويري** : دكتور مهندس في جامعة البعث /كلية الهندسة الكيميائية والبترولية / قسم الهندسة البترولية

ملخص البحث

تعتبر عملية السمنتة الخطوة الختامية لعملية حفر كل مرحلة من مراحل انجاز البئر النفطية والغازية. يطلب من عملية السمنتة العديد من المهام (عزل الطبقات المخترقة، منع محتوياتها من الحركة غير الموجهة، تثبيت مواسير التغليف.....الخ).

تعاني عمليات السمنتة من نسبة عالية من الفشل تصل حتى 50% حسب بعض الدراسات [1]. يَظهر فشل عملية السمنتة من خلال ارتفاع الضغط في الفراغ الحلقي، والذي ينتج عن تسرب الموائع الطبقية نتيجة عدم إغلاق الطبقة.

تعزى اسباب فشل عملية السمنتة إلى العديد من العوامل (عدم مناسبة الخلطة الإسمنتية لظروف البئر، الازاحة السيئة لكل من سائل أو كعكة الحفر، تشقق الحجر الإسمنتي ..... الخ)

يحصل انكماش للحجر الإسمنتي نتيجة عمليات التصلب، مما يعمل على تشكل فراغات ضمن الحجر الإسمنتي المتشكل، اضافة لاحتمال انفصال الحجر الإسمنتي عن الوسط المحيط (جدران البئر، مواسير التغليف).

تضاف عادة بعض المواد التي تعوض انكماش الحجر الإسمنتي اثناء التصلب (مواد ممددة)، إلا أن هذه المواد ترفع من صلابة الحجر الإسمنتي، وبالتالي تقلل من مرونته.

يتعرض الحجر الإسمنتي لإجهادات ميكانيكية متنوعة خلال مراحل إنهاء البئر، أو الإنتاج والإصلاح، تعمل هذه العوامل على فشل الحجر الإسمنتي بأداء مهامه في حال لم يملك مرونة كافية لاستيعاب التشوهات الناتجة عن هذه الاجهادات.

تم العمل في هذا البحث على دراسة تأثير الاضافة المشتركة للغضار السوري وأوكسيد المغنيزيوم على مواصفات الحجر الإسمنتي، وبالتحديد تأثيرها على المجال المرن من تشوهات هذا الحجر.

كلمات مفتاحية

إسمنت آبار النفط، الفراغ الحلقي، ضغط الفراغ الحلقي، اضافات الإسمنت، عملية السمنتة، مقاومة الضغط، تحطم الحلقة الإسمنتية، صخر متجانس، بداية التصلب، مرونة الحجر الإسمنتي.

Research Summary

Cementing is the final step for the drilling of each stage of oil and gas wells. The cementing process requires many tasks (isolating the Penetrate Formation, preventing their contents from unguided movement, fixing the Casing string, etc.).

Cement operations suffer from a high failure rate of up to 50% according to some studies [1].

The failure of the cement process appears through high pressure in the Annular Space, which results from the leakage of the Formation Fluid due to the non-closure of the Formation.

causes of cement failure are attributed to several factors (inappropriate cement mix for well conditions, poor displacement of any Mud or Mud Cake, cracking of cement stone etc.)

Shrinking Cement stone becomes As a result of the Hydration process, these make spaces within the formed cement stone, in addition to the possibility of separation it from the surrounding medium (well walls, Casing).

Some materials are usually added to compensate for the shortage of Squeeze cement (expanded materials). However, these materials increase the hardness of the cement stone and reduce its elasticity.

Cement stone is subjected to various mechanical stresses during the well finishing Stages , or production and repair.

These factors cause to fail the Cement stone to perform its functions if it does not have sufficient flexibility to absorb the distortions resulting from these stresses.

The study of the effect of the common addition of Syrian Clay and magnesium oxides on the specifications of the resulting cement stone and specifically its effect on the elasticity of the resulting stone.

Key words

Annular flow , Casing pressure, Compressive strength, isotrope , Segregate, Strength Retrogression, Transition period, elasticity

1. مقدمة.

تعتبر عملية تغليف وسمنتة آبار النفط والغاز (إنزال مواسير معدنية ضمن حفرة البئر وسمنتة هذه المواسير)، الخطوة الختامية لكل مرحلة من مراحل حفر البئر.

تؤمن عملية التغليف والسمنتة عزل الطبقات الصخرية والبئر عن بعضها البعض، وبالتالي حماية سائل الحفر من التأثر بالطبقات ومحتوياتها، كما تحمي الطبقات من تأثير سائل الحفر، وتمنع الحركة غير الموجهة للسوائل الطبقية، 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 نسبة فشل عالية بعمليات السمنتة، حيث يظهر ذلك جلياً من خلال تسرب الموائع الطبقية، والذي يظهر على شكل ارتفاع ضغط الفراغ الحلقي.

تتعدد أسباب الفشل بسبب تعدد العوامل التي تؤثر على عملية السمنتة، والعلاقة المعقدة بين هذه العوامل، وامتدادها الزمني بدءاً من عملية حفر الطبقات الصخرية، وصولاً إلى عمليات الإنهاء والإنتاج، وما يتخلل ذلك من عمليات اصلاح، والتي قد تستمر لعشرات السنوات.

تشير الأبحاث [1,2] إلى حصول تسرب للموائع الطبقية في المراحل المبكرة (بعد عملية السمنتة مباشرة)، وذلك نتيجة انخفاض الضغط المسامي، انكماش الحجر الإسمنتي، وغير ذلك، وفي 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 متنوعة تؤدي إلى تشققه.

تستخدم العديد من الاضافات لتحقيق أهداف محددة على عملية السمنتة والحجر الناتج، حيث تستخدم أكاسيد الكالسيوم والمغنيزيوم كمواد موسعة بهدف تخفيض أو منع انكماش الحجر الإسمنتي (وأحياناً تمدد الحجر الناتج) في مرحلة التصلب، وزيادة التصاق الحجر الإسمنتي الناتج مع الوسط المحيط، كما تستخدم اضافة الغضار بهدف

تحسين الخواص الريولوجية للسائل الإسمنتي، وتخفيف وزنه النوعي، وتخفيض الكلفة الاقتصادية لواحدة الحجوم من هذا السائل.

يهدف هذا البحث **إلى دراسة تأثير اضافة الغضار السوري إلى إسمنت الآبار على مواصفة مرونة الحجر الإسمنت الناتج، وذلك بالتزامن مع اضافة أوكسيد المغنيزيوم والتي تستخدم كمادة تعمل على تمدد الحجر الإسمنتي أثناء التصلب (زيادة الحجم).**

2 . دراسة أسباب فشل عمليات السمنتة.

تعاني عملية السمنتة بشكل عام من نسبة فشل عالية رغم التطور الكبير الذي تحقق بإنتاج أصناف متعددة من الإسمنت، وإضافات أكثر تعدداً بهدف مناسبة الظروف والمتطلبات المتنوعة للآبار [1].

يحدد فشل عمليات السمنتة بشكل واضح من خلال القياسات البئرية التي تجرى لتحديد ترابط الحجر الإسمنتي مع الوسط المحيط، كما يظهر فشل عمليات السمنتة في الآبار الغازية من خلال تسرب الغاز (Gas migration) عبر الفراغ الحلقي المسمنت، ووصوله إلى فوهة البئر مسجلاً ارتفاعاً في الضغط خارج مواسير التغليف [1,2].

تعتبر مشاكل فشل الإسمنت بأداء مهامه من المشاكل الشائعة في كافة حقول العالم النفطية والغازية، حيث تعاني نسبة لا تقل عن % 25 من هذه الآبار من ارتفاع ضغط الفراغ الحلقي نتيجة تسرب الموائع الطبقية (خاصة الغاز) ،والذي يتراوح بين عدة أمتار وحتى آلاف الأمتار المكعبة في اليوم [3] الأمر الذي يشير بشكل قاطع إلى فشل الحجر الإسمنتي بأداء أهم وظائفه، وهي اغلاق الطبقات المنتجة، ومنع الحركة غير الموجهة لمحتوياتها.

تصنف اسباب فشل الإسمنت بأداء مهامه إلى 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.

تعتبر الاسباب الأساسية مسؤولة عن % 70 من حالات التسرب الحاصلة في آبار الغاز. يذكر من هذه الأسباب [4,5]:

- ✓ الإزالة غير الجيدة لسائل الحفر مما يسمح ببقاء جزءٍ منه ملتصقاً على مواسير التغليف، وبالتالي يمنع الالتصاق الجيد بين مواسير التغليف والحجر الإسمنتي من جهة، والحجر الإسمنتي وجدران البئر من جهة، مما يؤمن ممراً للموائع الطبقية .
- ✓ بقاء جزءٍ من كعكة سائل الحفر دون ازالة سوف يمنع الالتصاق الجيد بين الحجر الإسمنتي وجدران البئر الصخرية، وبالتالي بقاء طبقة هشة تسهل عبور الموائع الطبقية عبرها.
- ✓ الفصل المائي العالي للسائل الإسمنتي، إذ أنه وعند توقف السائل الإسمنتي عن الحركة في الفراغ الحلقي تترسب حبيبات الإسمنت نحو الأسفل، وتصعد جزيئات الماء نحو الأعلى مشكلة أحزمة مائية خالية من جزيئات الإسمنت، ومخلفة بعد تصلب الإسمنت قنوات فارغة تؤمن ممرات لهروب الموائع الطبقية.
- ✓ تؤدي عمليات انكماش الحجر الإسمنتي أثناء التصلب إلى نشوء إجهادات تعمل على فصل الحلقة الإسمنتية عن مواسير التغليف وجدران البئر، أو إحداث شقوق ميكروية بين الحلقة الإسمنتية وكل من مواسير التغليف وجدران البئر، وضمن الحجر الإسمنتي نفسه، مما يرفع من مسامية ونفوذية هذا الحجر، ويقلل من كتامته.
- ✓ يساهم فاقد الرشح العالي للسائل الإسمنتي بفقد الماء اللازم للتصلب، وبالتالي عدم اكتمال عمليات التصلب مما يؤدي إلى تشكل حجراً إسمنتياً ذا نفوذية عالية، كما يسهم بإنقاص حجم السائل الإسمنتي، ويسرّع من انخفاض الضغط المسامي، وبالتالي زيادة احتمال تسرب الموائع الطبقية.
- ✓ 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، ومع 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 الطبقية بالتحرك من الطبقة إلى الفراغ الحلقي حيث الإسمنت لا يزال بمرحلة الجل. يستمر دخول الموائع الطبقية 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).

- **أسباب ثانوية:** ينتج عن هذه الاسباب حصول تسرب متأخر للموائع الطبقية (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. يذكر من هذه العوامل[4,5]:

A. اصطدام مواسير الحفر مع جدران البئر خلال عمليات إكمال الآبار، حيث يؤدي ذلك إلى تشقق الحجر الإسمنتي وانفصاله عن مواسير التغليف.
B. تُختبر عازلية مواسير التغليف والحجر الإسمنتي من خلال رفع الضغط داخل البئر لزمن محدد. يسبب رفع الضغط تمدداً 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 التثقيب التي تُعرض الحلقة الإسمنتية لإجهاد كبير. يزداد تأثير هذا الإجهاد مع زيادة قساوة الحجر الإسمنتي وتناقص مرونته.
D. يؤدي استمرار الإنتاج وانخفاض الضغط في قاع البئر إلى تقلص الحلقة الإسمنتية ومواسير التغليف الإنتاجية بنسب مختلفة، وبالتالي يرفع ذلك من احتمال فك الارتباط بينهما.

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

استناداً إلى الدراسة المرجعية لأسباب فشل العمليات الإسمنتية يلاحظ التأثير الهام لانكماش الحجر الإسمنتي خلال عملية التصلب، وخاصة في المراحل المبكرة من حياة البئر، في حين تلعب الاجهادات التي يتعرض لها الحجر الإسمنتي الدور الاساس في التسرب المتأخر.

تضاف العديد من مواد تخفيض الانكماش لتلافي التأثير السلبي لانكماش السائل الإسمنتي خلال مراحلة التصلب (أوكسيد الكالسيوم، أوكسيد المغنيزيوم)، في حين تضاف مواد مرنة بهدف تحسين مواصفات المرونة للحجر الإسمنتي الناتج.

3 . المواصفات الميكانيكية للحجر الإسمنتي.

3.1 تصنيف الصخور ميكانيكياً.

3.1.1 مادة غير متجانسة (اورتوتروب).

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

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

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

3.1.2 مادة متجانسة تناظرياً.

تحوي 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) .

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

يلاحظ أن المصفوفة تحوي خمسة ثوابت مستقلة فقط يجب تحديدها.

3.1.3 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 لهذه المادة على الشكل التالي... مصفوفة (3).

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

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 النسبي على المحور العرضي.

$\Delta\varepsilon 1$: التشوه النسبي على المحور الطولي(محور تطبيق القوة).

$\Delta\sigma$: الإجهاد المقابل للتشوه.

3.2 تجارب تصنيف الصخور مخبرياً.

3.2.1 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.

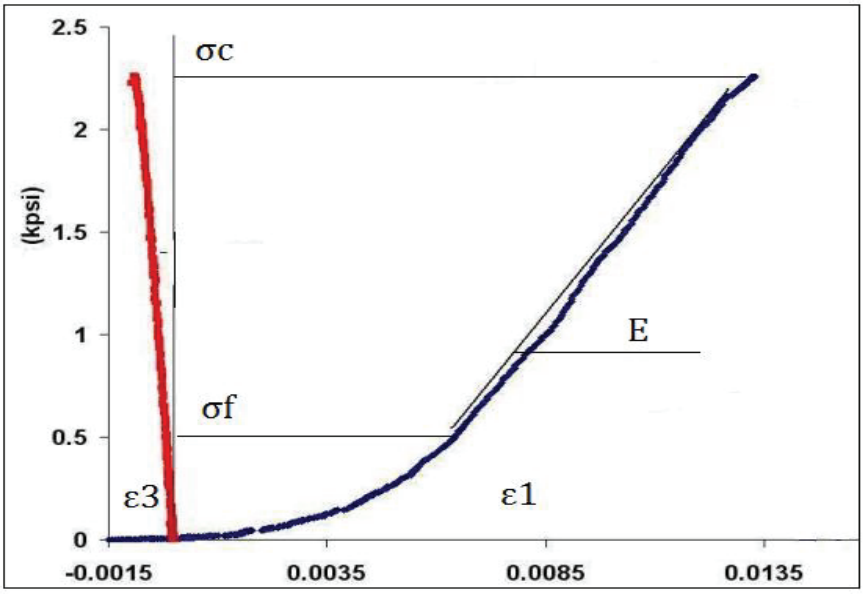
3.2.2 تجربة الضغط أحادي المحور.

تستخدم هذه التجربة لقياس معاملات المرونة للصخر المتجانس [6]، حيث تجرى التجربة على عينات اسطوانية بمعامل تناسب (L/D =2). يكون الضغط المؤثر ناظمياً وفق محور العينة، وبالتالي تتعرض العينة لإجهاد ناظمي من الأعلى، حيث تكون الإجهادات المماسية معدومة، والإجهادات الناظمية على المحاور الأخرى أيضاً معدومة. تعبّر المصفوفة (4) عن تنسور الحالة الإجهادية، في حين تعبر المصفوفة(5) عن تنسور التشوه.

$$\sigma ij = \begin{bmatrix} \sigma 11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdots\cdots\cdots (4)$$

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

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 σc الذي يدعى الإجهاد الحدي لانهيار العينة تحت الضغط. ترسم العلاقة بين الإجهاد المطبق وكل من التشوه الطولي والعرضي، حيث يتم الحصول على المنحني شكل (1) [6].



شكل 1: العلاقة بين الضغط احادي المحور ومعامل المرونة

يتم الحصول من هذا المنحني على القيم التالية:

σf : الإجهاد الحدي اللازم لإغلاق الشقوق الأساسية الموجودة في البنية التركيبية للصخر، والشقوق والفراغات الحديثة التي تنشأ نتيجة اقتطاع العينة.

σc : الإجهاد الحدي لانهيار 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.

3.2.3 تجربة الضغط ثلاثي المحور.

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 $\sigma 2$)، ثم يتم

تطبيق إجهاد عمودي عن طريق مكبس معدني وفق المحور المتناسب 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 إجهاديه متعددة.

4 الدراسة المخبرية.

4.1 المواد المستخدمة في التجارب.

◄ إسمنت آبار صنف G.

استخدم في إنجاز التجارب إسمنت آبار صنف G سطحه النوعي 3450 cm^2/gr حسب بلاين (جدول1) .

يستخدم الصنف G كإسمنت أساس بدون إضافات حتى عمق 1440 m ، ودرجات حرارة حتى 95 ^oC كما يمكن أن يستخدم عند أعماق ودرجات حرارة مختلفة عند استخدام إضافات مناسبة.

جدول 1: التركيب الكيميائي للإسمنت صنف G المستخدم

المكون	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_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

◄الغضار السوري.

يستخدم الغضار بشكل واسع كإضافة لأهداف عديدة (تخفيض الوزن النوعي، تخفيض السائل الحر، اعطاء خواص تخثر للسائل الإسمنتي عند التوقف، التقليل من كلفة واحدة الحجوم للسائل الإسمنتي)، ورغم أنه لا يستخدم كإضافة مرنة للإسمنت إلا أن مرونته العالية تجعله يكسب الحجر الإسمنتي بعضاً من المرونة.

استخدم في هذا البحث غضار سوري إنتاج معمل بيلون حلب بدون أية معاملات حرارية.

◄أوكسيد المغنيزيوم.

يستخدم أوكسيد المغنيزيوم كإضافة ممددة للحجر الإسمنتي بهدف تعويض الانكماش الحاصل خلال عمليات تصلب حبيبات الإسمنت.

استخدم أوكسيد مغنيزيوم سطحه النوعي $3600\ cm^2/g$ حسب بلاين يملك التركيب الكيميائي المبين في جدول (2).

جدول2 : التركيب الكيميائي لأوكسيد المغنيزيوم المستخدم

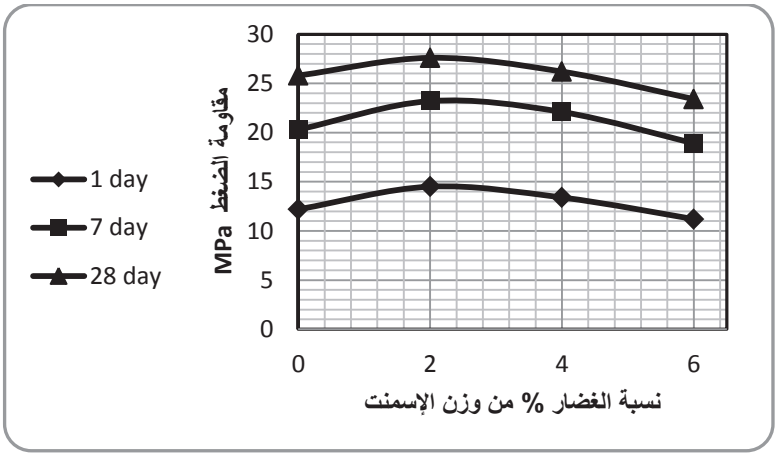
المكون	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	فاقد بالحرق	مواد غير منحلة	مجموع
النسبة %	12.75	0.89	0.4	1.68	81.45	0.5	0.6	98.27

4.2التجارب المخبرية.

تشير العديد من الدراسات إلى أن اضافة الغضار حتى نسبة 5% تحسن من خاصية مقاومة الضغط عند الحجر الإسمنتي عكس ما هو متوقع [8].

بهدف اختيار نسب الإضافة المناسبة من الغضار درست اضافته إلى الخلطة الإسمنتية بالنسب التالية %(2,4,6) وتم تحديد تأثير هذه النسب من الإضافة على مقاومة الضغط للحجر الإسمنتي، حيث تعتبر هذه الخاصية الأهم لتقييم إسمنت آبار النفط والغاز(شكل 2).

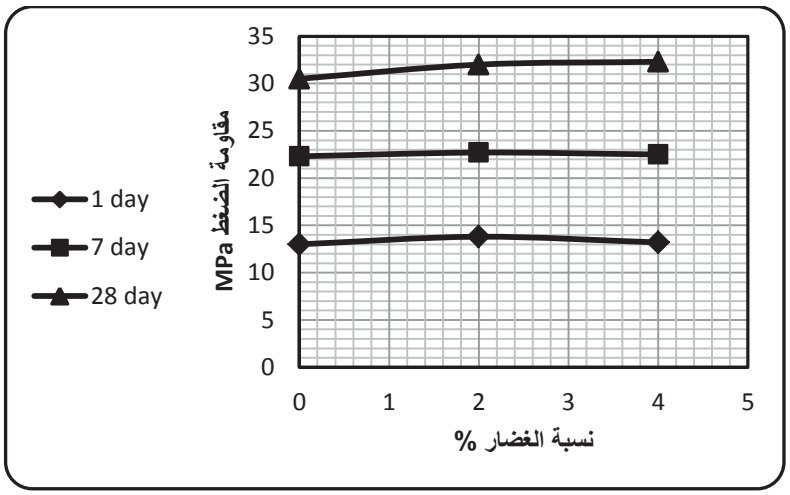
أُعتمد في اجراء تجارب قياس مقاومة الضغط للحجر الإسمنتي مواصفات معهد النفط الأمريكي API 10A للصنف G من إسمنت آبار النفط والغاز، والتي تعتمد على تطبيق الضغط على عينات ذات أبعاد Cm^3 (5.08×5.08×5.08) مصلبة عند درجة حرارة ^{O}C 60 .



شكل(2): تأثير إضافة الغضار على مقاومة الضغط للحجر الإسمنتي

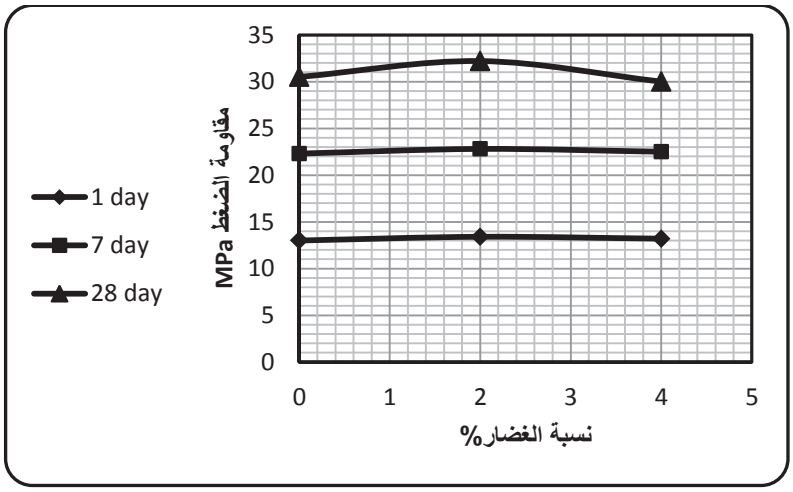
يلاحظ من الشكل (2) أن نسبة الإضافة 2% من الغضار تحسن مقاومة ضغط الحجر الإسمنتي بالمقارنة مع عينة المقارنة (بدون اضافة)، كما تتحسن بقيم أقل عند نسبة الإضافة 4% ، في حين أنها تتناقص عند النسبة 6% من الإضافة، إلا أنها تبقى ضمن الحدود المقبولة.

اعتماداً على نتائج الشكل (2) أُعتمد إضافة الغضار مع أوكسيد المغنيزيوم بنسبتي الإضافة %(2,4) من الغضار، ودرس تأثير الإضافة المشتركة على مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط (الأشكال3,4).



شكل(3): تأثير إضافة الغضار على مقاومة الضغط للحجر الإسمنتي عند اضافة أوكسيد المغنيزيوم بنسبة 2%

يلاحظ من خلال الشكل (3) تحسن مقاومة الضغط للحجر الإسمنتي عند نسبتي الإضافة %(2,4) من الغضار المستخدمة بالتزامن مع نسبة إضافة من أوكسيد المغنيزيوم 2% ، وذلك لكلا المقاومتين البدائية (بعد يوم واحد)، والنهائية (بعد 28 يوم).



شكل(4): تأثير إضافة الغضار على مقاومة الضغط للحجر الإسمنتي عند اضافة أوكسيد المغنيزيوم بنسبة 4%

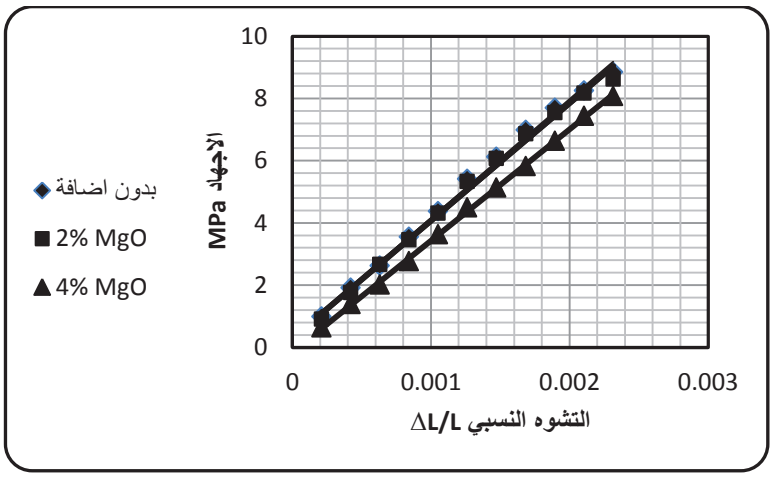
يلاحظ من خلال الشكل (4) تحسن طفيف على المقاومة المبكرة للحجر الإسمنتي للضغط (بعد يوم واحد) عند نسبتي الإضافة للغضار مع النسبة 4% من أوكسيد المغنيزيوم، في حين تتحسن المقاومة النهائية عند النسبة 2% من الغضار، وتبقى ثابتة تقريباً عند النسبة 4% من هذه الإضافة.

درس تأثير الإضافة المشتركة من الغضار وأوكسيد المغنيزيوم (عند نفس النسب التي درست مقاومتها للضغط) على المواصفات الميكانيكية للحجر الإسمنتي من خلال إجراء تجربة الضغط احادي المحور على العينات الإسمنتية، وقياس التشوه الطولي، وبالتالي تحديد معامل يونغ للمرونة (يعتبر الحجر الإسمنتي من الصخور المتجانسة) [6]، ومن ثم مقارنة ذلك مع عينة بدون إضافة بهدف تحديد اتجاه وقيمة تأثير الإضافة على تشوه الحجر الإسمنتي في المجال المرن.

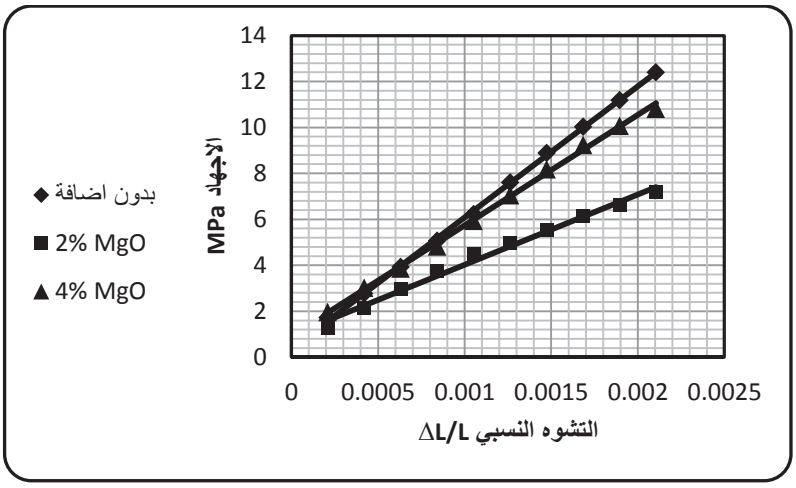
أُجريت تجربة الضغط احادي المحور على عينات اسطوانية بطول 10 Cm ، وقطر 5 Cm أي بمعامل تناسب (L/D =2)، وتم قياس التشوه الطولي وفق محور تطبيق القوة.

رسمت العلاقة بين الإجهاد المطبق والتشوه النسبي في المجال المرن من التشوه، وأُخذ الجزء المستقيم من التشوه (المرن)، وتم تحديد معامل يونغ للمرونة (E) من خلال ميل هذا الجزء.

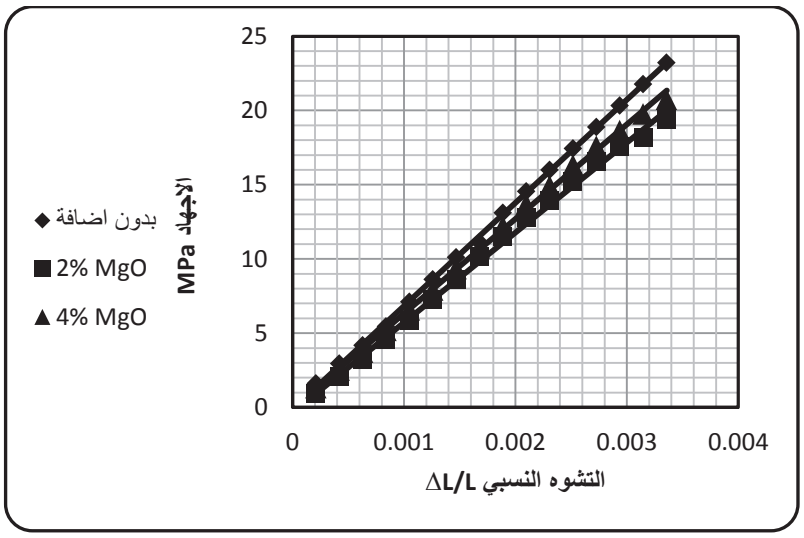
تظهر الأشكل (5,6,7,8,9,10) العلاقة بين الإجهاد والتشوه الناتج بعد (1,7,28) يوم من تصلب السائل الإسمنتي، لعينة الإسمنت النقي، والإسمنت مع الاضافات المقررة.



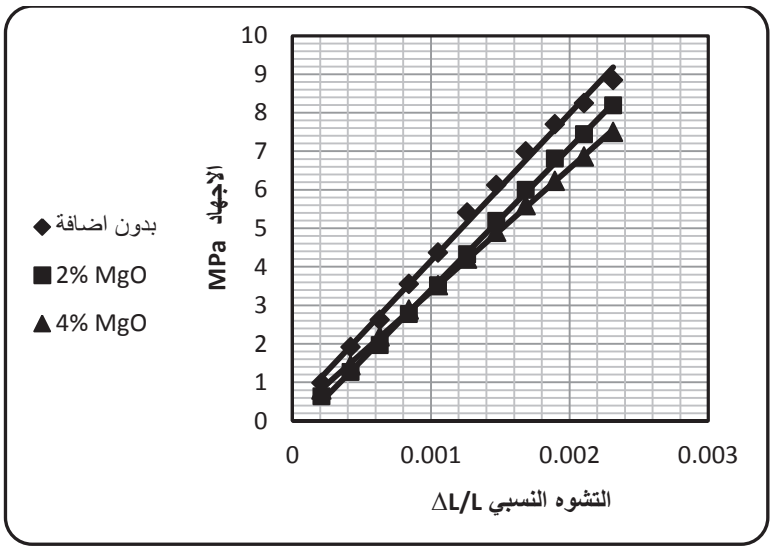
شكل(5): تأثير إضافة أوكسيد المغنيزيوم على تشوه الحجر الإسمنتي عند نسبة غضار 2% وزمن تصلب 24 ساعة



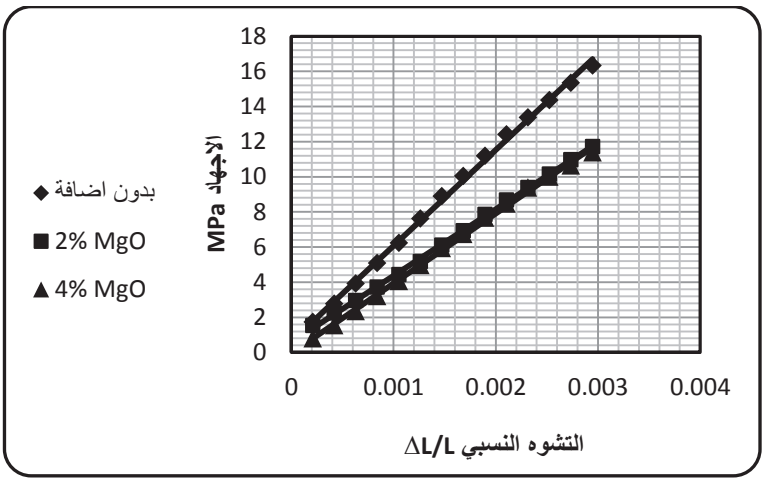
شكل(6): تأثير إضافة أوكسيد المغنيزيوم على تشوه الحجر الإسمنتي عند نسبة غضار 2% وزمن تصلب 7 يوم



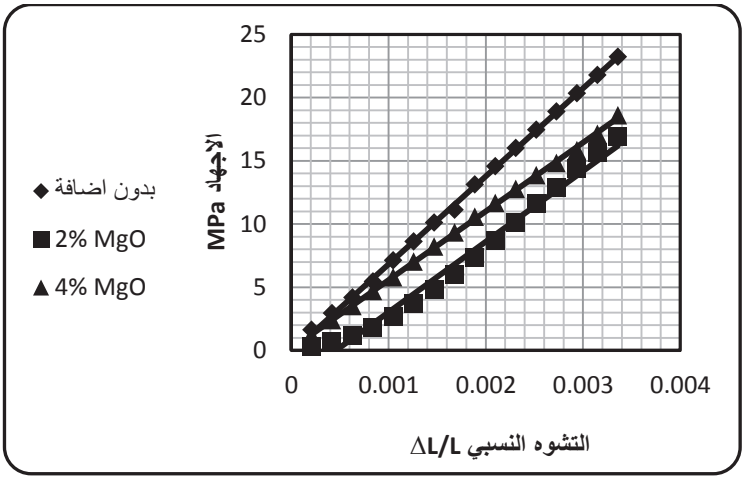
شكل(7): تأثير إضافة أوكسيد المغنيزيوم على تشوه الحجر الإسمنتي عند نسبة غضار 2% وزمن تصلب 28 يوم



شكل(8): تأثير إضافة أوكسيد المغنيزيوم على تشوه الحجر الإسمنتي عند نسبة غضار 4% وزمن تصلب 24 ساعة



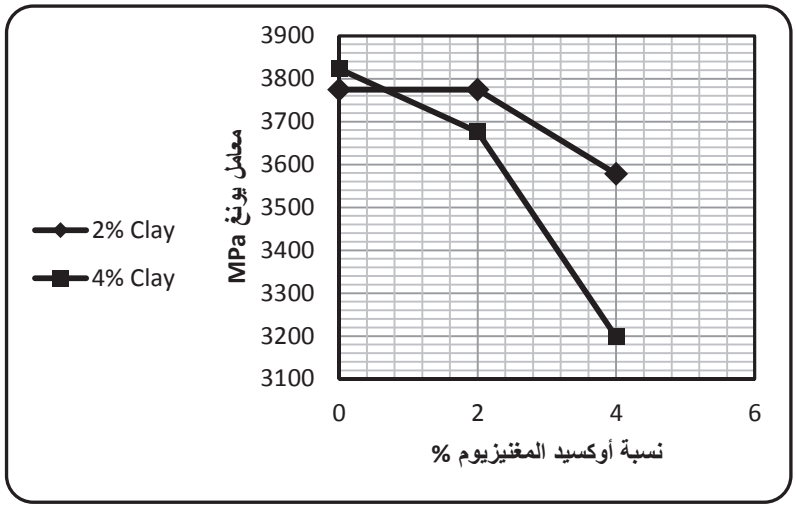
شكل(9): تأثير إضافة أوكسيد المغنيزيوم على تشوه الحجر الإسمنتي عند نسبة غضار 4% وزمن تصلب 7 يوم



شكل(10): تأثير إضافة أوكسيد المغنيزيوم على تشوه الحجر الإسمنتي عند نسبة غضار 4% وزمن تصلب 28 يوم

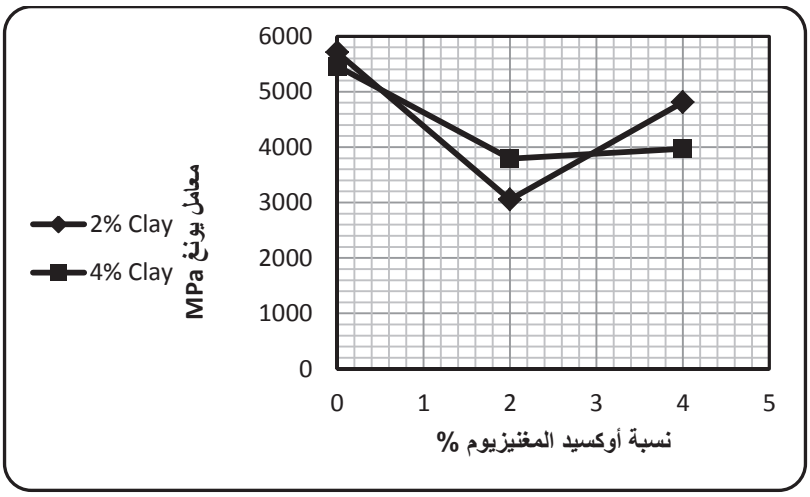
تم تحديد معامل يونغ من خلال الأشكال (5,6,7,8,9,10)، ومن ثم رسم علاقة معامل يونغ مع نسبة الاضافة لكل من أوكسيد المغنيزيوم، والغضار وتحديد تغير مرونة الحجر الإسمنتي من خلال تغير هذا المعامل.

الأشكال (11,12,13) توضح العلاقة بين معامل يونغ ونسبة الاضافات من أوكسيد المغنيزيوم والغضار (Clay).



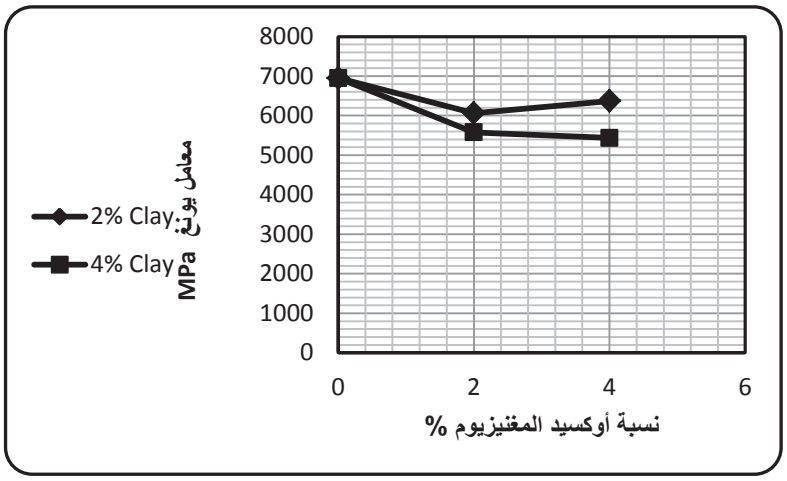
شكل 11 : العلاقة بين معامل يونغ للحجر الإسمنتي ونسبة أوكسيد المغنيزيوم بعد 24 ساعة من التصلب

يلاحظ من خلال الشكل (11) تناقص معامل يونغ نتيجة اضافة الغضار، مما يشير إلى زيادة مقدار التشوه المرن الذي يمكن استيعابه عند نفس الاجهاد المطبق، ويزداد معدل تناقص معامل يونغ مع زيادة نسبة الغضار.



شكل 12 : العلاقة بين معامل يونغ للحجر الإسمنتي ونسبة أوكسيد المغنيزيوم بعد 1 يوم من التصلب

يلاحظ من خلال الشكل (12) تحسن مواصفات المرونة للحجر الإسمنتي الحاوي على الاضافة مقارنة مع الحجر النقي، حيث يلاحظ تحسن المرونة عند نسبتي الاضافة، إلا أن التحسن يكون افضل عند نسبة الأوكسيد الأقل (2%) .



شكل 13 : العلاقة بين معامل يونغ للحجر الإسمنتي ونسبة أوكسيد المغنيزيوم بعد 28 يوم من التصلب

يشير الشكل (13) إلى تغير معامل يونغ عند انتهاء التصلب (بعد 28 يوم)، حيث يلاحظ من خلال هذا الشكل تحسن مرونة الحجر الإسمنتي عند نسبتي الاضافة من الغضار، إلا أن التحسن يكون أفضل عند نسبة الاضافة الأكبر (4%).

النتائج والمقترحات.

بناءً على ما تقدم يمكن تلخيص نتائج هذا البحث بما يلي:

- يتعرض الحجر الإسمنتي بعد تصلبه خلف مواسير التغليف لإجهادات متنوعة نتيجة العمليات التي تجرى عليه (اختبار، حفر، تثقيب، تحميض، تشقيق، .....الخ).
- تعمل الإجهادات التي يتعرض لها على نشوء تشوهات ضمن الحجر الإسمنتي، والتي بدورها تعمل على تحطيم هذا الحجر عند تخطيها قيم مرونته.
- تجاوز التشوهات حد المرونة يؤدي إلى حصول تشقق ضمن الحجر الإسمنتي، وبالتالي فتح ممرات لتسرب الموائع الطبقية، وفقدان الحجر الإسمنتي لمهمة عزل الطبقات المتوضع أمامها عن البئر، وعن بعضها البعض.
- مع المحافظة على مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط ثابتة أو تحسينها، وتناقص معامل يونغ، فإن الحجر الإسمنتي سوف يتمكن من استيعاب حجم أكبر من التشوه قبل الوصول إلى حالة التحطم.
- ترفع إضافة الغضار من مرونة الحجر الإسمنتي (تناقص معامل يونغ)، وبالتالي سوف يتحمل الحجر الإسمنتي الناتج قيم أكبر من التشوه في المرحلة المرنة من التشوه دون الوصول إلى الحالة اللدنة.
- اضافة الغضار تحسن من مرونة الحجر الإسمنتي، ويزداد التحسن مع زيادة نسبة الغضار.
- اضافة أوكسيد المغنيزيوم تقلل من مرونة الحجر الإسمنتي الناتج.
- تعمل اضافة الغضار بالتزامن مع اضافة أوكسيد المغنيزيوم على تعويض تناقص المرونة الناتج عن اضافة الأوكسيد دون الاساءة للهدف المستخدم لأجله الأوكسيد وهو توسع الحجر الإسمنتي الناتج.

- تقلل اضافة الغضار من الكلفة الاقتصادية لعملية السمنتة، كون سعر هذه المادة زهيد مقارنة مع الإسمنت، وكونه يتطلب نسبة أعلى من الماء.

من خلال هذا البحث يمكن اقتراح:

- إضافة الغضار بالنسب المستخدمة في البحث %(2,4) للحصول على حجر إسمنتي يتمتع بمرونة أفضل من الحجر النقي (بدون اضافة)، وبالتالي يتمكن من استيعاب مقدار أكبر من التشوهات في المجال المرن.
- اضافة الغضار بشكل مرافق لإضافة أوكسيد المغنيزيوم يعوض تناقص المرونة الناتج عن اضافة الأوكسيد، دون التأثير على الهدف من اضافة الأوكسيد (يستخدم الأوكسيد كمادة موسعة)، على العكس من ذلك فإن اضافة الغضار تقلل من تقلص الحجر الإسمنتي كونه يقلل نسبة مسحوق الإسمنت في الخلطة.
- يمكن اضافة الغضار إلى كافة مراحل السمنتة عند النسب المدروسة دون أي أثر سلبي على كافة خواص الحجر الإسمنتي، وخاصة مقاومة الضغط والتي تعتبر المطلب الأهم بل على العكس تؤدي اضافة الغضار إلى تحسنها عند النسب المقترحة.

يفتح هذا البحث افق أوسع للبحث عن امكانية استخدام نسب أعلى من الغضار، في حال لم تكن مقاومة الضغط العالية أمراً مطلوباً، خاصة في المراحل السطحية والوسطية، وبالتالي تحسن أفضل لمواصفة مرونة الحجر 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 – Kevin Soter B.S, December 2003 –Removal of sousing pressure utilizing a work over rig. University of Tulsa, PP 95 .

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– JCPT. K.R.Backe, O.B.Lile,S.K.Lyomov,H.Justnes, J.Sveen," shrinkage of oil well cement Slurries "1998.PP 63–67.

6-S. K. Pedam,"Determining Strength Parameters of Oil Well Cement", 2007, University of Texas at Austin. PP 74.

7–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.

8- حويري، محمد، 2011- تحسين جودة سمنتة المراحل الإنتاجية للآبار الغازية في المنطقة الوسطى. اطروحة دكتوراه، جامعة البعث، 199 صفحة.