مقدمة:

تعتبر عملية السمنتة من العمليات الأساسية في تدعيم آبار النفط والغاز، حيث تلعب نوعية الإسمنت خلف مواسير التغليف دورا" هاما" خلال عملية الحفر، وخلال فترة إنتاج البئر، والتي لها تأثير هام على عمليات السمنتة الثانوية (الإصلاحية)، وعلى عملية إصلاح وتحسين الآبار .

وتعتبر مشكلة تهريب السوائل الإسمنتية ضمن الطبقات ذات النفوذية العالية , الطبقات المتكهفة الطبقات المتشققة أو الطبقات ذات الضغوط الطبقية المنخفضة، من المشاكل الكثيرة الانتشار في آبار النفط والغاز، والتي تتميز بكلفة عالية جداً (حيث تكلف مئات الملايين من الدولارات كل عام) . تؤدي هذه المشكلة إلى عدم وصول السائل الإسمنتي إلى الارتفاع المخطط له في الفراغ الحلقي، ، والذي سوف ينعكس سلباً على جودة عملية السمنتة بشكل عام، ويفقد السائل الإسمنتي المتصلب في الفراغ الحلقي للبئر إحدى أهم وظائفه في تدعيم مواسير التغليف، وعزل الطبقات، وما ينتج عن ذلك من حدوث تآكل لمواسير التغليف، وفقدان العازلية (حدوث اتصال هيدروديناميكي بين البئروالتشكيلات الجيولوجية) يتبعه بالضرورة فقدان في الطاقة الطبقية.

قد لا تكون هذه المشاكل واضحة مباشرة بعد استثمار البئر، ولكن مع مرور الزمن تتفاقم، وقد تصبح غير قابلة للإصلاح، وفي بعض الحالات، فإن عمليات السمنتة الإصلاحية يمكن أن تكون كافية لإصلاح الضرر، ولكنها قد تكون مكلفة، وتستهلك زمناً كبيراً، كما أن احتمال نجاحها قليل.

تهدف هذه الدراسة إلى البحث عن حل لمشكلة التهريب، ، حيث يتطلب ذلك البحث عن خلائط إسمنتية خاصة، تمتاز بوزن نوعي أقل من الوزن النوعي للخلائط النظامية.

تتضمن هذه الدراسة الفصول الآتية :

- **الفصل الأول:** كيمياء وخواص الإسمنت البورتلاندي. ويتضمن مراحل صناعة الإسمنت البورتلاندي, إماهة الإسمنت البورتلاندي والعوامل المؤثرة على هذه الإماهة, طرق تحديد خواص مسحوق الإسمنت, تصنيف الإسمنت البورتلاندي وفق المواصفات القياسية المختلفة، بالإضافة إلى تصنيف إسمنت آبار النفط والغاز تبعاً لتصنيف معهد البترول الأمريكي API.
- **الفصل الثاني** : إضافات إسمنت آبار النفط والغاز وآلية التأثير. في هذا الفصل استعرضنا الإضافات التي يعالج بها السائل الإسمنتي، من ضبط كثافة السائل الإسمنتي, ودراسة مسرعات ومبطئات التصلب, إضافات منظم فاقد الرشح, إضافات معالجة التهريب، بالإضافة إلى الإضافات الخاصة, وأنواع هذه الإضافات تبعاً للشركات الصانعة .
- **الفصل الثالث:** تدعيم الآبار. في هذا الفصل استعرضنا عمليات تغليف وسمنتة آبار النفط والغاز، بالإضافة إلى المعدات المستخدمة في عمليات التغليف والسمنتة, وخواص السائل الإسمنتي والحجر الإسمنتي، والأجهزة المستخدمة في تحديد خواصهما, وفي نهاية الفصل تمت دراسة العوامل التي تؤثر على نجاح عمليات السمنتة، وطرق تقييم جودة الإسمنت خلف مواسير التغليف.

- **الفصل الرابع** :استعرضنا الخلائط الإسمنتية المخففة وميزاتها، بالإضافة إلى الطرق المتبعة في تقليل كثافة الخلائط الإسمنتية المخففة.
- **الفصل الخامس** : وهو القسم العملي في هذه الدراسة، دراسة تأثير سيليكات الصوديوم (كإضافات لمخففة) على خواص الخلائط الإسمنتية المخففة والحجر الناتج عنها

في نهاية هذه الدراسة خلصنا إلى مجموعة من النتائج والمقترحات التي يمكن أن تؤدي إلى تحسين جودة سمنتة وعازلية الآبار باستخدام خلطات إسمنتية مخففة خلف مواسير التغليف.

ونأمل من خلال هذه الدراسة أن نكون قد وفقنا في الوصول إلى الهدف الموضوع لها ، وتقديم كل ما هو مفيد لصناعتنا النفطية المتنامية ، وللعاملين في المجالات المختلفة لهذه الصناعة .

كيمياء و خواص الإسمنت البورتلاندي
Chemistry and Characterization Of Portland Cement

1-1- مقدمة:

الإسمنت هو رابطة مائية (Hydraulic binder)، مكون من مزيج عدة مواد غير عضوية مطحونة بشكل ناعم (finely ground)، والتي تشكل عندما تمتزج بالماء ما يسمى الملاط الإسمنتي (Paste) الذي يتصلب وتزداد قساوته نتيجة تفاعل الإماهة، والذي يحافظ حتى بعد عملية التصلب على مقاومته وثبوتيته حتى تحت الماء (حسب تعريف ASTM C129)[3,5] . ويعد الإسمنت البورتلاندي من أهم الأنواع الشائعة، والأكثر استخداما في أنحاء كثيرة من العالم .

يتألف الإسمنت البورتلاندي بشكل رئيسي من أكسيد الكالسيوم (Lime)(CaO) و أكسيد السيلكون Silica(SiO_2) وأكسيد الألمنيوم (Alumina)(Al_2O_3) وأكسيد الحديد (Fe_2O_3) (Ferric Oxide) بالإضافة إلى بعض الأكاسيد الأخرى، التي توجد بنسب ضئيلة كشوائب مرافقة مع المواد الخام ، والتي تطحن بنعومة مناسبة (Suitable Fineness)، حيث يتم حرق هذا المزيج داخل الفرن ليحدث الاتحاد الكيميائي، وينتج ما يسمى الخبث الحراري أو الكلينكر (Clinker)، والذي تضاف إليه أثناء الطحن كمية قليلة من الجص، وذلك بهدف التحكم بزمن التصلب (Setting time)، حيث ينتج في النهاية مسحوق رمادي (gray powder) يدعى مسحوق الإسمنت (Fine powder cement).

1-2-صناعة الإسمنت البورتلاندي [3,5] :

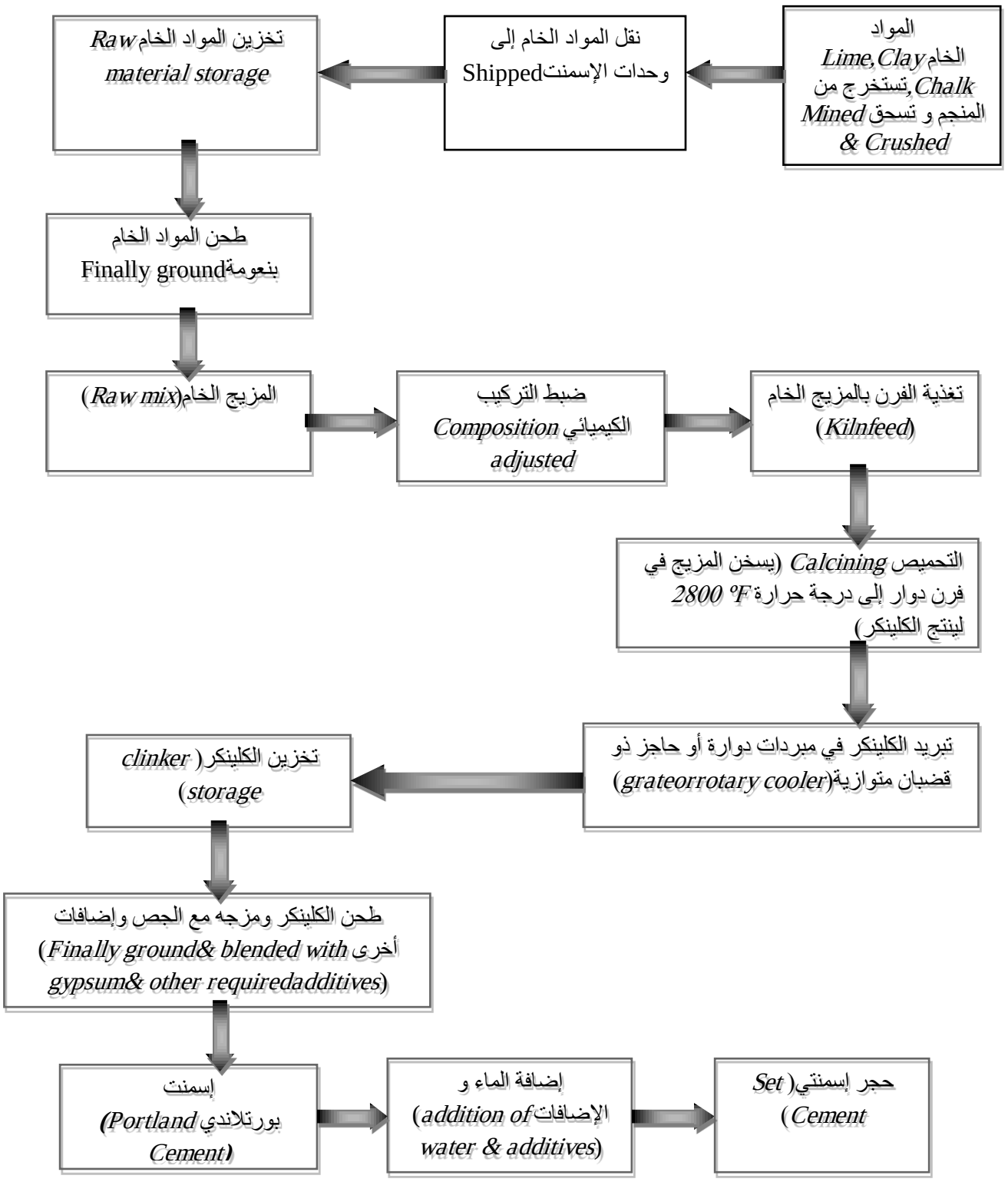
يوجد ثلاث مراحل رئيسية لإنتاج الإسمنت البورتلاندي:

1- تحضير المواد الخام .

2- إنتاج (تشكيل) الكلينكر .

3- تحضير الإسمنت .

و في الشكل (1-1) نبين مراحل تصنيع الإسمنت البورتلاندي .



الشكل (1-1) مراحل صناعة الإسمنت البورتلاندي

1-2-1- تحضير المواد الخام (Row materials preparation):

إن المواد الخام الرئيسية التي تستخدم في صناعة الإسمنت البورتلاندي هي المواد الكلسية (Calcareous materials)، التي تحتوي على كربونات الكالسيوم أو أوكسيد الكالسيوم، وتتألف من الحجر الكلسي (Limestone) والصخر الطباشيري (الحوار Chalk) حيث يشكل الحجر الكلسي بشكل تقريبي 80% من تركيب المواد الخام، والمواد الغضارية (argillaceous materials) التي تحتوي على الغضار، أو على فلزات الغضار(Clay minerals) ، والتي تتألف من الغضار (Clay) والشيل (Shale). كما يمكن أن تحتوي المواد الخام أيضا على الرمل (Sand)، وخامات الحديد (Iron ore) والبوكسيت (Bauxite)، التي تضاف كمواد مصححة لتصحيح نسب الأكاسيد الرئيسية المستخدمة في المزيج الخام [78] .

تستخرج الصخور الكلسية و الغضارية من المقالع أو المناجم (quarries or mines) وتنقل إلى مخازن مصانع الإسمنت أو إلى وحدات الإسمنت (Cement plant) حيث تتعرض لعملية تكسير أولي (تحول إلى أحجار صغيرة بقطر أعظمي 6 inches) ثم بعد ذلك تتعرض لعملية تكسير ثانية (Secondary Crushers) أو طحن بالطرق (hammer mills)، وذلك لإنقاص قطر الصخور إلى حوالي 3in أو أقل (في معظم وحدات الإسمنت تكون أقل من(50 mm). بعد ذلك تطحن المواد الخام بنعومة مناسبة (لا يتجاوز قطرها 90 μm) لكي تتم التفاعلات الكيميائية بشكل تام في الفرن، ولكي تتحقق عملية التجانس الكيميائي ، و تمزج مع بعضها رطبة أو جافة .

وبالرغم من أن لكل مصنع طريقته الخاصة في تصنيع الإسمنت، فإن هناك بشكل عام طريقتان لتصنيع الإسمنت البورتلاندي.ففي عملية تصنيع الإسمنت **بالطريقة الجافة (dry process)** فإن مزيج المواد الخام يجفف عادة من خلال إمرار الغازات العادمة الحارة (Hot exhaust gasses) الخارجة من الفرن إلى طاحونة المواد الخام (Row mill)، حيث يتشكل مزيج على شكل مسحوق ناعم، والذي يحول إلى نظام مزج بواسطة محولات سير ناقل، أو بواسطة مضخة المسحوق (Conveyor belt or by a powder pump) .

أما في **الطريقة الرطبة (Wet Process)**) لتصنيع الإسمنت فيضاف الماء إلى المواد الخام الداخلة لآلة الطحن (مغذي طحن المواد الخام (row mill feed) و يكون ناتج الطحن خليطاً (slurry) مع محتوى رطوبة يتراوح عادة بين (25-45%) وزنا. بعد ذلك يحول هذا الخليط إلى نظام مزج بواسطة مضخات السائل التقليدية (Conventional liquid pump).

مزج المواد الخام (Rae mix blending):

قبل إدخال المزيج الخام إلى الفرن الدوار يجب أن تكون المواد الخام مطحونة بدرجة كافية، وأن تكون نسب المواد الأولية صحيحة، والمزيج متجانساً، حيث يعبر عن ذلك بمواصفات كيميائية دقيقة جداً. فالمحتوى الفردي (بشكل مستقل) للأكاسيد الموجودة في المزيج الخام يجب أن يتم التحكم بها بدقة 0.1% أو أفضل، كما أن التخزين في صوامع المزيج (blending silo) يعتبر ضرورياً لتامين تجانسيَة المزيج.

عمليا يتم التحكم بنسب المزيج الخام بالتحليل الكيميائي المستمر كل ساعة باستخدام طريقة (X- ray fluorescence analysis)، أو كل ثلاث دقائق باستخدام طريقة (neutron activation analysis)، حيث أن معطيات التحليل تستخدم للضبط الأوتوماتيكي لمعدل التغذية بالمزيج الخام، أو بوصلها مع كمبيوتر، حيث يبقى التغير الكيميائي في الحدود الدنيا، وذلك من خلال إمرار المزيج الخام إلى نظام مزج يجعل المزيج متجانسا(الإمداد اليومي للمزيج الخام15000 طن في حالة الأفران الكبيرة). وبعد عملية المزج يفرغ المزيج في صوامع تخزين، والتي تكون جاهزة للمرحلة الثانية من الإنتاج .

إن البارامترات المستخدمة للتحكم بالتركيب الكيميائي للمزيج الخام هي :

- عامل تشبع أكسيد الكالسيوم (Lime saturation factor)LSF
- معامل السيليكا (Silica modulus) SM
- معامل الحديد (Iron modulus)IM

1-2-2- <u>إنتاج (تشكيل) الكلينكر (Production (Formation) of the clinker) :</u>

أو ما يسمى عملية الحرق (The burning process). إن الاتحاد الدقيق لعناصر الكالسيوم والسيليكا والألمنيوم والحديد (في المادة الخام) ضروري لإنجاز الهدف الكيميائي للكلينكر. ومن أجل إنتاج كلينكر الإسمنت فإن مزيج المواد الخام المطحونة بدقة، والذي يدعى بـ (raw meal)، أو بمغذي الفرن (Kiln feed)، والذي يرسل بمعدل منتظم من الجهة العليا (قبل المسخن) إلى فرن (في الأفران الحديثة يبلغ قطرها (6 m 20 ft) وطولها يزيد عن ((80 m 600 ft) مع سعة إنتاجية تزيد عن (5000 ton/day)) اسطواني دوار مصنوع من الفولاذ المبطن بآجر مقاوم للحرارة، يميل بدرجات قليلة عن الأفق، ويدور بسرعة (1-4 RPM) حول محوره، حيث يسخن المزيج إلى درجة حرارة 1000 °C بسرعة كبيرة، حيث تحدث عملية التحميص (calcining) لكربونات الكالسيوم في الحجر الكلسي لتتحول إلى أكسيد الكالسيوم، وذلك قبل دخولها في الفرن الدوار، ثم بعد ذلك يتحرك المزيج ببطء داخل الفرن، حيث تزداد درجة حرارته كلما اقترب من شعلة الفرن حتى تصل إلى درجة حرارة (2700 °F 1450°C) ، حيث يحدث التبادل الحراري وتتشكل بنية سيليكات الكالسيوم التي تدعى الكلينكر بعد انتهاء عملية الحرق تحصل عملية تبريد للكلينكر(عقد مسامية لونها رمادي داكن قطرها (0.5-2 inch (13-50 mm) .



الشكل (1-3) الكلينكر

حيث يدخل الكلينكر المتوهج الساخن إلى مبردات دوارة تعمل بالهواء، حيث تستخدم الحرارة الضائعة في الكلينكر كهواء ثانوي في عملية الاحتراق في المكلسن (Calciner)، كما أن الغازات الحارة تستخدم أيضاً كمجففات عند مرحلة تحضير المواد الخام.

عملية التبريد (The cooling process)[3]

إن نوعية الكلينكر الناتج الذي يخرج من الفرن الدوار تعتمد على معدل وطريقة التبريد المطبقة، حيث نميز مرحلتين لتبريد الكلينكر (حيث أن الكلينكر الأفضل هو الذي نحصل عليه بتبريد بطيء لحوالي(1250°C) (2282 °F) يتبع بتبريد سريع عادة (18–20 °C/min) (32–36 °F/min):

- معدل تبريد بطيء(Slow cooling rate) : ويتم ذلك بمعدل (4–5) 7–9 °F/min (°C/min) حيث أن التبريد البطيء يسمح ببلورة مركبات الكلينكر، وهذا ما يؤمن قابلية أفضل للطحن، وبالنهاية ينتج إسمنت ليس له فعالية هيدروليكية أو أن فعاليته الهيدروليكية قليلة، كما أن الإسمنت المتصلب سوف يظهر مضغوطية مبكرة عالية مع الزمن، ولكن المقاومة مع الزمن قليلة .
- معدل تبريد سريع (Fast cooling rate): ويتم ذلك بمعدل (18–20) 32–36 °F/min (°C/min) ينتج تشكيلة زجاجية تجعل الكلينكر صعب الطحن، وبالنهاية فإن الإسمنت المتصلب يعطي متانة مبكرة قليلة، ولكنها تزداد مع الزمن.

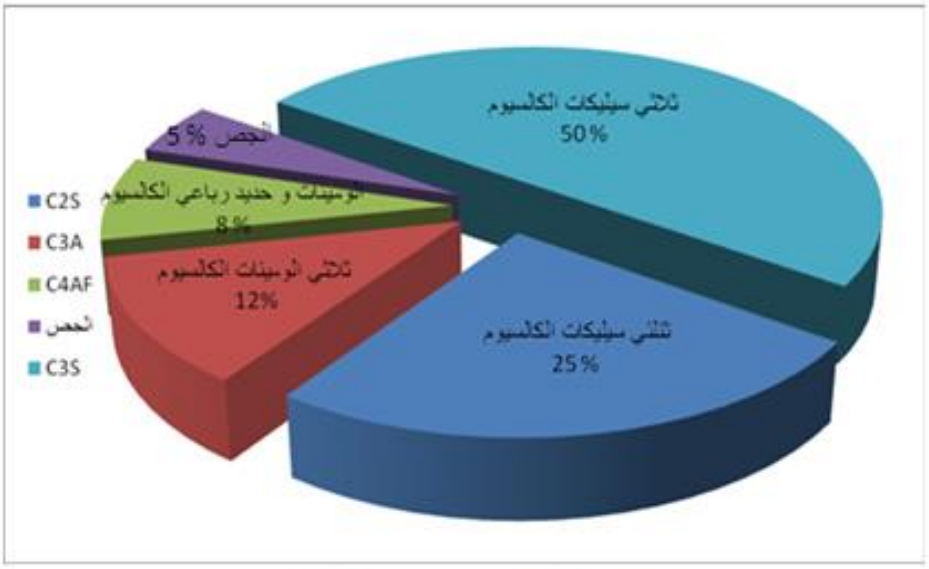
1–2–3– تحضير الإسمنت(Preparation of the cement) :

أو ما يسمى بطحن الإسمنت (cement grinding) أو العملية النهائية (Final processing) حيث ينتج الإسمنت من طحن الكلينكر (الذي تم تخزينه في الصوامع) في كسارات الطحن الكروية (ball mills)، حيث يضاف إليه أثناء الطحن كمية قليلة من سلفات الكالسيوم (عادة الجص $CaSO_4.2H_2O$) تتراوح عادة من (2–8%)، ونموذجيا 5% من وزن الكلينكر[13]، وذلك لمنع التصلب الوميضي (Flash set) للإسمنت. كما أنه عند هذه المرحلة يجب أن يكون ناتج الطحن بارداً، وذلك لمنع تجفيف الجص (نزع الماء)، حيث يتحول إلى أنهدريت، حيث يمكن أن ينتج التصلب الوهمي (False setting). كما يمكن أن يمزج مع الإسمنت مواد إسمنتية متممة (Supplementarycementation materials(SCMs)) مثل الرماد المتطاير (Fly ashes)، وخبث الأفران (slag).

تركيب الإسمنت (Cement composition):

يتألف الإسمنت (تتراوح قطر جسيمات حبة الإسمنت من 1–100 µm) من أربعة مركبات أساسية يسهم كل واحدٍ منها بطرق مختلفة في التأثير على خواص السائل الإسمنتي أو خواص الحجر الإسمنتي, حيث أن التغير القليل في تركيزها يمكن أن يؤثر على سلوك التصلب للإسمنت فالإختبار المستقل لكل عينة من عينات الإسمنت المأخوذة حقلياً هو الشرط اللازم لمنع حدوث عملية التصلب

المفاجئة أو غير المتوقعة. وفي الشكل (1–4) نبين النسب المئوية لمكونات الإسمنت . وفي الجدول(1–6) نبين تركيب الإسمنت وخواصه



الشكل(1–4) النسب المئوية لمكونات الاسمنت

- تخزين و توزيع الإسمنت(Cement Storage & distribution):

بعد عملية الطحن فإن الإسمنت (الشكل (1–5)) يحول عن طريق سير ناقل أو مضخات المسحوق (Powder pump) إلى صوامع تخزين كبيرة عازلة للهواء (عادة وحدات الإسمنت تمتلك صوامع بمساحة تكفي لتخزين إنتاج فترة مابين 20–1 أسبوعاً من الإسمنت حسب الطلب والإستجرار المحلي).



الشكل (1–5) الإسمنت البورتلاندي.

وذلك لأن الإسمنت سريع التأثر بالرطوبة ، حيث يمتص الرطوبة من الهواء وثاني أكسيد الكربون CO_2 ، كما أن التخزين في المناطق الحارة يمكن أن يؤدي إلى تجفيف الجص وتحويله إلى أنهدريت وفي النهاية فإن الإسمنت يسلم للمستخدمين إما في أكياس, أو يحمل في ناقلات أو عربات سكك حديد . ويبلغ الوزن النموذجي لكيس الإسمنت (42 Kg) 94 Lb .

6- تصنيف إسمنت آبار النفط و الغاز(Classification of oil well cement):

يعتبر التصنيف الأفضل والأكثر انتشارا لإسمنت آبار النفط و الغاز هو تصنيف ASTM (تصنيف الجمعية الأمريكية لاختبار المواد) (American Society for testing and materials) و تصنيف معهد البترول الأمريكي API (American Petroleum Institute)

1-6-1-تصنيف الإسمنت وفق معهد البترول الأمريكي(API Classification)

يصنف إسمنت آبار النفط والغاز وفقا لمعهد البترول الأمريكي (API Standards 10A) إلى ثمانية أصناف (A,B,C,D,E,F,G,H) وثلاثة أنواع (O – HSR , MSR). و كل صنف يستخدم تبعا لعمق الآبار، ودرجات الحرارة والضغوط ، ومدى مقاومته لتأثير الكبريتات . وفي الجدول (1-23) نبين مواصفات إسمنت آبار النفط و الغاز حسبAPI [5,6]

الجدول (1-23) نبين مواصفات إسمنت آبار النفط و الغاز حسب API Standards 10A

نوع الإسمنت حسب API	كثافة الإسمنت ppg	عمق الاستخدام (m)	درجة الحرارة (°C)	الخواص وأهداف الاستخدام
A	15.6	0-2000	80-170	يستخدم لأهداف عامة ، وهو ذو مقاومة ضعيفة لتأثير شوارد الكبريتات ومشابه لـ ASTM C 150 type I حيث يستخدم في الآبار الضحلة والمرحل السطحية للآبار العميقة،وهو متوفر بنوعه العادي (Ordinary grade) (OSR)
B	15.6	0-2000	8-170	يستخدم لأهداف عامة، ولا يتطلب خواص معينة.متوفر بأنواع ذات مقاومة متوسطة، ومقاومة عالية لتأثير شوارد الكبريتات ، ومشابه لـ ASTM C 150 type II
C	14.8	0-2000	8-170	ذو مقاومة مبكرة عالية ، ومتوفر بأنواع ذات مقاومة ضعيفة ومقاومة عالية لتأثير الكبريتات، ومشابه لـ ASTM C 150 type III ، ويطحن بشكل ناعم .
D	16.4	2000-3000	77-110	وهو إسمنت مؤخر لتصلب السائل الإسمنتي ، ومتوفر بنوعيه : ذو المقاومة المتوسطة

نوع الإسمنت حسب API	كثافة الإسمنت ppg	عمق الاستخدام (m)	درجة الحرارة (°C)	الخواص وأهداف الاستخدام
				والمقاومة العالية للكبريتات ويطحن بشكل خشن .
E	16.4	3000–5000	110–145	وهو إسمنت مؤخر للتصلب، ومتوفر بنوعيه، ذات المقاومة المتوسطة (MSR) و المقاومة العالية (HSR) لتأثير للكبريتات .
F	16.4	3000–5000	145–160	وهو إسمنت مؤخر للتصلب ومتوفر بمقاومة (MSR) ومقاومة (HSR) .
G	15.8	0–2500	حتى 195	يستخدم لأهداف عامة. وهو متوفر بمقاوماته المتوسطة والعالية لتأثير للكبريتات. الإضافات التي يسمح بها فقط للكلينكر هي سلفات الكالسيوم والماء ويطحن بشكل ناعم ومشابه لـ ASTM C 150 type IV .
H	16.5	0–2500	حتى 195	يستخدم لأهداف عامة، وهو متوفر بأنواعه ذات المقاومة المتوسطة والمقاومة العالية لتأثير الكبريتات ، وهو يشبه النوع G ولكن يختلف عنه بأن النوع H أكثر خشونة . وهو مشابه لـ ASTM C 150 type IV

إن أنواع الإسمنت D,E,F تحتوي على إضافات مؤخرة (مبطئة) لتصلب السائل الإسمنتي، وهي تبدي زمن تصلب كافٍ عندما تستخدم في المجال الصحيح لدرجات الحرارة . ويمكن أن ندرك أن هذه الإضافات يمكن أن لا تتلاءم مع الإضافات الأخرى المراد استخدامها (مثلا التحكم بفاقد الرشح (Fluid loss control)).

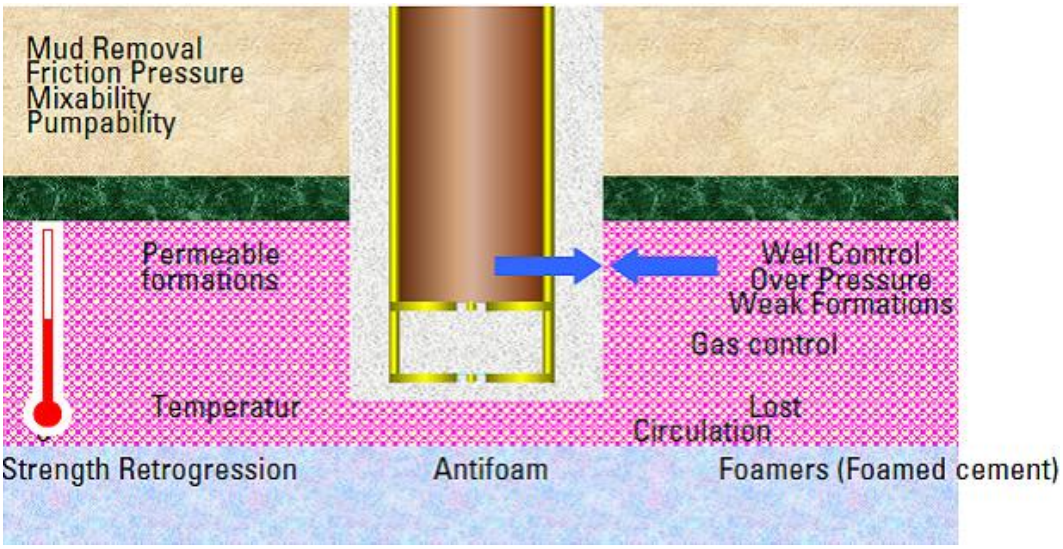
إن الأنواع G و H هما من أكثر أنواع الإسمنت انتشاراً في حقول النفط , حيث يستخدم النوع في أمريكا بشكل عام ، أما خارج أمريكا فإن النوع G هو الأكثر استخداما

إضافات إسمنت آبار النفط والغاز وآلية التأثير

Additives for oil and gas wells cement and Mechanisms of Action

2-1- مقدمة:

إن الخواص النظامية للإسمنت البورتلاندي لا تتوافق دائماً مع ظروف البئر التي تجري سمنتتها، فدرجة الحرارة التي تصادف أثناء سمنته الآبار تتراوح من درجة حرارة تحت الصفر في المناطق المتجمدة (freezing zone) إلى درجة حرارة أكبر من°F 700 (350C°)، الشكل (2-1) . كما تصادف ضغوط تتراوح من الضغط الجوي في الآبار الضحلة ، إلى ضغوط أكثر من (3000Psi 21Mpa) في الآبار العميقة . كما أن زمن الضخ يتراوح من عدة دقائق إلى عدة ساعات. لذلك تجرى في معظم الحالات معالجة السائل الإسمنتي بمواد كيميائية معينة ، أو إضافات تعطي للسائل الإسمنتي مواصفات تتوافق وشروط البئر التي يستخدم عندها.



الشكل (2-1) ظروف البئر

ويمكن أن تصنف هذه الإضافات إلى [1,6,8]:

1- منظم الكثافة : (Density control)

2- مرققات أو مقللات احتكاك : (Dispersants or frictions reducers)

3- مسرعات التصلب : (Accelerator)

4- مؤخرات أو مبطئات التصلب : (Retarders)

5- منظم فاقد الرشح : (Fluid loss control)

6- إضافة معالجة التهريب : (Lost circulation control additives)

7- إضافات خاصة : (specialty additives)

2-2- منظم الكثافة (Density control):

تضبط كثافة السائل الإسمنتي لتحقيق هدفين رئيسيين :

- الحفاظ على البئر ، وذلك من خلال بقاء ضغط قاع البئر ضمن حدود محددة.
- إنقاص كلفة بناء البئر ، وذلك من خلال استخدام كمية قليلة من مسحوق الإسمنت اللازم لملء الفراغ الحلقي حتى ارتفاع محدد.

❖ **إضافات زيادة الكثافة(Density –raising additives, weighting agents):**

تستخدم هذه الإضافات لزيادة كثافة السائل الإسمنتي، وهي بشكل عام مواد خاملة كيميائياً ، لها وزن نوعي عالٍ ، ويمكن أن تحسن بشكل جيد مقاومة الانضغاط للحجر الإسمنتي. كما يمكن زيادة كثافة الملاط الإسمنتي باستخدام نسبة قليلة من الماء إلى الإسمنت(W/C) ، ولكن يمكن أن يكون لهذه العملية تأثيرات سيئة على خواص السائل الإسمنتي.

تستخدم إضافات زيادة الوزن بشكل رئيسي للسيطرة على الضغوط العالية في الآبار الحاوية على النفط والغاز أثناء الحفر.

إن المواد الأكثر شيوعاً والتي تستخدم لزيادة كثافة السائل الإسمنتي هي البارايت والهيماتيت ، وفي الجدول (2-1) نبين الخصائص الفيزيائية لبعض لهذه المواد.

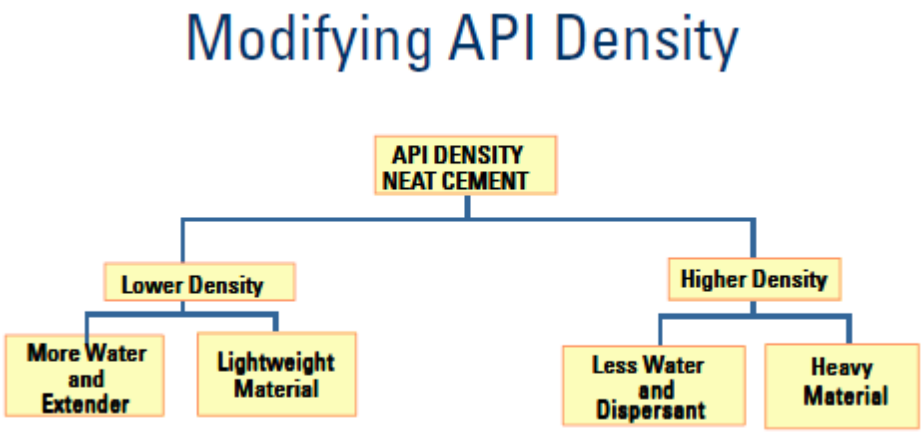
الجدول (2-1) الخصائص الفيزيائية لبض أنواع مثقلات الخلطات الإسمنتية

الرمز	المادة	الوزن النوعي	اللون	كمية الماء الإضافية اللازمة (gal / Lb)
D031	البارايت	4.33	أسود	0.024
D076	الهيماتيت	4.95	أحمر	0.0023

2-3-إضافات مقللة للكثافة(الباسطة):

(Density –reducing additives , extenders):

أو تدعى بالمواد المالئة . إن كثافة السائل الإسمنتي يمكن أن تنقص باستخدام مواد باسطة (extenders) ، أي إضافة مواد ذات وزن نوعي قليل (أقل من كثافة الإسمنت) , أو قليل جداً ، أي استخدام مواد كثافتها أقل بكثير من كثافة الإسمنت وتدعى مقللات غازية . ويمكن استخدام نسبة مرتفعة من الماء إلى الإسمنت (W/C) ، وهي الأكثر اقتصادية . ولكن استخدام نسبة مرتفعة من الماء إلى الإسمنت يمكن أن تؤدي إلى حدوث مشكلة انفصال الماء وتشكل الماء الحر كقنوات داخل بنية الإسمنت , أو باستخدام مواد تمتص الماء ، وبالتالي تسمح باستخدام نسبة مرتفعة من الماء إلى الإسمنت ، كما في الشكل (2-2).



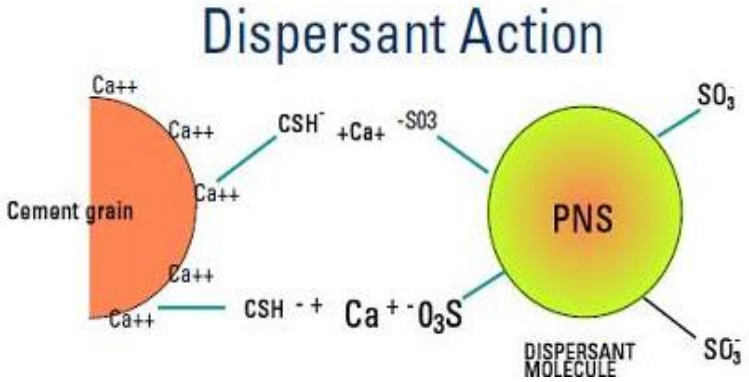
الشكل (2-2)- ضبط كثافة الخلطة الإسمنتية

2-4- المرققات(مقللات اللزوجة) أو مقللات الاحتكاك:

(Dispersants or friction reducers):

تضاف المرققات إلى السائل الإسمنتي لتحسين امكانية المزج عند كثافات أعلى من الكثافات المطلوبة حسب API وذلك من أجل جميع أنواع الإسمنت دون الحاجة لزيادة الماء. فالخلائط الإسمنتية تحتوي على تركيز عال من الاجزاء الصلبة اكثر من70%حجماً ، حيث يوجد تأثير الكتروستاتيكي تجاذبي بين طبقات C-S-H حول حبات الإسمنت ، والتي تعطي للسائل الإسمنتي لزوجة وثباتية. فالمرققات تساعد في إنقاص لزوجة السائل الإسمنتي و بذلك تسمح بحدوث جريان مضطرب عند معدلات الضخ الأقل, حيث تصبح الحاجة إلى سوائل إسمنتية بلزوجة قليلة أكثر أهمية في الآبار العميقة, الأقل قطراً و في الآبار ذات درجات حرارة عالية, كما أن استخدام المرققات تؤخر إماهة الإسمنت و تنقص خواصه الهلامية وتقلل من ضغط الاحتكاك كما تحسن من فعالية تأثير إضافات فاقد الرشح و تأثير مبطئات التصلب كما تحسن من الخواص الريولوجية للسائل الإسمنتي والتي تؤدي إلى تحقيق فعالية عظمى في إزاحة سائل الحفر.

إن آلية عمل المرققات والتي هي جزيئات مشحونة سلبياً تمتز على سطوح حبيبات الإسمنت المماهة المشحونة إيجابياً والتي تؤدي إلى إيقاف التفاعل بين الجزيئات ومع زيادة تركيز المرققات تزداد المواقع المشحونة سلبياً على سطوح حبيبات الإسمنت مما يؤدي إلى زيادة التنافر(repulsion) وعدم حدوث اندماج الحبيبات مع بعضها وبالتالي حدوث عملية التشتت للسائل الإسمنتي. وفي الشكل (2-3) نبين آلية عمل المرققات .



الشكل (2-3)ألية عمل المرققات

والمرققات هي حموض عضوية, وبشكل خاص بولي سلفونات, مثل بولي ميلامين سلفونات (PMS)D145A, بولي نفتالين سلفونات الصوديوم (PNS)D065,D080. كما يعتبر استخدام المرققات مع البوليميرات المتعددة السكريات المعدلة من المرققات الأكثر شيوعاً .

2-5- مسرعات التصلب (Accelerators) :

تضاف مسرعات التصلب لتقليل زمن التثخن للسائل الإسمنتي ،وتسرع نمو المقاومة المبكرة وهي تستخدم في المواضع التي تكون فيها درجات الحرارة قليلة (تستخدم المسرعات بشكل أولي في الآبار التي تكون فيها درجة حرارة قاع البئر أقل من (49 °C) 120 °F و هذا يفترض الحصول على مقاومة انضغاط 500 PSI في زمن قصير) ، والتي يمكن أن تؤدي إلى زمن انتظار كبير جداً لتصلب الإسمنت, وهي غالبا تستخدم للتعويض عن تأثير إعاقة (تأخير) عملية الإماهة للإضافات الأخرى.

والمسرعات هي عادةً أملاح غير عضوية ، وتكون فعاليتها وفقا للسلسلة الآتية :

$Ca^{++} > Mg^{++} > Li^{+} > Na^{+} > H2O$; $OH^{-} > Cl^{-} > Br^{-} > NO3^{-} > SO4^{--} > = H2O$ (1-2)

يعتبر كلور الكالسيوم ($CaCl_2$ – صلب) من المسرعات السائدة الاستعمال في الصناعة النفطية، حيث يستخدم بتركيز (0-5 % BWOW) أوبتركيز(2-4 % BWOC) ، وهو تفاعل ناشر للحرارة . فعند إضافته للماء ترتفع درجة حرارة الماء بمقدارF^0 10-20. كما يستخدم كلور الكالسيوم بشكله السائل بتركيز 0.2-0.4 gal/sk D077($CaCl_2$) ، ونادراً ما يستخدم لأسباب اقتصادية ، كما أن استخدامه بتركيز أكبر من 5% لا يمكن التنبؤ بتأثيره .

أيضا يعتبر(NaCl))D044 من المسرعات الشائعة الإستخدام بتركيز حتى 10 % BWOW وعند استخدامه بتركيز 10-18 % لا يظهر له تأثير على زمن تثخين السائل الإسمنتي، أما عند استخدامه بتركيز أكبر من 18% فإنه سوف يبطئ تصلب السائل الإسمنتي .إن التركيز المثالي لكلور الصوديوم والذي يستخدم كمسرع يتراوح بين 3-5%BWOW . ويمكن أن يستخدم ماء البحر كمسرع

للتصلب حيث يحتوي على كلور الصوديوم (25g/L) وكلور المغنيزيوم(1.5gL±) وعلى كلوريدات أخرى ، ولكن يجب أن يختبر قبل استخدامه.

تعتبر أملاح المغنيزيوم و كبريتات الألمنيوم من المسرعات الفعالة جداً. من جهة أخرى فإن التأثيرات التكستروبية (Thixotropic) لأملاح المغنيزيوم وكبريتات الألمنيوم تجعلها أقل استخداما، حيث أنها تؤثر بشكل عكسي على عملية الإزاحة وتعطي كثافة عالية غير مقبولة .

2-6- مبطئات (مؤخرات) تصلب الإسمنت (Retarders):

تستخدم المبطئات لتحقيق تأثير معاكس للمسرعات, أي زيادة زمن التثخن للسائل الإسمنتي، وذلك عند سمنتة مواسير التغليف للمراحل الوسطية والإنتاجية, وفي عمليات السمنتة تحت الضغط, وإنشاء السدادات الإسمنتية، وفي الآبار ذات الضغط ودرجة الحرارة الكبيرة ، والتي تحتاج إلى زمن ضخ كبير وذلك لتمكين السائل الإسمنتي من الارتفاع إلى المكان المقرر في البئر قبل بدء التصلب .

إن معظم مؤخرات التصلب الأكثر شيوعا والأكثر فعالية هي حموض عضوية , أملاح أو بوليميرات مع حموض ليغنوسلفونات الصوديوم والكالسيوم، وذلك عند استخدامها بتراكيز(0.1-1.5%BWOC) . وفي الشكل(2-9) نبين تأثير المبطئات على الإسمنت.

كما تعتبر المشتقات السيللوزية(Cellulose derivatives) مثل كربوكسي ميتيل هيدروكسي إيتيل السيللوز (CMHEC) من المبطئات الأكثر شيوعا; الفوسفونات العضوية(organophosphonates) مثل حمض ألكيلنالفوسفونيك وكلور الصوديوم NaCl بتركيز أكبر من(18%BOWO).

2-7- الإضافات المنظمة لفاقد الرشح (Fluid loss control additives):

عند توضع السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي مقابل طبقة نفوذة، ونتيجةً لتأثير الضغط تحدث عملية الفلترة، حيث يدخل الطور المائي للسائل الإسمنتي ضمن الطبقة، تاركاً وراءه جزيئات الإسمنت التي تترسب على سطح الطبقة، تعرف هذه العملية بفاقد الرشح.

إن الإضافات المنظمة لفاقد الرشح تستخدم للحفاظ على نسبة ثابتة للماء إلى الجزء الصلب في السائل الإسمنتي

إن معظم الإضافات المنظمة لفاقد الرشح هي بوليميرات تذوب في الماء

2-8-إضافات الماء الحر و ترسب الجزيئات (Free water & particles settling):

يعتبر عدم تجانس عمود الإسمنت (Non homogeneous cement column) خلف مواسير التغليف أمرا غير مقبول ,و بخاصة عندما يكون جدار البئر أفقيا أو ذا درجة انحراف كبيرة, حيث أنه وفي بعض الحالات ولأن الخواص العازلة للحجر الإسمنتي ومتانته يمكن أن تتعرض لخطورة شديدة , نستخدام إضافات منع الترسب (Anti settling agents) و ذلك كي تعطينا لزوجة كافية للحفاظ على تماسكية السائل الإسمنتي (slurry consistency),كما أن إضافات منع الترسب تؤدي إلى إنقاص الماء الحر, ترسب الجزيئات وليس لها أي تأثير على خواص الخليطة الإسمنتية باستثناء الخواص الريولوجية والتي تستخدم حتى درجة حرارة $300F^0$. يعتبر البنتونايت و المشتقات السيللوزية (HEC) من الإضافات الشائعة الإستخدام لترميم هذه اللزوجة و من المهم أن يتم اختبار هذه الظاهرة في الآبار

الأفقية و المائلة كما يستخدم عامل منع الترسب D135 بتركيز(0.1-1.5%BWOC) ومواد منع ترسب سائلة D162 (0.005-0.025 gal/sk)

2-9-إضافات معالجة التهريب (Lost circulation Control additives):

إن فقدان الدوران (Lost circulation) هو الضياع الكلي لمزيج سائل / صلب (Fluid/ solid mixture) خلال حفر الآبار في الطبقات النفوذة , الطبقات المتشققة و المتكهفة (, Permeable fractured & cavernous formation). و لإعادة الدوران أو لإنقاص فرص حدوث ضياعات خلال عملية السمنتة تضاف مواد معالجة التهريب (LCM) و هذه الموادتضاف بشكل فردي أو كجزء من السائل الإسمنتي.

إن المواد التي تضاف لمعالجة تهريب السائل الإسمنتي هي مواد خاملة تغلق الطبقات ذات النفوذية العالية، أو تشكل جسراً في الطبقات المتشققة، وهذه المواد تضاف على شكل حبيبات أو على شكل رقائق أو على شكل ألياف.

2-10-4-إضافات مانع الرغوة (Anti Foam additives):

تؤدي الطاقة العالية للمزج أثناء تحضير السائل الإسمنتي إلى دخول كمية من الهواء إلى السائل الإسمنتي ، وهذا يمكن أن يؤثر على قياس كثافة السائل الإسمنتي،

يعتبر الغليكول بولي بروبلين من المواد الفعالة لمنع تشكل الرغوة (defoamer)، حيث يضاف بنسبة BWOW 0.05-0.1% وهي الأكثر شيوعا، وتضاف إلى ماء المزج قبل عملية المزج, كما يستخدم بولي غليكول إيتر: بشكله الصلب D046(0.20 Lb/sk), وشكله السائلD047(0.05-0.07 gal/sk . كذلك يستخدم نوعان من السيليكون بشكله السائلD175(0.01-0.05gal/sk), M45(0.05gal/sk) ، حيث يستخدم (D046,D047,M45) لمنع تشكل الرغوة قبل حدوثها، أما النوع (D175) فيستخدم لإزالة الرغوة بعد حدوثها

تدعيم الآبار

Well construction

3-1- تغليف الآبار(Casing job):

تعتبر عمليات تدعيم الآبار (التغليف والسمنتة) من أهم العمليات التي تهدف الى زيادة عمر البئر. وتأتي أهمية التدعيم كونها تمثل المرحلة الأساسية في بناء أو إنجاز البئر, كونها تمثل المرحلة النهائية للحفر، والقاعدة التي تبدأ منها مرحلة الإنتاج، وكلما كانت أكثر إيجابيةً وأقل كلفةً كانت أكثر نجاحاً.

3-1-1-وظائف مواسير التغليف (functions of casing) [7]:

تعتبر مواسير التغليف الجزء البنائي الرئيسي للآبار، وهي مواسير(أنابيب) أسطوانية ذات قطر كبير، تصنع من خلائط من الفولاذ، تنزّل في البئر المفتوح، وتسمنت في مكانها. ومع زيادة عمق البئر من الضروري تغليف جدران البئر بمجموعة متداخلة (تلسكوبية) من الأنابيب المعدنية، اتفق على تسميتها مجموعة مواسير التغليف.

تشكل كلفة مواسير التغليف جزءاً لا بأس به من الكلفة الإجمالية للبئر، حيث تشكل حوالي 20% من الكلفة الإجمالية للبئر، لذلك فإن اختيار قطرها ونوعها وعمق إنزالها هي من الاعتبارات الهندسية والاقتصادية الهامة جداً. ويمكن تلخيص الوظائف الهامة لمواسير التغليف كما يلي:

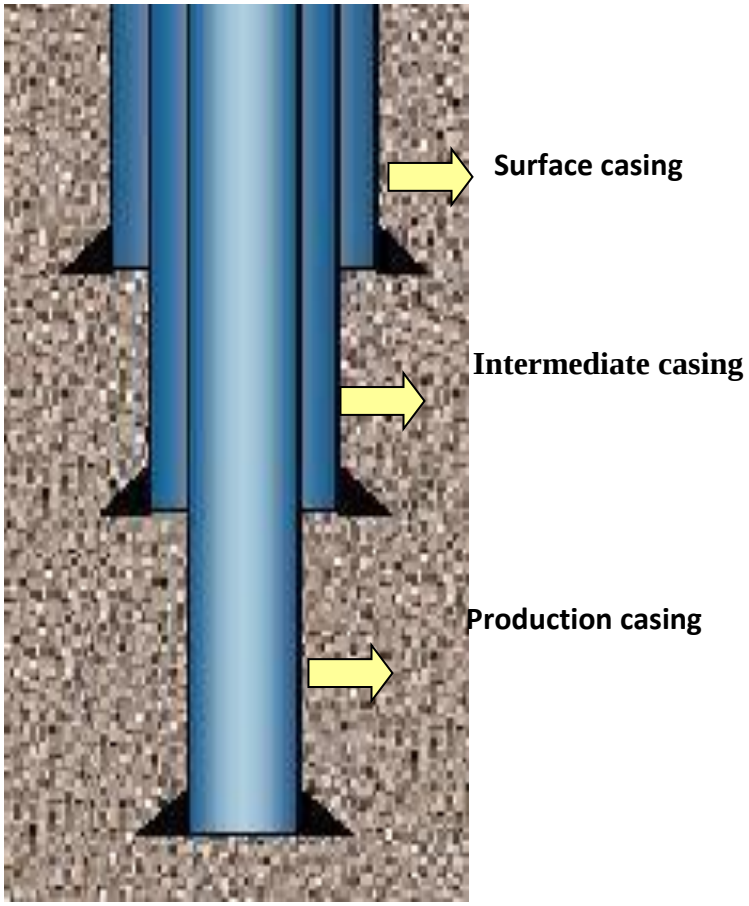
1- الحفاظ على ثبوتية جدران البئر, أي تؤمن دعم الطبقات الضعيفة والمتشققة، ومنع تكهف جدران البئر خلال عمليات الحفر.
2- عزل الطبقات المسامية التي تحتوي على موائع طبقية ذات خواص فيزيائية مختلفة، وتتواجد ضمن شروط طبقية مختلفة . وينجز ذلك من خلال العمل المشترك لعمليات التغليف والسمنتة.
3- منع تلوث الطبقات القريبة من السطح والحاملة للمياه العذبة.
4- تشكل قناةً لمرور السوائل الهيدروكربونية، حيث أن معظم عمليات الإنتاج تتم من خلال مواسير الإنتاج التي تنزل داخل مواسير التغليف.
5- تؤمن التحكم بالآبار كونها تشكل قاعدة متينة ومحكمة لتثبيت المعدات المختلفة (كأجهزة منع الانفجارBOPs التي تجهز بها فوهة البئر أثناء الحفر)، أو كشجرة الميلاد ومواسير الإنتاج أثناء الإنتاج.
6- تؤمن بئراً بقطر وعمق مناسبين يمكّنا من إنزال أجهزة الاختبار وتجهيزات الإنهاء للآبار.

3-1-2- أنواع مواسير التغليف Typesof casing] :

في الواقع فإن حفر بئر بقطر واحد من السطح وحتى العمق النهائي للبئر يؤمن إنجاز بئر بأقل كلفة، ولكن من جهة أخرى فإن وجود طبقات ذات ضغوط طبقية مختلفة، وعلى أعماق مختلفة على طول البئر، بالإضافة إلى وجود طبقات ضعيفة أو طبقات غير متماسكة أو طبقات من الشيل التي

تؤدي إلى تهدم جدران البئر، كل ذلك يتطلب إنزال مواسير تغليف لعزل تلك الطبقات التي تؤدي إلى مشاكل كثيرة، ولتسمح بالحفر للوصول إلى العمق النهائي للبئر (TD).

تصنف مواسير التغليف اعتمادا على الوظائف الاساسية لمجموعة مواسير التغليف، والتي تستخدم بشكل متكرر على الشكل التالي.



✓ **مواسير التغليف الموجهة (الدليلة)(pipeConductorpipe or drive) :**

تنزل مواسير التغليف الموجهة من السطح إلى عمق قليل، وذلك لحماية الطبقات غير المتماسكة القريبة من السطح، وعزل الطبقات الحاملة للمياه العذبة من التأثّر بسائل الحفر، كما تؤمن عودة سائل الحفر من البئر إلى خزانات سائل الحفر.

يتراوح عمق إنزال مواسير التغليف الموجهة من 100–400 ft ، أما قطرها الذي يستخدم في الشرق الأوسط فهو ("5/8 18 أو "20)، أما في بحر الشمال فإن قطرها يكون عادة "26 أو"30 . تسمنت مواسير التغليف الدليلة إلى السطح، وتستخدم لدعم مجموعة مواسير التغليف للمراحل اللاحقة وتجهيزات رأس البئر، وتقص عند السطح بعد إنزال مواسير التغليف السطحية .

تستخدم في عمليات الحفر البحري مواسير التغليف الموجهة، والتي تدعى الموجه البحري (stovepipe or marine conductor) ، وهي الدعامة الأساسية في عمليات الحفر البحري، وهذه المواسير لا تتحمل أي وزن من تجهيزات رأس البئر، ويتراوح قطرها النموذجي("26–"42).

✓ **مواسير التغليف السطحية (Surface casing):**

تعتبر مواسير التغليف السطحية المجموعة الأولى التي تنزل بشكل إلزامي في البئر، والتي يجب أن تدعمّ بشكل جيد(تسمنت بكاملها)، وهي تشكل الركيزة الأساسية في بناء البئر، ويجب أن تحقق الوظائف الآتية :

1- منع تكهف الطبقات الضعيفة التي يمكن أن تصادف عند الأعماق الضحلة. وهذه المواسير يجب أن تثبت في طبقة قاسية (مثل الحجر الكلسي القاسي) ، وهذا يحمي الطبقات المتواجدة عند حذاء مواسير التغليف من التتشقق عند الضعوط الهيدروستاتيكية العالية التي تصادف أثناء الحفر.

2- عزل الطبقات السطحية غير المتماسكة، والطبقات التي تؤدي لتهريب (تسرب) سوائل الحفر

3- حماية الطبقات السطحية الحاملة للمياه العذبة ومنع تلوثها بسائل الحفر.

4- تشكل قاعدة لتثبيت أجهزة منع الإنفجار على فوهة البئر

5- تؤمن إجراء اختبار منع التسرب (Leak-off test.).

إن عمق إنزال مواسير التغليف السطحية يتغير بشكل كبير، ويحدد بحيث تنزل قبل الوصول إلى أي طبقة خازنة للمركبات الهيدروكربونية. ويتراوح عمق إنزالها من 200 قدم إلى عدة ألاف من الأقدام . أما قطرها فيتراوح عادة من ("20 – "5/8 8) . ولكن القطر النموذجي لهذه المواسير ("3/8 13) في الشرق الأوسط، أما في بحر الشمال("5/8 18 or "20) .

إن القسم من رأس البئر عند النهاية العلوية لمجموعة مواسير التغليف السطحية يدعى رأس مواسير التغليف (casing head)، التي تربط بشرار (screwed)، أو تلحم (welded) على مواسير التغليف السابقة.

✓ **مواسير التغليف الوسطية(intermediate or protective casing):**

تنزل مواسير التغليف الوسطية (وتعرف أيضا بمواسير الحماية) إلى بداية أو نهاية الطبقات ذات الضغوط الطبقية العالية، وذلك لحماية مواسير التغليف للمرحلة السطحية من التعرض للضغوط الطبقية المرتفعة أثناء حفر الطبقات الحاوية على النفط والغاز، أو لعزل الطبقات التي تؤدي إلى تهريب شديد لسائل الحفر، أو تلك الطبقات التي تتأثر بشدة بسائل الحفر(الطبقات الملحية , طبقات الشيل).أي أن الهدف من إنزالها هو السماح بتعميق البئر، وذلك بعزل كل الطبقات الضعيفة، التي يمكن إما أن تسبب تكهفاً لجدران البئر، أو تسبب تسرباً لسائل الحفر. يتراوح عادة عمق إنزال مواسير التغليف الوسطية من(3000-8000 ft) ، أما قطرها فيتراوح بين ("3/8 13-"5/8 7). ولكن معظم الأقطار الشائعة لهذه المواسير هي ("3/8 13 or "5/8 9) .

يدعى القسم من رأس البئر عند النهاية العلوية لمجموعة مواسير التغليف الوسطية (casing spool).

✓ **مواسير التغليف الإنتاجية (production casing)** :

وهي المجموعة النهائية (الأخيرة) من مجموعة مواسير التغليف، والتي تنزل عادة حتى نهاية الطبقة المنتجة، ويمكن أن تنزل إلى بداية الطبقة المنتجة. وتنزل هذه المرحلة لعزل كل الطبقات الأخرى عن الطبقة المنتجة، كما تؤمن التحكم بالضغط داخل البئر أثناء إنتاج الموائع الطبقية، وتمكن من الاستثمار الانتقائي (المنفصل) للمجالات الخازنة للموائع الطبقية، وإجراء عمليات تحسين نفوذية المناطق المجاورة للبئر (تحميض , تشقيق هيدروليكي).

تتراوح أقطار مواسير التغليف الإنتاجية بين("7- "4 1/2)، ولكن القطر الأكثر استخداما" هو القطر " 7 .

إن القسم من رأس البئر(wellhead) عند النهاية العلوية لمجموعة مواسير التغليف الإنتاجية يدعى رأس مواسير الإنتاج (tubing head).

✓ **مواسير التغليف الضائعة (liner):**

وهي مجموعة مواسير التغليف التي لاتصل إلى السطح (طولها أقل من عمق البئر). ويتم تعليق مواسير التغليف الضائعة بواسطة أجهزة تعليق (liner hanger) (باكر وسليبس) مناسبة داخل مواسير التغليف للمرحلة السابقة.

❖ **أنواع اللاينر (Types of liners) شكل(3-2) :**

تصنف مواسير التغليف الضائعة (**liner**) إلى الأنواع الآتية:

- لاينر الحفر (drilling liners): ويستخدم لعزل الطبقات التي تؤدي لتسرب سوائل الحفر، أو الطبقات ذات الضغوط الطبقية الشاذة لتأمين استمرار الحفر(تعميق البئر)، وذلك للوصول إلى العمق النهائي للبئر.
- لاينر الإنتاج (production liners): وينزل بدلاً من إنزال مواسير التغليف بشكل كامل (full casing)، وذلك لعزل الطبقات المنتجة، أو يستخدم في عمليات الحقن.
- لاينر من نوع (tie-back-liner): وهو القسم من مواسير التغليف الذي تتم إطالته من قمة اللاينر حتى السطح، ويمكن أن تتم سمنتته كما يمكن أن لا يسمنت.
- لاينر من نوع (The scab liner): وهو الجزء من مواسير التغليف الذي لا يصل إلى السطح، ويستخدم لإصلاح الضررالموجود في مواسير التغليف. وهو ادة يعزل بعوازل (بواكر) من الأعلى والأسفل، وفي بعض الحالات يمكن أن يسمنت.
- لاينر من نوع (The scab tie-back liner)): وهو القسم من مواسير التغليف الذي تتم إطالته ولكن لايصل إلى السطح وهو عادة يسمنت.

❖ **محاسن اللاينر (Advantages of liner) :**

تتميز مواسير التغليف الضائغة من نوع لاينر الإنتاج (production liners) بالآتي:

1. كلفتها القليلة قياسا" مع المواسير الكاملة، لأن كمية المواسير المستخدمة أقل وزنا"، كما أن زمن إنزال مواسير التغليف وزمن السمنتة يكون قليلا".

2. يسمح بإنهاء البئر باستخدام أقطار مثالية لمواسير الإنتاج .

وهناك محاسن أخرى **للاينر** :

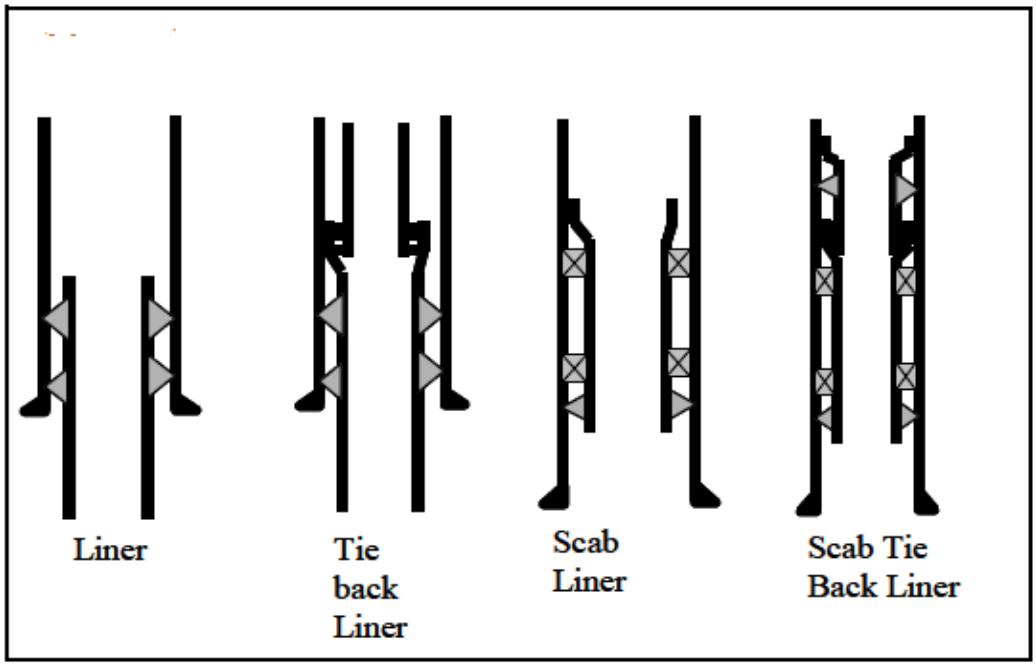
1- إنهاء البئر بأقل وزن على رأس البئر وعلى مواسير التغليف السطحية.

2- يسمح بالحفر باستخدام مجموعة مواسير حفر غير متجانسة .

3- -يؤمن عملية سمنتة جيدة (heavy wall cemented) خلال سمنتة الطبقات الملحية، وذلك عند استخدام **لاينر** من نوع (The scab tie-back liner) .

سيئات(عيوب) اللاينر (The disadvantages of a liner) :

1. إمكانية حدوث تسرب(Leak) للموائع عبر مثبت اللاينر (liner hanger).
2. صعوبة الحصول على سمنتة أولية جيدة، وذلك بسبب الفراغ الحلقي الصغير بين اللاينر وجدران البئر.



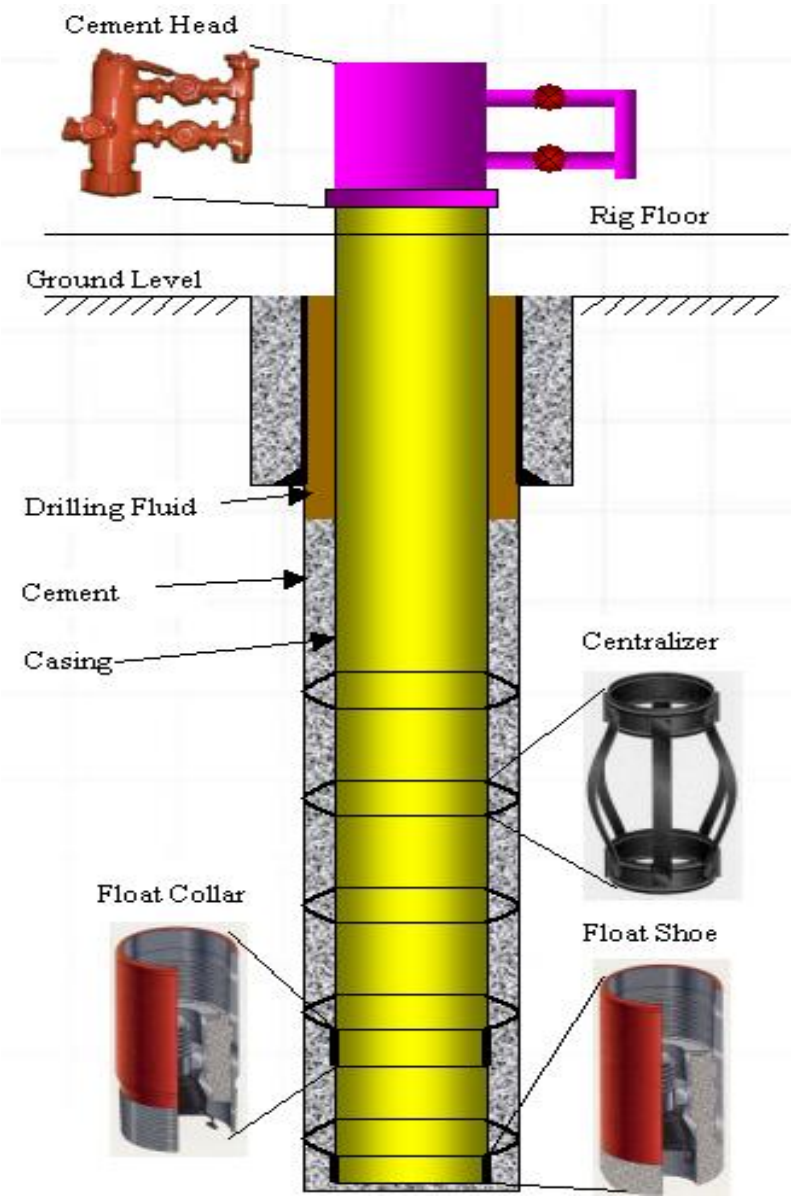
الشكل (3-2): أنواع اللاينر.

3-1-3- متممات مواسير التغليف (Casing accessories) [2,11]:

وهي التجهيزات الميكانيكية التي تتطلبها سمنتة مواسير التغليف. وتتألف من الأجزاء الآتية، الشكل (3-3):

1. حذاء التوجيه (Guide Shoes)
2. حلقة الصد (Float collars)
3. الفواصل الإسمنتية (Cement plug) أو سدادات المسح (wiper plug)
4. وصلة المرحلتين (Two stage collar OR DV toll).

5. الخادشات والممركزات (Scratchers & centralizers)



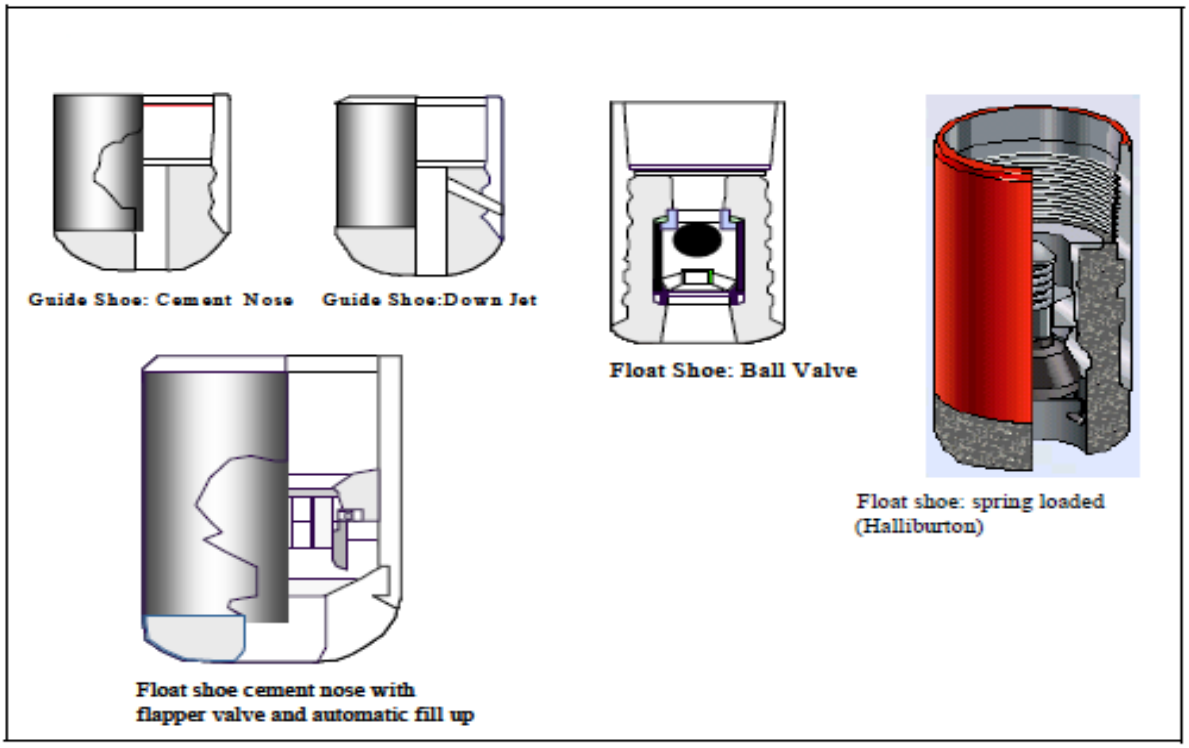
الشكل (3-3): متممات مواسير التغليف.

حذاء التوجيه (Guide Shoes) :

يصنع حذاء التوجيه من الإسمنت لسهولة طحنه أثناء متابعة الحفر خلال المواسير. أما جسمه فهو عبارة عن ماسورة معدنية بقطر يساوي قطر مواسير التغليف نفسها، وبسماكة جدار تتراوح من (0.6 "-1")

يستخدم حذاء التوجيه (يركب في الجزء السفلي لمواسير التغليف) لتأمين إنزال(لتوجيه) مواسير التغليف في البئر، وذلك لمنع اصطدامها بشكل حاد مع البئر، أو مع السطح الداخلي لمواسير التغليف للمرحلة السابقة. يستخدم نوعان من أحذية التوجيه، أحدهما بسيط والثاني مركب الذي يحتوي على صمام كروي أو قلابي ، شكل(3-4) ، وفي هذه الحالة يدعى الحذاء العائم Float shoe ، حيث يستخدم لمنع

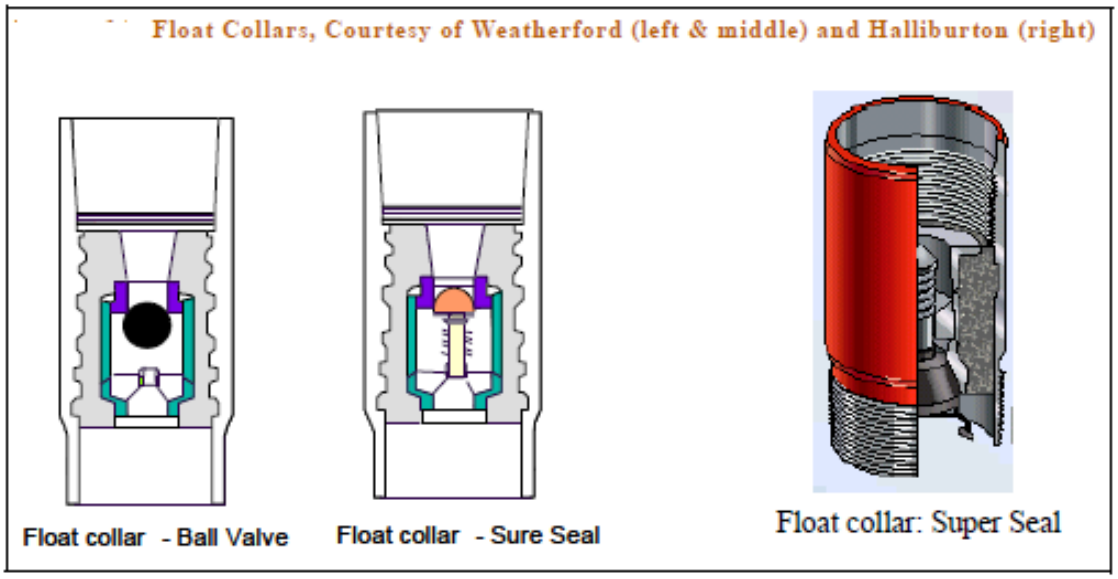
الإسمنت من العودة إلى داخل مواسير التغليف بعد إزاحته إلى الفراغ الحلقي خلف مواسير التغليف، كما يمنع دخول سائل الحفر أو السوائل الأخرى الموجودة في البئر إلى داخل المواسير عند إنزالها في البئر ، والذي يؤدي إلى تناقص قوى الشد (الذي تتعرض له أجهزة الرفع والإنزال)، والناتجة عن ثقل المواسير بسبب عامل الطفو. ولكن من عيوب استخدام الحذاء العائم هو الزيادة في الزمن اللازم لإنزال مواسير التغليف (RIH) نتيجة التوقف المتكرر عن الإنزال عند تعبئة مواسير التغليف من قبل المضخات. ولكن يمكن التغلب على هذه المشكلة، وذلك باستخدام أحذية مواسير تغليف ذاتية التعبئة (shoe(Automatic fill– up) ، شكل(3–4) ، والتي تسمح بدخول كميات من سائل الحفر الموجود في البئر إلى داخل مواسير التغليف عند ارتفاع الضغط داخل البئر.



الشكل (3–4): أنواع أحذية التوجيه لمواسير التغليف

حلقة الصد (Float collars) :

تصنع حلقة الصد من مواد قابلة الطحن (الألمنيوم , حديد الزهر) وذلك لسهولة طحنها أثناء متابعة الحفر من خلالها. وتوضع حلقة الصد داخل وصلة مزودة بصمام (كروي أوقلابي) وحيد الاتجاه (valve one way) على بعد ماسورة أو ماسورتين عن حذاء مواسير التغليف. وتؤمن حلقة الصد نفس الوظائف التي يؤمنها حذاء التوجيه العائم، بالإضافة إلى وظيفة إيقاف الفواصل الإسمنتية التي تفصل بين السائل الإسمنتي الذي يضخ داخل المواسير وسائل الحفر، الموجود قبل البدء بعملية السمنتة من جهة، وبين السائل الإسمنتي وسائل الإزاحة من جهة أخرى. تدعى المسافة بين حذاء مواسير التغليف وحلقة الصد بمسار الحذاء (shoe track)، والتي تحافظ على كمية الإسمنت الملوثة (نتيجة اختلاطها مع سائل الإزاحة) المتبقية داخل مواسير التغليف. وفي الشكل (3–5) نبين أنواع حلقات الصد المستخدمة أثناء عملية السمنتة.



الشكل (3-5)نبين أنواع حلقات الصد المستخدمة أثناء عملية السمنتة.

الفواصل الإسمنتية (Cement plug أو سدادات المسحwiper plug) :

تستخدم الفواصل الإسمنتية – والتي تنزل داخل مواسير التغليف أمام وخلف السائل الإسمنتي- للتقليل من تلوث السائل الإسمنتي بسائل الحفر. تصنع الفواصل الإسمنتية من الألمنيوم المسبوك مع جسم خارجي من المطاط ، وذلك لسهولة الطحن. يصنّع المطاط على شكل زعانف، كي يكون بإمكان الفاصل إزالة الطبقة الرقيقة (film) من سائل الحفر أو السائل الإسمنتي عن السطح الداخلي لمواسير التغليف.

تصنف الفواصل الإسمنتية إلى فاصل إسمنتي سفلي (القاعي، الأول) وفاصل إسمنت علوي(الثاني)(bottom &top plug) ، الشكل (3-6). يستخدم الفاصل الإسمنتي السفلي، الذي ينزل قبل ضخ السائل الإسمنتي لفصل سائل الحفر عن السائل الإسمنتي . لقد تم تصميم الفاصل الإسمنتي السفلي بفتحة مركزية (مجوف من الداخل) مغطاة بغشاء رقيق(diaphragm) من المطاط أو البلاستيك، الذي يتمزق عند تعرضه للضغط، نتيجة استمرار ضخ السائل الإسمنتي، وذلك بعد استناده على حلقة الصد، ليسمح للسائل الإسمنتي بالمرور خلاله، وتوضعه خلف مواسير التغليف. أما الفاصل الإسمنتي العلوي أو سدادة الإزاحة (seal off plug) (وهو من النوع الأصم) الذي يفصل بين السائل الإسمنتي الذي تم ضخه داخل مواسير التغليف، وسائل الإزاحة الذي يضخ بعده ، وعند وصوله إلى حلقة الصد تحدث زيادة مفاجئة في ضغط الضخ على السطح . عادة يستمر بتطبيق ضغط كاف على الفاصل الإسمنتي العلوي ويرفع هذا الضغط فقط في حالة عدم وجود جريان عكسي للسائل الإسمنتي (أي من الفراغ الحلقي إلى داخل مواسير التغليف). أما في حالة وجود جريان عكسي فتتم المحافظة على الضغط داخل مواسير التغليف إلى حين وصول المتانة الانضغاطية للحجر الإسمنتي إلى Psi5000. وفي الشكل(3-6) نبين أنواع الفواصل الإسمنتية.





الشكل (3-6): أنواع الفواصل الإسمنتية

وصلة المرحلتين (Two stage collar OR DV toll) :

تستخدم وصلة المرحلتين عند سمنتة مواسير التغليف التي تنزل إلى أعماق كبيرة، وذلك لمنع تعرض الطبقات الضعيفة لضغوط هيدروستاتيكية كبيرة، والناتجة عن الارتفاع الكبير لعمود السائل الإسمنتي.

تصنع وصلة المرحلتين من نفس المعدن الذي تصنع منه مواسير التغليف، وتجهز بلوحتين داخليتين أو بمسندين Two sleeves : مسند علوي ومسند سفلي (an upper sleeve& a lower sleeve) يثبتان داخل الوصلة عن طريق مسمار أمان(shear pins) أو مسمار تثبيت اللوحتين، كما تجهز الوصلة أيضا"بفتحات أو ثقوب على سطحها، حيث تكون هذه الثقوب مغطاة (مغلقة في البداية عند إنزالها) بالمسند السفلي، والتي تفتح باستخدام فاصل الفتح (opening bomb)، ثم تغلق هذه الثقوب مرة ثانية بإنزال فاصل الإغلاق (closing plug)، الذي يدفع أمامه المسند العلوي لتحقيق وضعية الإغلاق (closing position). وفي الشكل(3-8) نبين الوصلة الإسمنتية مع فواصل الفتح والإغلاق.



الشكل(3-8): الوصلة الإسمنتية مع فواصل الفتح والإغلاق .

الخادشات والممركزات (Scratchers&centralizers) :

كما هو معروف، فإن إحدى وظائف سائل الحفر هي بناء جدار البئر عن طريق تكوين كعكة الحفر على جدران البئر. ولكن من جهة أخرى فإن هذه الكعكة تمنع التصاق السائل الإسمنتي مع جدار البئر، الأمر الذي يؤدي إلى عملية سمنتة ذات نوعية سيئة .

تستخدم الخادشات (المنظفات) في تنظيف جدران البئر من كعكة الحفر، قبل وخلال عملية السمنتة، وذلك عن طريق الحت (abrasion)، الناتج عن تدوير مواسير التغليف عند استخدام خادشات دورا نية (Rotating scrathers)، أو عن طريق الحركة الترددية لمواسير التغليف عند استخدام خادشات ترددية (Reciprocating scrathers).

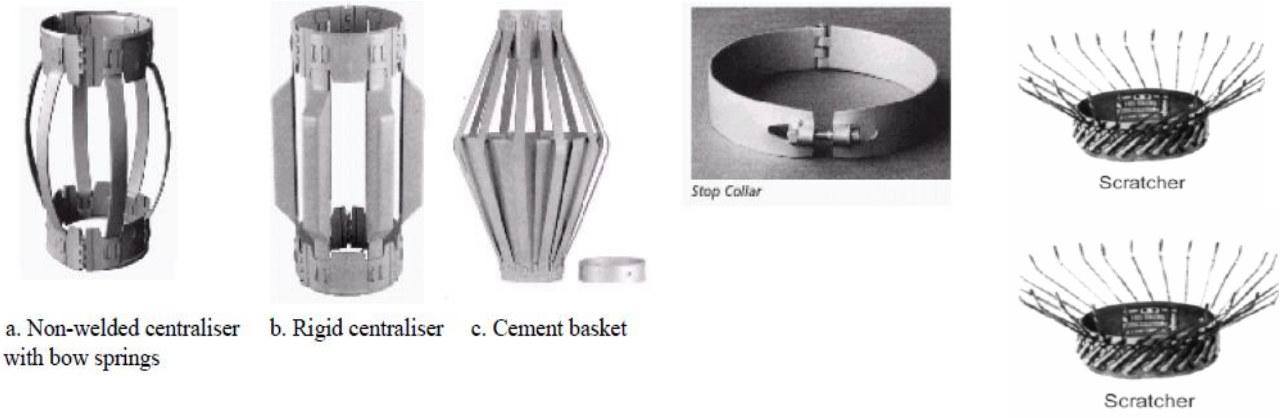
إن نزع كعكة سائل الحفر يؤدي إلى ترابط أفضل بين الحجر الإسمنتي وجدران البئر، ويبعد احتمال تكون قنوات في السائل الإسمنتي أثناء عملية الإزاحة، حيث اتضح من التجارب الحقلية أنه بالإمكان تجنب تكون هذه القنوات باستعمال الخادشات والممركزات المصحوبة بحركة ترددية (صعودا"ونزولا") لمواسير التغليف أثناء عملية السمنتة.

توضع الخادشات حول مواسير التغليف (على القطر الخارجي لمواسير التغليف) بأعداد تتعلق بظروف البئر(لا يجوز استخدامها دون وجود ممركزات).

بينت التجارب الحقلية أن إزاحة سائل الحفر تتحسن بشكل كبير عند تمركز مواسير التغليف داخل البئر، حيث أن عدم مركزة مواسير التغليف ستسمح للسائل الإسمنتي بالمرور خلال سائل الحفر، تاركا" قنوات غير مسمنتة حول مواسير التغليف. فالممركزات هي أدوات تستخدم لإبعاد مواسير التغليف عن جدران البئر، وبذلك تسمح بالحصول على حجر إسمنتي بسماكة متجانسة" حول مواسير التغليف، كما تسمح بتوزيع متساو للضغط الهيدروستاتيكي في الفراغ الحلقي، وبذلك تمنع احتمال استعصاء مواسير

التغليف بسبب فرق الضغط الناتج عن الفرق بين ضغط عمود سائل الحفر في البئر وضغط الموائع في الطبقة (استعصاء تفاضلي).

يختلف عدد الممركزات التي يجب استخدامها تبعا" لدرجة ميل البئر، وطول المجال الذي يجب سمنتته. يتم تحديد حركة القاشطات والممركزات أثناء تنزيل مواسير التغليف أو أثناء حركتها صعودا" ونزولا" من خلال أطواق أو حلقات التوقف (Stop collars OR ring). وفي الشكل (3-9) نبين الممركزات والخادشات وأطواق أو حلقات التوقف، حيث تساعد هذه الحلقات على عدم نزع كعكة سائل الحفر عن جدران البئر أثناء تنزيل مواسير التغليف بواسطة الخادشات المثبتة عليها.



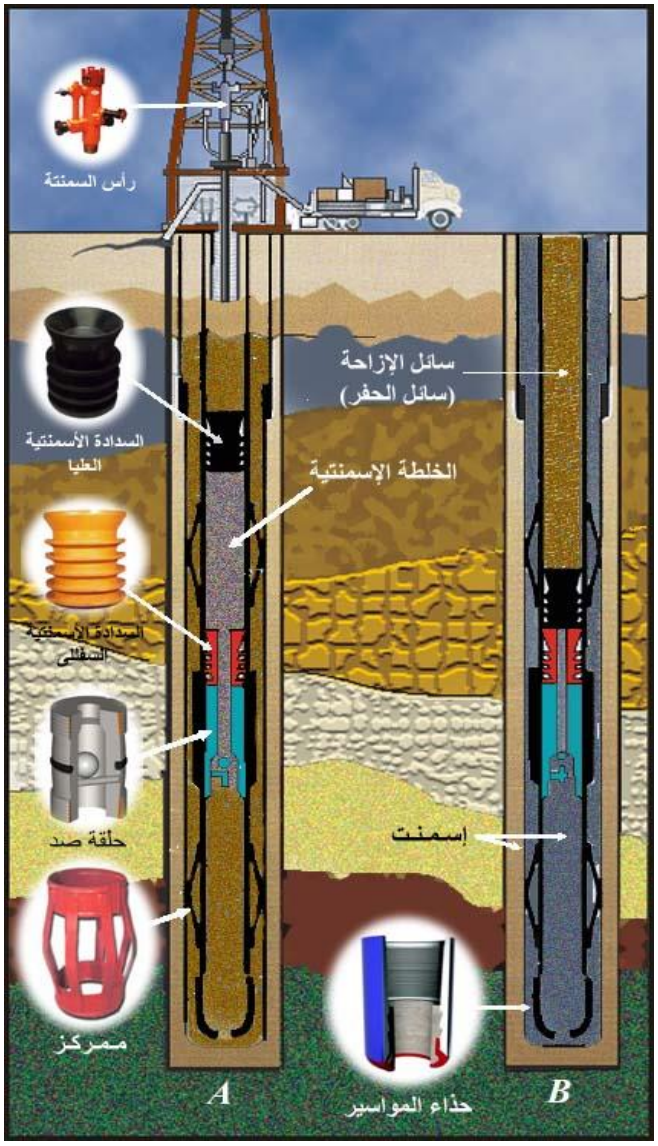
a. Non-welded centraliser with bow springs b. Rigid centraliser c. Cement basket

شكل (3-9) أطواق و حلقات توقف

3-2- سمنتة آبار النفط: (*Oil well cementing*)

السمنتة هي عملية مزج السائل الإسمنتي (مسحوق الإسمنت ,الماء ,الإضافات) وضخه داخل مواسير التغليف، حيث يدفع بواسطة سائل الإزاحة (*Displacement fluid*) ليصل إلى الفراغ الحلقي بين القطر الخارجي لمواسير التغليف وجدار البئر، والذي يتصلب بعد فترة قصيرة من الزمن(set *shorting*)، ليشكل كتلة صلبة (*solid mass*) أو حجراً إسمنتياً (*set cement*) خلف هذه المواسير، مهمتها تدعيم جدران البئر وعزل الطبقات عن بعضها.

والشكل (3-10) يبين رسماً تخطيطياً لعملية سمنتة آبار النفط .



الشكل (3-1) عملية السمنتة

3-2-1- أهداف السمنتة (*purposesforcementing*)[6] :

تنفذ عملية السمنتة (*cementing jobs*) في أبار النفط والغاز لعدة أسباب هي :

- تدعيم مواسير التغليف (*casing support*) من خلال تحقيق الترابط بينها وبين جدار البئر.
- منع تقوض مواسير التغليف وجدار البئر، من خلال مقاومة التشوهات اللدنة القصفية للصخور المحيطة، التي يمكن أن تؤثر على مواسير التغليف وتسبب تقوضها .
- عزل الطبقات (*zonal isolation*) : عزل الفراغ الحلقي خلف مواسير التغليف لمنع انتقال الموائع الطبقية بين الطبقات المختلفة (طبقة – طبقة، أو طبقة – سطح)، وكذلك منع الغاز أو الموائع الطبقية ذات الضغط العالي من الانتقال في الفراغ الحلقي بين مواسير التغليف وجدار البئر، وارتفاعها إلى السطح، والتي يمكن أن تسبب مشاكل مثل الحرائق

- الحماية من التآكل (*corrosion protection*): عزل معدن المواسير أو التقليل إلى أدنى حد ممكن من التأثير التآكلي للغازات والسوائل التي تحويها الطبقة.
- تكوين قاعدة أو نقطة انطلاق (*kick of plugs*) لعمليات الحفر الموجه أو المائل .
- معالجة التسرب(*lost circulation*): أي عزل أو إغلاق مناطق تسرب السوائل في البئر المفتوح أثناء عمليات الحفر، وعزل المجالات التي تؤدي لتدفق المياه ،أو المجال المماه، الذي ينتج بنسبة مرتفعة من الماء .
- هجر البئر (*well abandonment*) أي إغلاق البئر، بهدف حفر أخرى جديدة، أو عزل جزء من البئر المفتوح عند اختبار عدة طبقات تخترق من قبل البئر في مرحلة واحدة .
- تزودنا بقاعدة متينة ومحكمة لتجهيزات التحكم والسيطرة والأمان، التي توضع على رأس البئر.

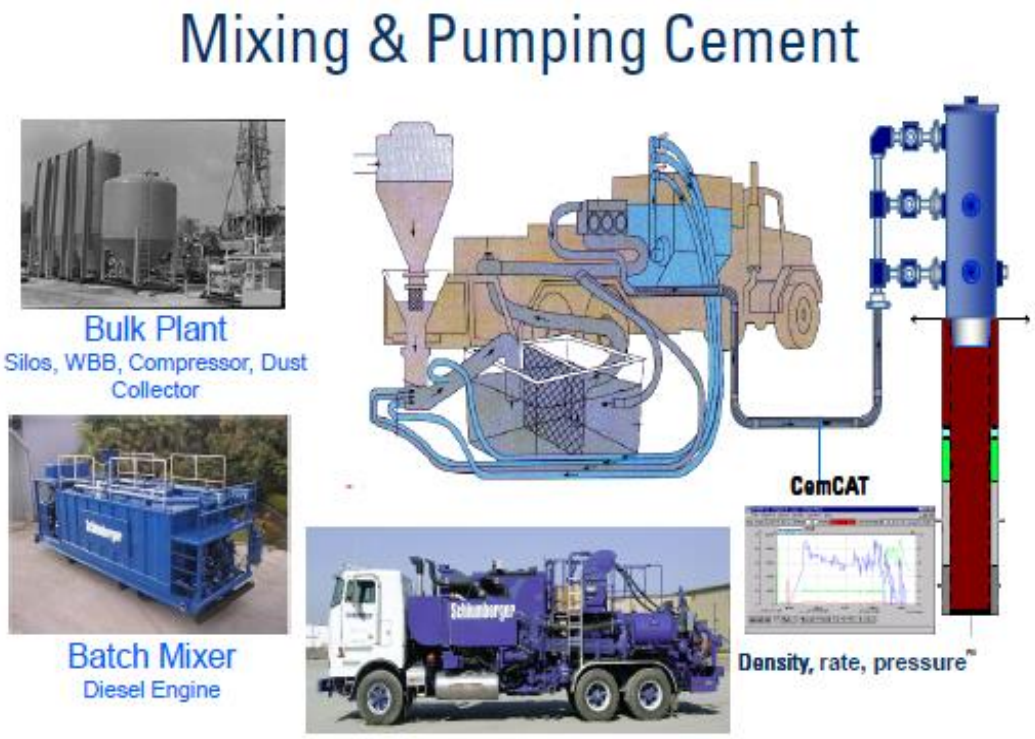
3-2-2- أنواع العمليات الإسمنتية (*Types of cementing operation*)[11]:

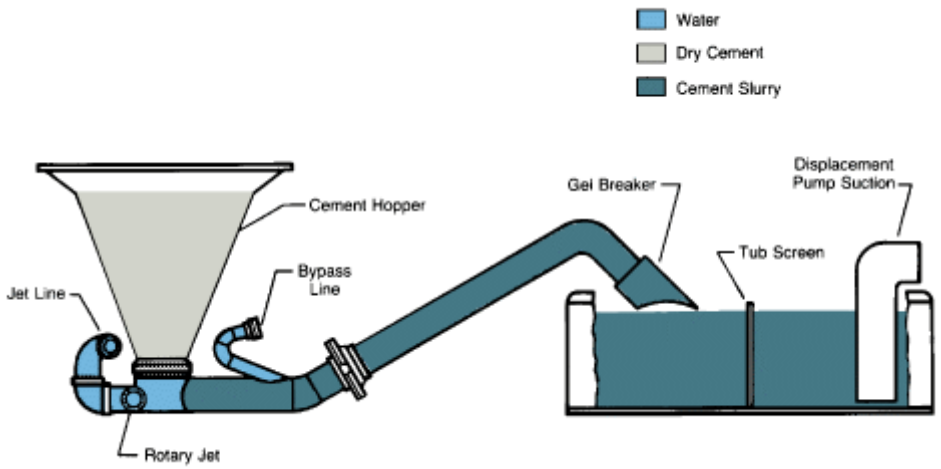
- السمنتة الأولية (*Primary cementing*) : تشمل السمنتة الأولية كل عمليات تثبيت مواسير التغليف أو المواسير الضائعة (*liner*) في جدار البئر المحفورة حديثا ، حيث يتوضع السائل الإسمنتي الفراغ الحلقي بين مواسير التغليف وجدار البئر بسبب إزاحته لسائل الحفر الموجود في الفراغ الحلقي بشكل كامل، ليسمح بترابط كاف لمواسير التغليف والطبقة نتيجة نمو خواصه العازلة .
- السمنتة الثانوية (*secondary cementing*) أو الإصلاحية (*Remedial Cementation*) :

تستخدم السمنتة الثانوية لإغلاق الطبقات غير المنتجة، أو الطبقات المستنزفة، وكذلك لمعالجة مناطق تسرب سوائل الحفر، ولإصلاح التسرب في مواسير التغليف، وأحيانا لإصلاح عمليات السمنتة الأولية. ويحقن الإسمنت إما تحت الضغط (*Squeeze job*)، أو بعدم باستخدام ضغط ضخ كبير كما في إنشاء الجسور و السدادات الإسمنتية (*Plug – Back cementation*) داخل الآبار.

3-2-3- آلية السمنتة (Mechanics of cementing) :

اعتمادا" على عمق البئر، وتبعا" للحرارة المتوقعة في قاع البئر, يحضر السائل الإسمنتي بالمزج القوي الشديد لمسحوق الإسمنت مع التيار النفثي للماء مع الإضافات الكيميائية، للتحكم بمواصفات السائل الإسمنتي. يضخ المزيج الناتج مباشرة إلى خزان، حيث يتم قياس مواصفات السائل الإسمنتي الشكل (3-11). بعد ذلك يضخ السائل الإسمنتي بمضخة ثلاثية الشوط ذات طاقة كبيرة بضغط ضخ عالٍ داخل مواسير التغليف عبر رأس السمنتة Head cementing . ورأس السمنتة عبارة عن قطعة





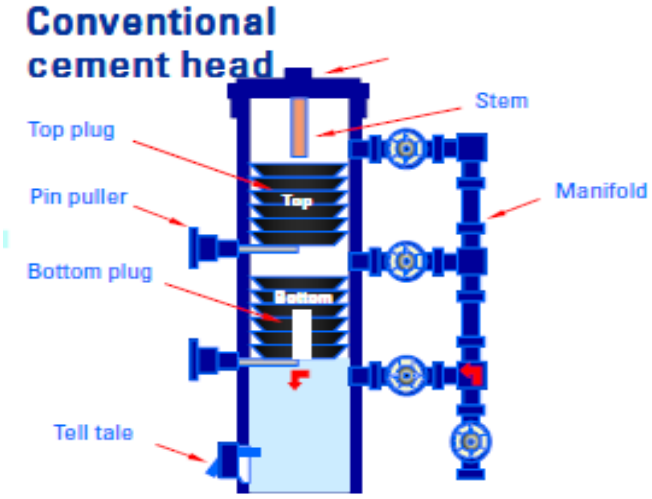
الشكل (3-11): خلاط نفثي jet mixer

صغيرة من ماسورة التغليف بطول يتراوح بين("32-20") ، تنتهي من الأسفل بشرار لربطها مع مواسير التغليف. كما يجهز رأس السمنتة بمجموعة من الخطوط **manifold** التي يتم من خلالها وصل مواسير التغليف مع وحدات ضخ الإسمنت **cementunit pumping** أو مع مضخات جهاز الحفر **rig pump** . ويحتوي رأس السمنتة على صماميّ تثبيت (**retainer valvetwo**) (وهو عبارة عن مسمار لولبي يحفظ الفواصل الإسمنتية داخل رأس السمنتة). كما يحتوي رأس السمنتة على غطاء قابل للفك بسرعة، والذي يمكن أن ينزع عندما نريد إنزال الفواصل يدويا" بدلا" من استخدام صمامات التثبيت.

ويوجد نوعان من رؤوس السمنتة :

1. رأس سمنتة بفاصل إسمنتي واحد (single plug head): ويحتوي على صمام واحد لحفظ الفاصل .

2. رأس سمنتة بفاصلين إسمنتيين(double plug head) كما في الشكل (3-12).

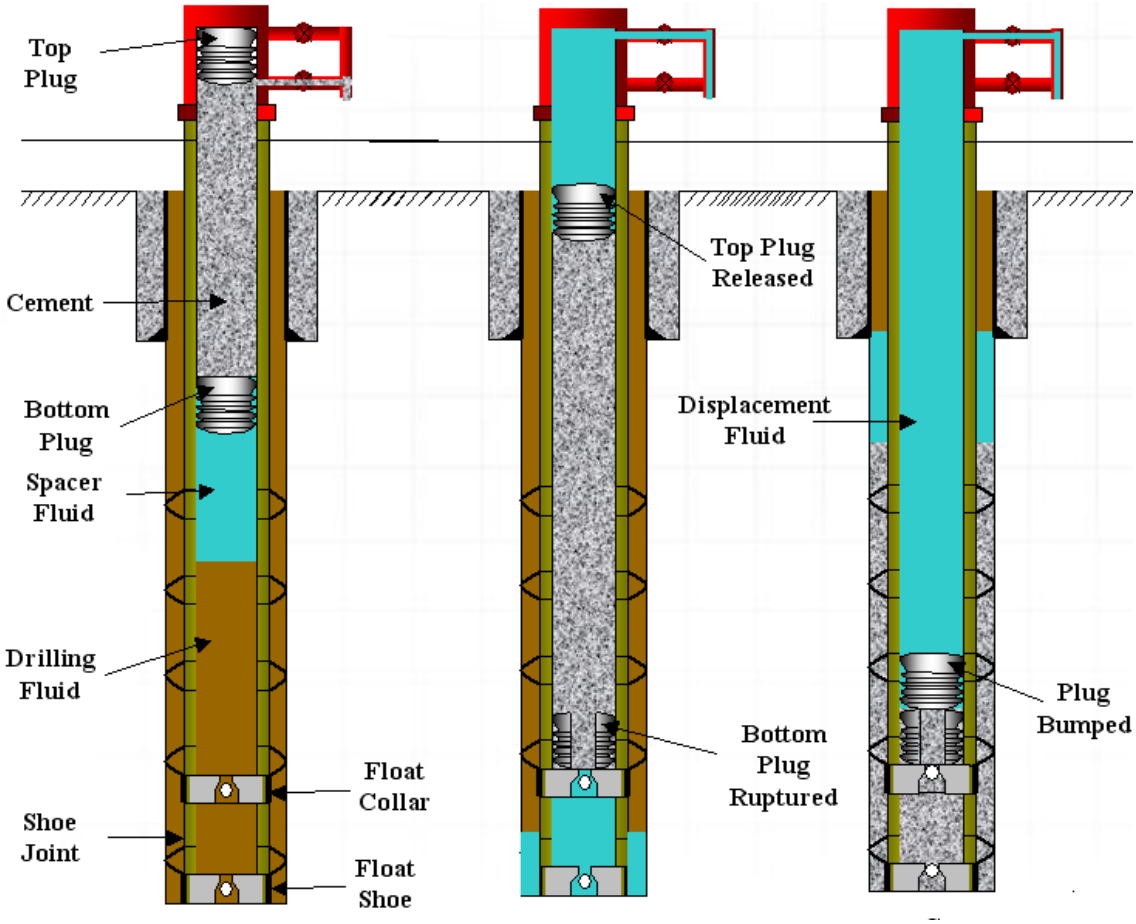


الشكل (3-12): رأس السمنتة

3-2-4- طرق السمنتة (Method of cementing) :

◆ **السمنتة بمرحلة واحدة (Single stage cementing):**

تستعمل عادة هذه الطريقة لسمنتة مواسير التغليف الموجهة ومواسير التغليف السطحية ، حيث يتم تحضير الخلطة الإسمنتية وضخها داخل مواسير التغليف. يبين الشكل (3-13) عملية السمنتة بمرحلة واحدة . بعد إنزال مواسير التغليف داخل البئر يتم إجراء دوران لسائل الحفر الموجود داخل البئر بهدف تجانسه، ومن ثم ينزل الفاصل الإسمنتي الأول (السفلي) ويضخ سائل الفصل (spacer) والسائل الإسمنتي على التوالي. وباستمرار الضخ يدفع السائل الإسمنتي الفاصل الإسمنتي داخل مواسير التغليف حتى يصل إلى مقعده على حلقة الصد. ومع استمرار الضخ أيضا"يتمزق الغشاء المركزي في الفاصل الإسمنتي، وبذلك يسمح للسائل الإسمنتي بالمرور من خلاله باتجاه الفراغ الحلقي. وعند الانتهاء من ضخ الحجم الكلي للسائل الإسمنتي، ينزّل الفاصل الإسمنتي الثاني (العلوي)، وذلك من خلال حل مسمار حفظ الفاصل في رأس السمنتة)، ويباشر بضخ سائل الحفر(سائل الإزاحة)، الذي يدفع الفاصل العلوي باتجاه الأسفل، سامحا"للسائل الإسمنتي بالتوضع خلف مواسير التغليف في الفراغ الحلقي. تعتبر عملية السمنتة منتهية عندما يستقر الفاصل الإسمنتي العلوي فوق الفاصل الإسمنتي السفلي . يغلق البئر ويترك السائل الإسمنتي ليتصلب في الفراغ الحلقي.



الشكل (3-13): عملية السمنتة بمرحلة واحدة

◆ **السمنتة متعددة المراحل (Multi-stage cementing)**

تستخدم السمنتة متعددة المراحل في سمنتة مواسير التغليف التي يتعذر فيها رفع السائل الإسمنتي إلى الارتفاع المحدد له عند إجراء عملية السمنتة بمرحلة واحدة، وتستخدم بهدف .

1-تقليل ضغط الضخ الكلي، وذلك عند سمنتة الآبار العميقة التي تتطلب ضخ كميات كبيرة من السائل الإسمنتي, لأن زمن عملية السمنتة يكون كبيرا"، وقد يزيد عن زمن بدء التصلب للسائل الإسمنتي، خاصة عند الضخ بمعدلات قليلة، ولا توجد إمكانية لزيادتها، لأنها تتطلب ضغوطا" مرتفعة، قد تؤثر سلبا" على جدار البئر، وقد تسبب تسريبا" شديدا" للسائل الإسمنتي فيها، كما أن ذلك يتطلب استخدام مضخات ذات استطاعة كبيرة. وبالإضافة إلى ذلك فإن الضخ بضغط مرتفع يعرّض مواسير التغليف لضغط داخلي مرتفع لا تقدر على تحمله.

2-تقليل الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن ارتفاع عمود السائل الإسمنتي على الطبقات الضعيفة والقابلة للتشقق، وبالتالي تقلل من احتمال تشققها .

3-عند سمنتة الآبار ذات درجة الحرارة العالية، والتي تقلل من زمن بدء تصلب السائل الإسمنتي.

4-عندما يتطلب استخدام عدد كبير من وحدات الضخ في آن واحد، إما بسبب عدم توفر العدد اللازم لإنجاز عملية السمنتة بمرحلة واحدة، أو عدم إمكانية تنظيمها حول جهاز الحفر.

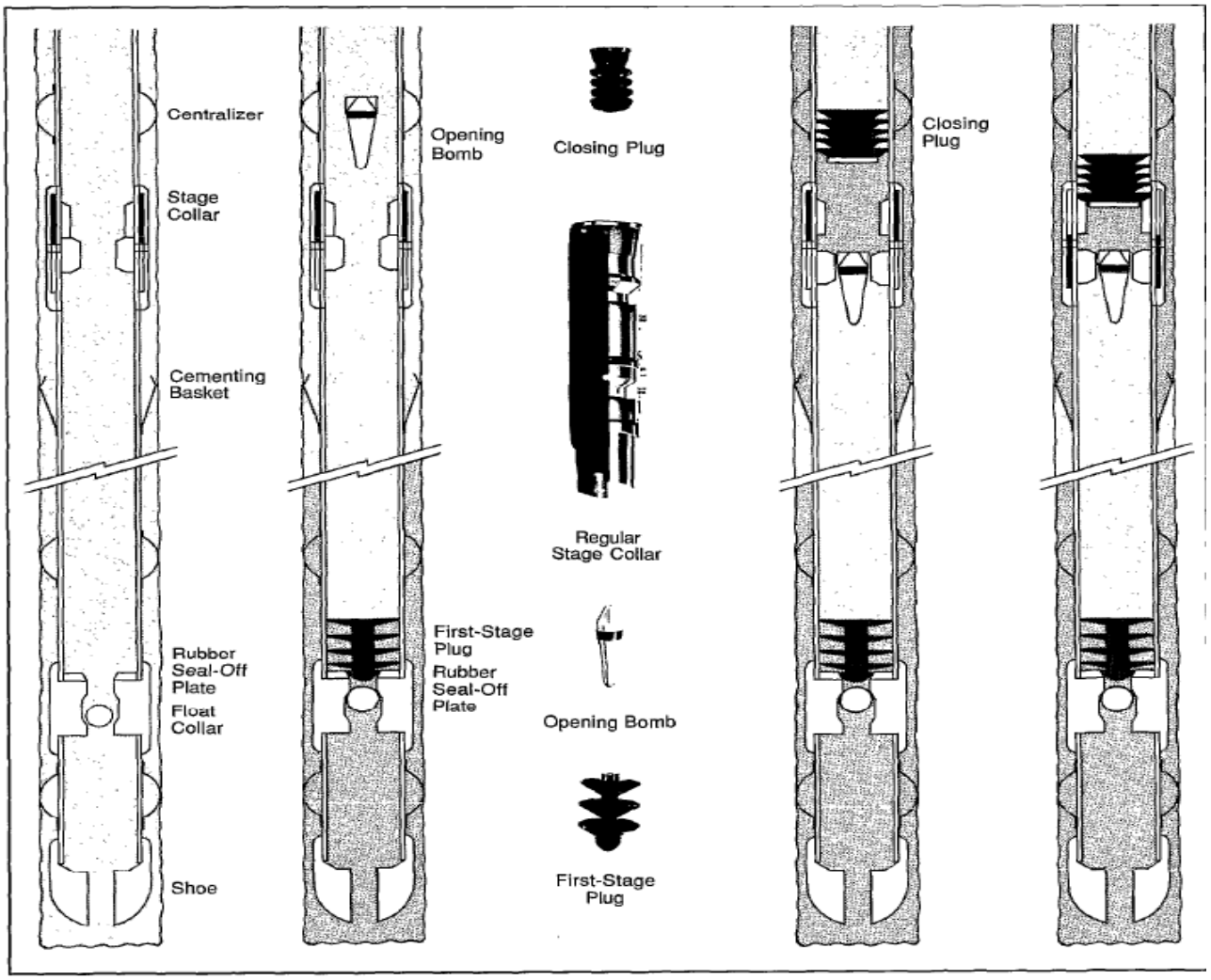
5-عند حدوث تسرب للسائل الإسمنتي في الطبقات أثناء عملية السمنتة العادية , ولم يرتفع السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي إلى المكان المحدد له.
6-عند سمنتة الطول الكامل لمواسير التغليف.

تتم عملية السمنتة على مرحلتين من خلال استخدام وصلة مثقبة تدعى الوصلة الإسمنتية Stage cementing collars)، التي يتم اختيار عمق تثبيتها اعتماداً على ارتفاع عمود السائل الإسمنتي، وعلى مقاومة الطبقات. يتم تثبيت وصلة السمنتة بمرحلتين على ارتفاع يتراوح بين (50-150 m) فوق الطبقة الضعيفة. ومن المفضل استعمال السلة الإسمنتية (Cement Basket) تحت الوصلة الإسمنتية، وذلك بهدف التقليل من تأثير عمود السائل الإسمنتي على الطبقات الواقعة تحتها، علما" أن السلة الإسمنتية تثبت على مسافة (2-4m) أسفل الوصلة الإسمنتية. بعد إنزال مواسير التغليف إلى قاع البئر يتم إجراء دوران لسائل الحفر بحجم مساوٍ لضعف حجم البئر، وذلك بهدف التأكد من عمل معدات الطفو (حذاء مواسير التغليف, حلقة الصد) بصورة ملائمة وكذلك لتحديد ضغط الدوران.

يتم تنفيذ المرحلة الأولى من عملية السمنتة بنفس أسلوب تنفيذ عملية السمنتة بمرحلة واحدة، حيث تكون الوصلة الإسمنتية مغلقة في هذه الحالة، ولكن ارتفاع عمود السائل الإسمنتي ينتهي أسفل الوصلة الإسمنتية مباشرة.

تبدأ المرحلة الثانية من عملية السمنتة بإنزال فاصل أو قذيفة الفتح (opening bomb) من السطح، حيث تبدأ مرحلة ضخ السائل الإسمنتي للمرحلة الثانية. بعد وصول فاصل الفتح إلى المسند السفلي للوصلة الإسمنتية (مقعد الفتح) يطبق ضغط بحدود 1200-1500 psi فوق ضغط الدوران بهدف كسر مسمار حفظ لوحة تغطية الثقوب (shear pins)، وبذلك يتحرر المسند السفلي lower sleeve ويهبط مع فاصل الفتح، مؤديا" إلى فتح ثقوب الوصلة الإسمنتية، عند ذلك يبدأ السائل الإسمنتي بالعبور من خلال هذه الثقوب إلى الفراغ الحلقي.

بعد الانتهاء من ضخ السائل الإسمنتي للمرحلة الثانية يدفع بفاصل الإغلاق(closing plug), ويتبع بضخ سائل الإزاحة، وتستمر عملية الضخ هذه حتى وصول فاصل الإغلاق إلى الوصلة الإسمنتية (يطبق عليه ضغط قدره 1500 psi إضافة إلى الضغط اللازم لتدوير سائل الحفر)، حيث يدفع أمامه المسند العلويupper sleeve للوصلة الإسمنتية ويغلق ثقوبها، ويمنع الاتصال بين داخل مواسير التغليف والفراغ الحلقي، وبذلك تنتهي عملية السمنتة، والتي تلاحظ بالارتفاع الحاد للضغط عند متابعة الضخ. يبين الشكل (3-14) مخطط عملية السمنتة على مرحلتين.



الشكل (3-14): عملية السمنتة على مرحلتين.

في حال تنفيذ عملية السمنتة على ثلاث مراحل تستعمل وصلتان إسمنتيتان (Tow stage cementing) حيث يتم تنفيذ المرحلة الأولى من خلال حذاء مواسير التغليف(casing shoe)، أما المرحلة الثانية فتتم من خلال الوصلة الإسمنتية الأولى، بينما المرحلة الثالثة فتنجز من خلال الوصلة الإسمنتية الثانية.

3-3-خواص السائل الإسمنتي والحجر الإسمنتي :

Cement slurry and Set Cement Properties

تختلف الخواص المطلوبة للخلطة الإسمنتية أو الحجر الإسمنتي تبعاً لأهداف عملية السمنتة

3-3-1- خواص السائل الإسمنتي (*CementslurryProperties*).

- **نسبة الماء إلى الإسمنت (*water/ cementratio*):**

تؤثر نعومة الإسمنت على الكثافة الدنيا والقصوى للسائل الإسمنتي، أي على النسبة المنخفضة والعالية للماء في الإسمنت. تعرف كمية الماء الدنيا لأي صنف من أصناف الإسمنت، بتلك الكمية الممكن استعمالها، والتي لا تؤدي إلى تكوين ملاط إسمنتي ذي تماسكية أكثر من *30* وحدة *us* (وحدة تماسك). فإذا كانت نسبة الماء المستخدمة إلى الإسمنت أقل من النسبة الدنيا، فإن ذلك سيؤدي إلى

صعوبة مزج السائل الإسمنتي، وزيادة الاحتكاك في الفراغ الحلقي، إضافة إلى ضغط عمود السائل الإسمنتي، واللذان يؤديان إلى تشقق الطبقات الضعيفة وهروب السائل الإسمنتي، إضافة إلى كون الزمن الذي يكون فيه مثل هذا الخليط قابلا للضخ قصيراً جداً .

يعرف المحتوى الأقصى من الماء (نسبة الماء القصوى) بتلك الكمية التي تمزج مع الإسمنت بدون أن تسبب له انفصالاً أكثر من *3.5ml* من الماء بعد ترك السائل الإسمنتي لمدة ساعتين تحت الظروف المخبرية في أنبوبة مدرجة سعتها *250ml*.

إن استخدام نسبة ماء / إسمنت أكبر من النسبة القصوى سوف يؤدي إلى ترسب جزيئات الإسمنت في السائل الإسمنتي، و يشكل جيوباً للماء الحر داخل عمود الإسمنت (الحجر الإسمنتي)، والذي يؤدي إلى تشكل حجر إسمنتي ذي مقاومة منخفضة، وتصبح عملية العزل غير فعالة .

إن نسبة الماء إلى الإسمنت (والتي يعبر عنها بالنسبة المئوية الوزنية)، والتي يجب أن تستخدم مع كل صنف من أصناف الإسمنت حسب قياس *API* موضحة في الجدول (3-1) :

الجدول (3-1): يبين نسبة الماء إلى الإسمنت حسب كل صتف من أصناف الإسمنت.

الصنف	الكثافة Lb/gal	حجم الماء اللازم لكل كيس gal/ sk	حجم الخلطة الناتج عن كل كيس إسمنت (Cu.ftslurry/skCement	النسبة المئوية لماء المزج
A	15.6	5.2	1.18	46
B	15.6	5.2	1.18	46
C	14.8	6.32	1.32	56
D	16.46	4.29	1.05	38
G	15.8	4.97	1.15	44
H	16.46	4.29	1.05	38

- **كثافة السائل الإسمنتي (*slurry density*):**

تعرف كثافة السائل الإسمنتي مثل كثافة أي مادة و هي كتلة واحدة الحجم و يمكن قياسها بواسطة مقياس كثافة سائل الحفر (*Mud balance*) .

تحدد كثافة السائل الإسمنتي بالنسبة الصغرى والعظمى (ماء / إسمنت) المسموح بها حسب قياس *API* A . فالسائل الإسمنتي ذو الكثافة المنخفضة يستخدم للتقليل من تسرب السائل ، وتحضر إما باستخدام نسبة مرتفعة من (الماء / الإسمنت) أو باستخدام مواد مقللة لكثافة السائل الإسمنتي (تدرس لاحقا).

أما السائل الإسمنتي ذو الكثافة العالية فيستخدم في الطبقات ذات الضغوط الطبقية العالية، أو الطبقات القابلة للتهدم (*sloughing formation*)، والذي يحضر عن طريق إنقاص نسبة (الماء / الإسمنت)،

أو باستخدام إضافات لمواد ذات كثافة عالية ، حيث يتوفر العديد من المواد التي تستعمل إما لتقليل الكثافة أو زيادتها (نناقش ذلك في فصل الإضافات التي يعالج بها السائل الإسمنتي).

إن استخدام النسبة الصغرى (ماء / إسمنت) تسمح بإعطاء كثافة تتراوح بين (*17.5-18 lb/gal*) ففي هذه الحالة يجب استخدام مرققات (مقللات لزوجة) (*dispersants*) وذلك لزيادة سيولة السائل الإسمنتي (*fluidity of the slurry*).

- **فاقد الرشح (*Filtration of cement slurry , Fluid – loss*)**

وهو يمثل كمية الماء التي يفقدها السائل الإسمنتي بتأثير فرق الضغط الذي يتعرض له و تعتمد قيمة فاقد الرشح للسائل الإسمنتي على نسبة الماء/الإسمنت، وعلى قيمة فرق الضغط، وهي تتناسب عكسا مع مربع السطح النوعي لمسحوق الإسمنت، وعلى اللزوجة،.

إن التحكم بفاقد الرشح هو من الأمور الهامة جداً خلال عملية السمنتة، حيث يجب أن يكون فاقد الرشح قليلاً كي لا يؤثر على الطبقات المنتجة، وعلى الأخص، كي لا يؤدي إلى حدوث تماسكية عالية للسائل الإسمنتي، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الضغط على المضخات، وفي بعض الأحيان إلى إيقاف الدوران.

يقاس فاقد الرشح للسائل الإسمنتي باستخدام جهاز مشابه لجهاز الباروئيد (ذي الضغط المنخفض) المستخدم في تعيين هذه الخاصية لسائل الحفر، ويمكن استخدام جهاز بضغط مرتفع عند اللزوم. وبما أن فاقد الرشح للسائل الإسمنتي مرتفع جداً، ويمكن أن يرشح الماء بكامله قبل مرور 30 min, لذلك يتم قياسه خلال زمن t). ويعين فاقد الرشح خلال 30min بالعلاقة الآتية:

$$Q_{30} = Q_t \frac{5.477}{\sqrt{t}} \qquad (1-3)$$

حيث أن Q_{30}: حجم فاقد الرشح بعد $30min/cm^3$

Q_t: حجم فاقد الرشح بعد الزمن t (cm^3).

إن القيم العادية لفاقد الرشح للسائل الإسمنتي غير المعالج (دون إضافات) تتراوح بين (800-1000 ml/30min) عند فرق ضغط (1000 Psi). قيم فاقد الرشح التي يوصى بها عند سمنتة مواسير التغليف تتراوح بين (100-200 ml/30min) عند ضغط (1000 Psi) . أما من أجل السمنتة تحت ضغط أو سمنتة اللاينر فإن قيم فاقد الرشح تتراوح بين (100-150 ml/30min). أما في الحقل وللحالات التطبيقية فإن قيم فاقد الرشح تتراوح من (1-150ml/30min) .

يستخدم البنتونايت للتحكم بفاقد الرشح عندما يتطلب استخدام سائل إسمنتي بكثافة قليلة، حيث تتراوح قيم فاقد الرشح بين (*400-500ml/30min*)

.

- **زمن تكاثف السائل الإسمنتي (زمن التثخن) (*Thickening time*):**

عند إضافة الماء إلى الإسمنت يبدأ التفاعل الكيميائي بين مختلف مركبات الإسمنت، وينتج عنه زيادة في لزوجة السائل الإسمنتي. يتم إجراء قياس زمن التثخن عادةً لتحديد طول الوقت الذي يبقى فيه ملاط الإسمنت في حالة سائلة تحت ظروف المخبر، وهذا يستخدم كطريقة للمقارنة بين مختلف

السوائل الإسمنتية، ومعرفة الفترة التي تبقى فيها قابلة للضخ ، ولذلك بالإمكان استعمال اللزوجة كأساس لتحديد زمن التثخن .

يعرف زمن التثخن بالزمن اللازم لوصول لزوجة السائل الإسمنتي إلى (*100Bc*) وحدة بيردن (*Bearden units*) (*Bc = ΔPI units of consistency*) . على الرغم من أن معهد النفط الأمريكي (*API*) يعتبر أن (*100Bc*) هي نقطة نهاية اختبار زمن التثخين (*Termination point of the thickening time test*) فإن (*70Bc*) تعتبر في الواقع أو بشكل أساسي كقيمة للزوجة العظمى القابلة للضخ (*maximum pumpable viscosity*) . كما أن ثخانة الخلطة الإسمنتية يشار لها باصطلاح أخر يدعى التماسكية (consistency)، ويعتبر البواز وحدة قياسها، وبذلك يعرف زمن التثخين بالوقت اللازم لوصول تماسيكية الخليطة الإسمنتية إلى 100 poise ومن الضروري التأكيد أن زمن التثخن يجب أن يكون أكبر من الزمن الفعلي اللازم لعملية السمنتة بهدف تجنب تصلب الإسمنت على سطوح الأنابيب ، رأس السمنتة , مواسير الحفر، أو داخل مواسير التغليف، حيث أن نتيجة ذلك تكون مكلفةً جداً، لأن معالجتها تتطلب حفر الحجر الإسمنتي على طول مواسير التغليف من الداخل، وإصلاح سمنتة مواسير التغليف، والتي تكون عادةً أقل كفاءة من عملية السمنتة الأولية الناجحة بالإضافة إلى الزمن المستغرق للمعالجة . لهذا السبب يجب أن يكون زمن التثخن مساويا للزمن الكلي اللازم لإنجاز العمل بزيادة عامل أمان يتراوح من (30–60 min) .

بما أن زمن التثخين يساوي الزمن اللازم لبقاء الملاط الإسمنتي قابلاً للضخ، لذا بالإمكان التعبير عنه بما يلي:

زمن التثخن= زمن الخلط + زمن التحضير على السطح + زمن الإزاحة + زمن إنزال الفواصل الإسمنتية+ عامل أمان.

زمن الخلط T_m: الزمن اللازم لخلط الإسمنت مع الماء ومواد الإضافة، ويحسب بالعلاقة الآتية:

$$Tm = Vc/Vm = Vc/sacks/min \qquad (2-3)$$

حيث:V_m, V_c حجم الإسمنت الجاف , وسرعة المزج على التوالي.

زمن التحضير على السطح Ts: وهوالزمن اللازم لتحضير الخليطة الإسمنتية على السطح وزمن اختباره، وهذا الزمن عادةً يكون قصيراً، وبالإمكان شموله ضمن زمن المزج.

زمن الإزاحة T_d: وهو الزمن اللازم لإزاحة الخلطة الإسمنتية بواسطة سائل لحفر من داخل مواسير التغليف إلى الفراغ الحلقي ، وهذا الزمن يعتمد على سعة مواسير التغليف، وعلى سرعة الإزاحة، والتي تكون مناظرةً لسرعة تشغيل المضخة، وعليه فإن:

$$T_d = V_d / Q_d \qquad (3-3)$$

حيث:V_d: حجم سائل الإزاحة اللازم لإزاحة الفاصل الإسمنتي العلوي

Q_d: معدل الإزاحة.

بعد حساب الأزمنة أعلاه يضاف 30–60 min كعامل أمان.

يمكن زيادة أو تقليل زمن التثخن عن طريق إضافة مواد كيماوية .

يتم تعيين زمن تكاثف السائل الإسمنتي باستخدام جهاز التماسكية (consistometer)، الذي يتكون من خلية اختبار (Test cell)، وهي عبارة عن وعاء أسطواني دوار (يدور بسرعة r/min 15±150)، ومزود بمجموعة ثابتة من الريش (Paddle) . توضع خلية الاختبار داخل حجرة مغلقة Test chamber) قادرة على تحمل الضغط ودرجة الحرارة خلال فترة الاختبار . يملأ الفراغ بين الأسطوانة التي تحوي السائل الإسمنتي وبين جدار حجرة الاختبار بزيت معدني، ويستخدم نظام تسخين قادر على رفع درجة حرارة الزيت بمعدل $3C^0(5F^0)$/min على الأقل ، كما يستخدم نظام لقياس درجة حرارة الزيت والسائل الإسمنتي. يتم قياس زمن التثخين للسائل الإسمنتي من خلال آلية قياس فرق الجهد الكهربائي ودارة الجهد الكهربائي، التي يتعرض لها النابض الموصول مع محور ريش خلط العينة الإسمنتية، والتي تؤدي إلى توليد عزوم مكافئة متغيرة تبعاً لتغير قيم اللزوجة، أو تبعاً لتغير قيم تماسكية السائل الإسمنتي.

1- <u>الماء الحر (الثبوتية) (*Free Water (Stability)*) :</u>

تعرف الثبوتية ببقاء مكونات السائل الإسمنتي مبعثرة بشكل متجانس حتى عند توقفه عن الحركة، وتسمى أكبر كمية من الماء القابلة للانفصال عن السائل الإسمنتي بالفصل المائي للسائل الإسمنتي (الماء الحر)، وهو يعتمد على نوعية مسحوق الإسمنت ومعالجاته المختلفة، وكذلك على نسبة الماء إلى مسحوق الإسمنت. ويمكن التقليل من الماء الحر بمعالجته بمواد غروية، أو عن طريق رفع السطح النوعي لمسحوق الإسمنت، وكذلك تخفيض نسبة الماء إلى مسحوق الإسمنت . ينم تحديد الماء الحر أو الثبوتية بموجب نسبة الماء المنفصل عن ملاط الإسمنت المكون من الماء والإسمنت، باستخدام أنبوب حجمه يساوي $250\ Cm^3$. يعتبر الإسمنت جيداً [79] إذ كانت كمية الماء المفصولة لا تزيد عن % من حجم السائل الإسمنتي الكلي (بعد ترك السائل الإسمنتي هادئا لمدة ساعتين وتحت ظروف المخبر .

<u>سيولة السائل الإسمنتي أو خاصية الانتشار (*Fluidity of the slurry*):</u>

وهي قدرة السائل الإسمنتي على الحركة خلال فترة زمنية محددة. وتعين سيولة السائل الإسمنتي بواسطة جهاز، هو عبارة عن مخروط مقطوع بحجم $120\ Cm^3$ بقطر علوي $36 \pm 0.5\ mm$ وبقطر سفلي $64 \pm 0.5\ mm$ وارتفاع $60 \pm 0.5\ mm$. ويصنع المخروط من معدن غير قابل للصدأ ويجب أن يكون مصقولا من الداخل . ويتم تعيين سيولة السائل الإسمنتي بوضع القمع المخروطي على لوح زجاجي مثبت فوق ورقة تحوي دوائر متمركزة، يفصل بين كل دائرة وأخرى $10\ mm$ بحيث يكون قطر أكبر دائرة $250mm$. يضبط المخروط المركزي بحيث يرسم على الورقة دائرة بقطر يساوي القطر الداخلي للمخروط بخط واضح . يصب السائل الإسمنتي في القمع حتى حافة قاعدته العليا (الحجم الداخلي $120Cm^3$). يرفع القمع المخروطي بهدوء إلى الأعلى . تعين سيولة السائل الإسمنتي بقياس القطر الأعظمي والأصغري الذين وصلهما السائل الإسمنتي، ثم يحسب متوسط القطرين [79] . وفي الشكل (3-17) نبين جهاز تحديد سيولة السائل الإسمنتي.



الشكل (3-17): جهاز تحديد سيولة السائل الإسمنتي.

3-3-2- خواص الحجر الإسمنتي (*Set Cement Properties*):

1- متانة الحجرالإسمنتي (*Cement Strength*):

يقصد بمتانة الإسمنت أو المقاومة الميكانيكية للحجر الإسمنتي الجهد الأصغري الذي يبدأ عنده الحجر الإسمنتي بالتحطم. وتوصف المتانة كمقاومة شد (*Tensile Strength*) أو مقاومة انضغاط (*Compressive strength*)، وتعتبر مقاومة الانضغاط الأكثر استعمالا كمؤشر كمي لمقاومة الحجر الإسمنتي .

من الناحية الهندسية يجب تحديد المقاومة التي يبلغها الإسمنت المتصلب ليكون قادراً على أداء المهام الآتية :

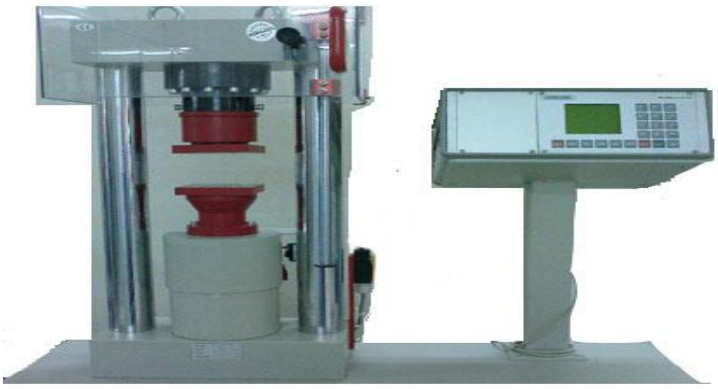
- أن يحافظ أو يدعم مواسير التغليف في البئر.
- يمكّن من عزل الطبقات ذات النفوذية المختلفة في البئر.
- أن يقاوم الصدمات الناتجة عن عمليات الحفر وعن عمليات التثقيب.
- أن يتحمل ضغوط هيدروليكية عالية دون حدوث تشققه.

إن القوى التي تسلط على الحجر الإسمنتي في الفراغ الحلقي يفترض أن تكون مكونة من قوى ضاغطة أفقية (ضغط الطبقات) إضافة إلى قوى شاقولية مكونة من وزن مواسير التغليف. يعتقد أن مقاومة الحجر الإسمنتي للانضغاط تعتبر ملائمة لمعظم العمليات إذا كانت تساوي *500Psi* ، حيث أنها تعتمد على نسبة الماء إلى الإسمنت وعلى زمن الانتظار (*Curing Time*) . قبل إنزال مواسير التغليف يؤخذ نموذج من الإسمنت المقترح استعماله ويمزج مع الماء في ظروف مشابهة لظروف البئر من ناحية درجة الحرارة والضغط، و يوضع ملاط الإسمنت في قوالب ملائمة (على شكل مكعبات)، و يترك لفترة من الزمن ليجف، بعد ذلك تكسر هذه المكعبات بواسطة جهاز فحص الانضغاط لتحديد مقاومة انضغاط النموذج (و يؤخذ معدل قياس أربعة أو خمسة نماذج) . الشكل (3-18) يبين جهاز فحص الانضغاط لتحديد مقاومة انضغاط النموذج .

و في الجدول (3-4) نبين القيم الدنيا لمتانة الانضغاط عند زمن معين، وذلك تبعاً لكل صنف من أصناف الإسمنت [7].

الجدول (3-4) المتطلبات الدنيا للمتانة الانضغاطية للحجر الإسمنتي.

صنف الإسمنت	درجة الحرارة النهائية للمعالجة		الضغط النهائي للمعالجة		القيمة الدنيا للمتانة الانضغاطية عند زمن معين			
	°C	°F	Mpa	PSi	Mp	PSi	Mpa	Psi
A	38	100	atm .	-	1.7	250	12.4	1800
B	38	100	atm .	-	1.4	200	10.3	1500
C	38	100	atm .	-	2.1	300	13.8	2000
D	77	170	20.7	3000	NR		6.9	1000
	110	230	20.7	3000	3.4	500	13.8	2000
E	77	170	20.7	3000	NR		6.9	1000
	143	290	20.7	3000	3.4	500	13.8	2000
F	110	230	20.7	3000	NR		6.9	1000
	160	320	20.7	3000	3.4	500	6.9	1000
G , H	38	100	atm .	-	2.1	300	NR	NR
	60	140	atm .	-	10.	150	NR	NR



الشكل (3-18): جهاز فحص المتانة الانضغاطية للحجر الإسمنتي.

2- الخواص العازلية للحجر الإسمنتي(Cement isolating properties):

تلعب نفوذية الحجر الإسمنتي وقوة ترابط الإسمنت مع مواسير التغليف دوراً هاماً في تحديد الخواص العازلية للحجر الإسمنتي. تكون نفوذية الحجر الإسمنتي عادةً قليلة جداً، وخاصة عند سمنتة المجالات الغازية (وخاصة منها التي تحتوي على غازات ذات تأثير تأكلي), المجالات المائية (ذات

التأثير التآكلي) والآبار ذات درجات الحرارة العالية (geothermal wells). وبشكل عام تتغير نفوذية الحجر الإسمنتي حسب نسبة الجزء الصلب/الماء في الخلطة الإسمنتية.

نفوذية الحجر الإسمنتي (*Set Cement permeability*)[11] :

وهي السمة الثانية الهامة من خواص الحجر الإسمنتي. وتحدد النفوذية درجة عازلية الإسمنت للطبقات. ولتحقيق هذه الغاية يجب أن يتمتع الحجر الإسمنتي بنفوذية لا تتجاوز (2–4 ميلي دارسي). تعتمد نفوذية الحجر الإسمنتي على عدة عوامل منها نسبة الماء الى مسحوق الإسمنت، نوعية مسحوق الإسمنت، الشروط التي يحدث عندها التصلب. و يتم قياس نفوذية الحجر الإسمنتي باستخدام جهاز قياس النفوذية روسكا *RUSKA*)، حيث يتم تحضير عدة خلطات إسمنتية باستخدام نسب مختلفة من الماء والإسمنت مع إضافات مختلفة. توضع هذه الخلطات في فوالب خاصة وتدخل إلى الأفران لتأمين شروط مشابهة للشروط الطبقية، ثم تخرج العينات من الأفران بعد انقضاء الزمن المحدد لتصلبها وتبرد ثم تحدد نفوذية كل عينة باستخدام العلاقة التالية، وتستخدم الخلطة التي أعطت نفوذية أقل:

$$\mathbf{K} = \frac{Q.\mu.L}{F.\Delta P} \qquad (5-3)$$

حيث:

K– ثابت النفوذية المطلقة (m^2) .

Q –غزارة عبور الهواء ضمن العينة(m^3 / s) .

L –طول العينة (m) .

F– مقطع العينة (m^2).

Δp– فرق الضغط عند مدخل ومخرج العينة (Pa) .

μ – لزوجة الغاز ($Pa.s$) .

التصاق الحجر الإسمنتي بالسطح الخارجي لمواسير التغليف ومع جدران البئر :

(Shear bond strength between Casing/ Formation):

يعتمد قيام الحجر الإسمنتي بوظائفه العامة (تدعيم مواسير التغليف وعزل الطبقات) إلى حد كبير على مدى التصاقه مع السطح الخارجي لمواسير التغليف، ومع جدران البئر، إذ يجب العمل باستمرار للحصول على درجة التصاق عظمى. وتتأثر درجة الالتصاق هذه بعدة عوامل أهمها: درجة نظافة هذه السطوح من سائل الحفر أو من القشرة الطينية لسائل الحفر, خشونة سطح التلامس, نوع الإسمنت ودرجة حرارة وسط التجمد وغيرها.

يكون التصاق الحجر الإسمنتي ضعيفاً (بل تهبط قوة الالتصاق إلى الصفر)[11] مع السطوح المغطاة بالقشرة الطينية لسائل الحفر, ولذلك يجب نزع هذه القشرة باستخدام الخادشات أو باعتماد سائل تنظيف معالج بمركبات كيميائية تقوم بتفتيت هذه القشرة, حيث يضخ هذا السائل قبل ضخ السائل الإسمنتي مباشرة. كما يجب أن تنظف السطوح الخارجية لمواسير التغليف من الطلاء الواقي الذي يمنع التصاق الإسمنت معها. إن التصاق الإسمنت مع مواسير التغليف ليس نتيجة تفاعل كيميائي، ولكنه

ظاهرة فيزيائية. يمكن تفسير التصاق معدن مواسير التغليف النظيف مع الحجر الإسمنتي بتكوين طبقة متداخلة بهيكل بلوري معين, تنتمي هذه الطبقة إلى كل من المعدن والحجر الإسمنتي بنفس الوقت.
وهكذا فإن انكماش الإسمنت خلال عملية الإماهة مضافاً إليه انكماش مواسير التغليف نتيجة تبريد قاع البئر بعد عملية الإماهة و/أو نتيجة دوران سائل الإنهاء يمكن أن يؤدي إلى كسر الترابط، وهذا يؤدي إلى تشكل قنوات ميكروية في الحجر الإسمنتي، ذات نفوذية كافية تسمح بمرور الغازات، أو حتى السوائل القليلة اللزوجة. في مثل هذه الحالة, فإن الإسمنت المتوسع أو القابل للتمدد يكون مطلوباً ليعوض من تأثير انكماش الإسمنت (Cementing Shrinkage) وتقلص مواسير التغليف (Casing Contraction).

إن قوة الالتصاق يمكن قياسها كقوة ترابط هيدروليكية(Hydraulic bond strength) الشكل (3-19) والتي تختبرعادة بتطبيق ضغط هيدروليكي على سطح مواسير التغليف، ويقاس الضغط الذي يؤدي إلى انفصال مواسير التغليف عن غلاف الإسمنت المحيط بها.

3-3-3- العوامل التي تؤثر على عملية السمنتة: Factor that Influence cementing (operation)

إن العوامل التي تؤثر على عملية السمنتة لا تتعلق فقط بعملية السمنتة نفسها والعمليات اللاحقة، وإنما تتعلق بمجمل عملية الحفر، اعتبارا" من تصميم البئر، وانتهاء" بعمليات السمنتة وتحضير البئر لعملية السمنتة. ومن هذه العوامل نذكر ما يلي :

1- نوعية السائل الإسمنتي: أي استخدام السائل الإسمنتي المناسب وفقا" لشروط البئر وإجراء الاختبار بشكل مناسب.
2- المزج الجيد للإسمنت وللإضافات التي يعالج بها السائل الإسمنتي، وذلك باستخدام خلاطات ذات طاقة مزج عالية.
3- مواصفات سائل الحفر والسائل الإسمنتي: أي الاستخدام الصحيح لسائل الحفر ذي الخواص المناسبة.
4- تلوث سائل الحفر بالسائل الإسمنتي.
5- تهيئة مواسير التغليف والبئر قبل عملية السمنتة.
6- الاستخدام الصحيح لطرق إنزال مواسير التغليف: استخدام الخادشات والممركزات، الحركة الدورانية أو الترددية لمواسير التغليف أثناء الإزاحة.
7- إزاحة سائل الحفر من قبل السائل الإسمنتي: استخدام معدل ضخ صحيح خلال عملية الإزاحة.
8- ترابط الإسمنت.
9- نوعية البئر.

1- نوعيةالسائل الإسمنتي:

يعتمد نجاح عملية السمنتة على نوعية السائل الإسمنتي، أي على نوعية مركباته، وفي النهاية على نوعية الحجر الإسمنتي، الذي يتكون نتيجة تصلب السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي .أي يجب أن يتمتع السائل الإسمنتي بالمواصفات الآتية :

- ✓ أن تكون " كثافة السائل الإسمنتي أكبر من كثافة سائل الحفر بحدود .0.833–2.5 ppg . وقد يصل الفرق إلى 4.5ppg إن أمكن بهدف الحصول على أفضل كفاءة إزاحة.
- ✓ أن يكون ذا لزوجة مقبولة، بحيث يكون قابلا" للضخ بسهولة، ومن المفضل أن تكون اللزوجة ثابتة طيلة فترة تنفيذ عملية السمنتة، وذلك في ظروف درجة الحرارة والضغط الموجودة داخل البئر.
- ✓ أن يكون ذا فاقد رشح قليل لكي لا يؤثر على الطبقات، ولكي لا تحصل زيادة مفرطة في لزوجة السائل الإسمنتي بسبب فقدان الماء، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة كبيرة في ضغط الضخ.
- ✓ يجب أن يحافظ السائل الإسمنتي على مكوناته عند انتهاء الضخ (لا يحدث انفصال للماء الحر في الجزء العلوي للسائل الإسمنتي، والتي يكون فيها السائل الإسمنتي في حالة السكون) ، والتي في حالة حدوث العكس يتشكل حجر إسمنتي غير متجانس بالإضافة إلى إمكانية حدوث اندفاع للبئر من خلال الفراغ الحلقي بسبب الانخفاض في كثافة السائل الإسمنتي في الجهة العليا منه.
- ✓ أن يتصلب خلال فترة وجيزة، حيث أن بقاءه في حالة سائلة لفترة طويلة يؤدي إلى خطر دخول الغازات من الطبقات، وبذلك يزداد الضغط خارج مواسير التغليف.

أما الحجر الإسمنتي المتشكل من تصلب السائل الإسمنتي فيجب أن يتمتع بالمواصفات الآتية:

- ✓ أن يكون الحجر الإسمنتي ذا متانة انضغاط أو شد كافية لتثبيت مواسير التغليف، ويقاوم مختلف الحمولات التي تنتج خلال عمل البئر، أو في مرحلة الإنتاج، وهذه المقاومة إما أن تزداد مع الزمن أو تبقى ثابتة.
- ✓ يجب أن لا يطرأ عليه عند التصلب أي تغيير في الحجم الذي قد يؤدي إلى تقليل قوة الترابط مع جدران البئر من جهة، ومع السطح الخارجي لمواسير التغليف من جهة أخرى.
- ✓ أن يقاوم التأثير التآكلي للموائع الطبقية، ويقاوم عمليات التشقيق الهيدروليكي.

2– <u>تلوث السائل الإسمنتي.</u>

يؤثر تلوث السائل الإسمنتي بصورة عكسية على زمن تصلب السائل الإسمنتي، كما يؤدي ذلك إلى نقصان المتانة الانضغاطية للحجر الإسمنتي، وفي حالات أخرى على أن تصبح الخلطة الإسمنتية غير قابلة للضخ.

يحدث التلوث عادة"عندما يلامس السائل الإسمنتي سائل الحفر أثناء إزاحة هذا الأخير في الفراغ الحلقي. فالسطح البيني بين السائلين غير ثابت ويتغير مع الوقت بسبب الاختلاف في الخواص الفيزيائية لكل من سائل الحفر والسائل الإسمنتي.

تعتمد درجة التداخل بين السائل الإسمنتي وسائل الحفر بدرجة كبيرة على تمركز مواسير التغليف داخل البئر، ونوع الجريان، والفرق في الكثافة بين السائل الإسمنتي وسائل الحفر. ففي حالة عدم تمركز مواسير التغليف داخل البئر، يتسرب السائل الإسمنتي إلى سائل الحفر من الجهة الأوسع من الفراغ الحلقي، حيث تكون المقاومة للجريان قليلة نسبيا"، والتي تؤدي إلى تشكل قنوات من سائل الحفر داخل السائل الإسمنتي وهي تمثل لاحقا" القنوات التي يتم من خلالها الاتصال مابين مختلف الطبقات . تلعب مركزة مواسير التغليف دورا" إيجابيا" في التقليل من تلوث السائل الإسمنتي بينما الحركة الترددية صعودا" ونزولا" لمواسير التغليف تكون أكثر فائدة في حالة كون تمركز مواسير التغليف جيد نسبيا". وعندما يستعمل الماء كفاصل لإزاحة سائل الحفر بدلا" من السائل الإسمنتي، أي يكون موقعه بعد سائل الحفر وقبل السائل الإسمنتي. بالإمكان تقليل تلوث السائل الإسمنتي بسائل الحفر بوضع الماء كفاصل بينهما بسبب اللزوجة المنخفضة للماء، الذي يسمح بحصول جريان مضطرب عند ضغوط ضخ أقل، مقارنة بالضغوط اللازمة عند استعمال سوائل (كفواصل) ذات لزوجة عالية. كما أن الكثافة المنخفضة للماء، التي تسمح للماء بتكوين قنوات داخل سائل الحفر، بالإضافة إلى حالة الاضطراب تساعد على تكسير البنية الهلامية لسائل الحفر. الفواصل أو الغاسل الكيميائي (Chemical wash) ، وهي عبارة عن عوامل مقللة للزوجة (Thinning Agents) تكون مشتتة داخل الماء، وهدفها تخفيف سائل الحفر، وبذلك تسمح بإزاحة فعالة لسائل الحفر من داخل البئر .

3- <u>تهيئة مواسير التغليف والبئر قبل عملية السمنتة.</u>

- **<u>تهيئة مواسير التغليف</u>:** يجب تنظيف الطبقة الواقية الموجودة على السطح الخارجي لمواسير التغليف قبل إنزالها داخل البئر، وذلك بهدف تحقيق الترابط الجيد بين الحجر الإسمنتي ومواسير التغليف. في بعض الأحيان يوصى بتغطية السطح الخارجي لمواسير التغليف بطبقة خشنة مثل Epoxy Resin، الذي يضاف إليه حبيبات ناعمة من الرمل ذات أحجام مختلفة.
- **<u>إنزال مواسير التغليف داخل البئر</u>:** وذلك باستعمال ممركزات على طول مواسير التغليف (في حالات نادرة) أو في الجزء السفلي من مواسير التغليف، أو مقابل الطبقة المنتجة. وذلك بهدف إبعاد مواسير التغليف عن جدران البئر، وبذلك تسمح بالحصول على حجر إسمنتي بسماكة متجانسة" حول مواسير التغليف، كما تسمح بتوزيع متساو للضغط الهيدروستاتيكي في الفراغ الحلقي، وبهذا تمنع احتمال استعصاء مواسير التغليف بسبب فرق الضغط الناتج عن الفرق بين ضغط عمود سائل الحفر في البئر وضغط الموائع في الطبقة (استعصاء تفاضلي). فعندما تكون المواسير غير متمركزة تكون في تماس مع جدران البئر, فالسرعة الأعلى للسائل الإسمنتي خلال عملية الإزاحة سوف تحدث في الفراغ الحلقي الأعظمي بينما في الفراغ الحلقي الضيق تنقص السرعة في نقاط التماس حيث لا تكون قادرة على إزاحة سائل الحفر المتهلم المحجوز هناك.

فالمركزة تحدد بالعلاقة التالية :

$$\%\text{Stand-off} = \frac{W.100\%}{Rh-Rc} \qquad (6-3)$$

حيثW: المسافة الصغرى بين مواسير التغليف وجدران البئر.

R_h: نصف قطر البئر.

R_c: نصف قطر مواسير التغليف.

إن تغير سرعة السائل الإسمنتي نتيجة المركزة السيئة تؤدي إلى تشكل القنوات داخل السائل الإسمنتي التي تتطور أو تنمو. كما أن ذلك يؤدي إلى زيادة معدل السرعة اللازمة لبدء تدفق السائل في الأجزاء الضيقة.

كما أن مواسير التغليف غير المتمركزة سوف تستند على جدران البئر حيث الطبقات النفوذة، والتي لها ضغط أقل من الضغط الذي يشكله عمود سائل الحفر, بالإضافة إلى كعكة الحفر التي سوف تشكل عازل حول مساحة التماس وفرق الضغط (الضغط التفاضلي)، كل ذلك سوف يؤدي إلى زيادة قوى الاحتكاك، والذي يمكن أن يمنع الحركة الشاقولية لمواسير التغليف.

أظهرت الدراسات الحقلية والمخبرية أنه عندما تكون درجة المركزة أقل من 60% تكون غير عملية وتكون المركزة فاشلة.

❖ **إبعاد كعكة الحفر:**

بهدف تحقيق ترابط جيد بين الحجر الإسمنتي وجدران البئر يجب إبعاد كعكة الحفر عن جدران البئر بواسطة استخدام القاشطات (الخادشات) التي تؤدي إلى تحقيق جريان اضطراب إضافي لتيار السائل الإسمنتي محسّنا"بذلك ظروف إزاحة سائل الحفر من قبل السائل الإسمنتي.

تستعمل حقليا"طريقة كيميائية لإبعاد كعكة الحفر بصورة منفصلة، أو مع الطريقة الميكانيكية، وذلك باستعمال سدادة غسل حامضية بحدود من $35-100FT^3$ يتم ضخها قبل السائل الإسمنتي، وذات تركيب كيميائي مكون من الماء و3%-2 حمض كلور الماء ومحلل استحلاب.

❖ **تهيئة سائل الحفر:**

وذلك بتقليل اللزوجة البلاستيكية ومقاومة الجل لسائل الحفر الموجود داخل البئر، الذي يؤدي شروط إزاحة جيدة، ويقلل من الضغط اللازم على مساحة التماس بين السائل الإسمنتي وسائل الحفر لتحقيق إزاحة جيدة.

عند إنزال مواسير التغليف داخل البئر، ونتيجة احتكاكها مع جدران البئر، تتكون كتل من كعكة الحفر وبعض الصخور، الأمر الذي يؤدي إلى تغيير في مواصفات سائل الحفر، وربما يؤدي إلى دخول الغازات من الطبقات، حيث يتطلب في هذه الحالة ضغط ضخ كبير أثناء عملية السمنتة لإزاحة سائل الحفر بواسطة السائل الإسمنتي، الذي قد يسبب تشقق الطبقات. كما أن كتل كعكة الحفر قد تسبب إغلاق الفراغ الحلقي، وبذلك يتوقف دوران السائل الإسمنتي، كما أن دخول الغاز وتحركه نحو الأعلى (السطح) مع سائل الحفر قد يسبب حدوث اندفاع. ومن أجل منع حدوث المشاكل المذكورة أعلاه يصار إلى تدوير سائل الحفر بهدف تجانسه، حيث أظهرت التجارب المخبرية أن تجانس سائل الحفر يحسن كفاءة الإزاحة بحدود 34% .

4- نوعية البئر، وتشمل:

☒ - **شاقولية البئر:**

عمليا"، فإن معظم الآبار النفطية غير شاقولية سواء" بسبب الحفر(الانحراف)، أو بسبب تصميم البئر أصلا" بأن يكون مائلا". في مثل هذه الحالات تكون الإزاحة غير كاملة، بسبب عدم تمركز مواسير التغليف داخل البئر، حيث ستستند على جدار البئر، وفي منطقة التماس يبقى سائل الحفر بدون إزاحة من قبل السائل الإسمنتي، الأمر الذي يؤدي إلى تكوين حجر إسمنتي غير متجانس من جهة، وحدوث قنوات من سائل الحفر داخل السائل الإسمنتي من جهة أخرى. وبهدف التغلب على هذه المشكلة من الضروري استعمال ممركزات مع مواسير التغليف لتأمين الوضع المركزي للمواسير داخل البئر.

☒ **وجود مقعد الخابور (المفتاح) (Key seats):**

بما أن نجاح عملية السمنتة يعتمد على درجة إزاحة سائل الحفر من قبل السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي، وتحقيق تماس مباشر بين السائل الإسمنتي ومواسير التغليف من جهة، ومع جدار البئر من جهة أخرى، لذا يجب معرفة مناطق تجمع سائل الحفر وكعكة الحفر لغرض إبعادها. إن المناطق التي يحدث فيها أكبر تجمع لسائل الحفر هي مقعد الخابور. وبما أن السائل الإسمنتي يجري من خلال المناطق التي فيها أقل مقاومة هيدروليكية، لذا سوف تبقى لدينا قناة تمكن الطبقات من خلالها أن تتصل فيما بينها، مؤدية إلى عدم تحقيق الهدف الرئيسي من عمليات السمنتة، والذي هو عزل الطبقات ومنع الاتصال فيما بينها.

☒ **انتظام قطر البئر:**

يؤدي وجود منطقة ذات قطر صغير – بسبب انتفاخ الغضار أوالشيل في البئر– إلى ظهور ضغوط إضافية أثناء عملية السمنتة، التي قد ينتج عنها توقف لعملية السمنتة أو تشقق لبعض الطبقات التي تقع أسفل هذه المنطقة. أما إذا كان قطر البئر كبيرا" في منطقة ما بسبب التهدم أو عبور طبقة ملحية، فإن ذلك يؤدي إلى عدم وصول السائل الإسمنتي إلى الارتفاع المطلوب، أو بقاء كميات كبيرة من سائل الحفر غير مزاحة.

☒ **نوعية كعكة الحفر:**

تعتمد درجة ترابط الحجر الإسمنتي بجدار البئر على درجة التماس بين السائل الإسمنتي وجدار البئر، لذا من المفروض استعمال سائل الحفر، الذي تكون فيه كعكة الحفر ذات سماكة قليلة، والتي يمكن إزاحتها بسهولة من على جدار البئر بواسطة القاشطات، أو باستعمال مواد كيميائية خاصة بعد إكمال عملية السمنتة. في حال عدم إزالة كعكة الحفر فإنها تتحطم مع الزمن، وبذلك تتكون قنوات بين الإسمنت وجدار البئر، مما يؤدي إلى حدوث اتصال فيما بينها في حالة كون سماكة كعكة الحفر كبيرة. وبما أن السماكة الكبيرة لكعكة الحفر تزيد من مساحة التماس بين مواسير التغليف وهذه الكعكة ، وأن مواسير التغليف ستدفع نحو جدار البئر أكثر بسبب فرق الضغط، الأمر الذي يؤدي إلى استحالة تحريك مواسير التغليف صعودا" أو نزولا"، أو دورانه بهدف تنظيف جدار البئر من كعكة الحفر بواسطة القاشطات. للأسباب أعلاه من الضروري تنظيف جدار البئر من كعكة الحفر قبل البدء بإنزال مواسير التغليف وعملية السمنتة.

☒ **وجود منطقة فقدان دوران السائل الإسمنتي:**

يشكل فقدان السائل الإسمنتي في الطبقات أحد المشاكل الرئيسية لعمليات السمنتة، حيث يؤدي هذا الفقدان إلى عدم رفع عمود السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي إلى الارتفاع المقرر له، الأمر الذي يسبب دخول الموائع الطبقية إلى الفراغ الحلقي، وبالتالي حدوث اندفاع البئر، بالإضافة إلى تعقيدات كثيرة عند وضع البئر ففي الإنتاج. يحدث تشقق الطبقات بسبب الضغط الهيدروديناميكي الكبير الذي يسلط على جدار وقاع البئر، وأن هذا الضغط يزداد في حالة زيادة سرعة السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي، وكذلك في حالة وجود فرق كبير بين كثافة السائل الإسمنتي وسائل الحفر. كما أن لسرعة إنزال مواسير التغليف في الآبار العميقة وذات الفراغ الحلقي الصغير نسبيا" تأثيراً كبيراً على حدوث هذا التشقق. وعليه في حالة وجود مثل هذه المناطق من الضروري إغلاقها أثناء عملية الحفر، لغرض تأمين ظروف طبيعية لعملية السمنتة. وفي حالة تعذر ذلك تستعمل طرق معينة للعزل كالسمنتة على مراحل، أو بواسطة الدوران العكسي وغيرها، وكذلك استعمال خلطات إسمنتية مخففة باستعمال الإضافات المبينة في الفصل السابق.

☒ **سعة الفراغ الحلقي:**

إذا كان الفراغ الحلقي كبيرا"، فإن خطر تكوين قنوات من سائل الحفر داخل الإسمنت يكون كبيرا"، وتكون كمية الإسمنت الواجب استعمالها أكبر، وكذلك تكون عملية التثقيب أصعب. أما إذا كان الفراغ الحلقي صغيراً نسبيا"، فإن هبوط الضغط فيه يكون كبيرا"، وقد يؤدي ذلك الى تشقق الطبقات وفقدان السائل الإسمنتي فيها ، وبذلك نرجع إلى الحالة السابقة. لقد أوضحت بعض التجارب بأن قطر الفراغ الحلقي الإعتيادي يجب أن يحقق الشرط الآتي:

$$D_h = (1.30 - 1.35). D_c \qquad (7-3)$$

حيث D_h: قطر البئر، (إنش).

D_c: قطر مواسير التغليفنش، (إنش).

5- إزاحة سائل الحفر من قبل السائل الإسمنتي:

تعتمد درجة الإزاحة (النسبة بين حجم السائل المزاح وحجم الفراغ الكلي ضمن منطقة صعود السائل الإسمنتي) بدرجة كبيرة على خواص كل من سائلي الحفر والإسمنت, تلوث سائل الحفر بالسائل الإسمنتي الذي يحدث في منطقة تماس السائلين، وعلى طبيعة جريان السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي. فالعلاقة بين خواص كل من السائلين وظروف البئر محددة بواسطة عامل يدعى عامل النجاح (Success Coefficient)، والمعبر عنه بالمعادلة الآتية:

$$C_s = (\rho_{cs}-\rho_m).d/\zeta_m \qquad (8-3)$$

حيث ρ_m , ρ_{cs}: كثافة سائل الحفر والسائل الإسمنتي على التوالي

d: المسافة بين جدار البئر ومواسير التغليف $d = (d_h-d_c)/2$.

d_c , d_h: قطر مواسير التغليف وقطر البئر على التوالي

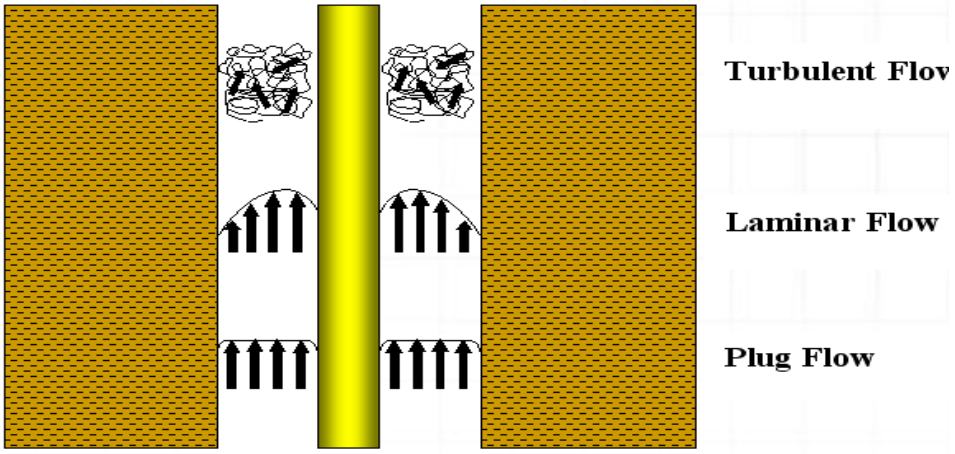
ζ_m: جهد القص(shear stress) لسائل الحفر .

للحصول على عملية سمنتة ناجحة .يجب أن يكون **Cs** أكبر أو على الأقل يساوي 30 .

إن عامل النجاح لا يفي بجميع الشروط، لأنه يهمل تأثير نوعية الجريان، ولهذا فإنه يستعمل في الجريان الصفحي فقط. لقد بينت الدراسات بأن هناك العديد من العوامل التي تؤثر عل كفاءة إزاحة سائل الحفر من قبل السائل الإسمنتي ومنها:

.نوعية الجريان، الشكل (3-19):

بينت التجارب الحقلية أنه في حالة الجريان السدادي(Plug Flow)، حيث تكون سرعة السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي أقل من 1 ft/s فإن درجة الإزاحة تكون حوالي 60% من سائل الحفر من قبل السائل الإسمنتي، وفي حالة الجريان الصفحي، حيث تتراوح السرعة بين 1-5.25 ft/s تتم إزاحة 90% من سائل الحفر. أما في الجريان المضطرب، وعندما تكون السرعة بحدود 8 ft/s أو أكثر، فإن إزاحة سائل الحفر من قبل السائل الإسمنتي تكون بحدود 95% . وبهدف الحصول على جريان مضطرب تستعمل العديد من الإضافات مثل المشتتات ومقللات اللزوجة.



الشكل(3-19): أنواع الجريان.

بينت التجارب أنه عند تطبيق الجريان المضطرب أو السدادي يتم الحصول على إزاحة مثلى، وتكوين قنوات أقل، وتكوين حجر إسمنتي ذي متانة جيدة حول مواسير التغليف، وأن الجريان المضطرب هو الأكثر قبولا" في عمليات السمنتة، بينما في الجريان الصفحي يكون مقطع السرعة في الفراغ الحلقي قطعاً مكافئاً (parabolic)، الأمر الذي يساعد على تكوين قنوات من سائل الحفر داخل السائل الإسمنتي.

- **تأثير خواص سائل الحفر والسائل الإسمنتي على كفاءة الإزاحة:**

لقد بينت التجارب بأن للفرق بين كثافتي السائل الإسمنتي وسائل الحفر تأثيراً كبيراً على كفاءة الإزاحة، حيث أنه كلما زاد هذا الفرق بين هاتين الكثافتين زادت كفاءة الإزاحة وإلى حد معين. وبعد ذلك الحد فإن الاستمرار في زيادة الفرق يكون له تأثير أقل على تحسين الكفاءة. وقد أوضحت هذه التجارب بأنه يجب أن تكون كثافة السائل الإسمنتي أكبر من كثافة سائل الحفر بمقدار 3.5-4.5lb/gal وذلك بهدف الحصول على أفضل إزاحة. كما أن للفرق في اللزوجة ومقاومة الجل تأثيرا" كبيرا" أيضا" على

كفاءة الإزاحة، حيث أنه كلما زاد الفرق بين لزوجة ومقاومة الجل للسائل الإسمنتي من جهة، ولزوجة ومقاومة الجل لسائل الحفر من جهة أخرى ، فإن كفاءة الإزاحة تزداد بدرجة كبيرة، ولكن إلى حد معين، حيث أن الاستمرار في زيادة هذا الفرق يكون له تأثير أقل على الكفاءة. واستنادا" إلى التجارب الحقلية، وبهدف الحصول على أفضل إزاحة، يجب أن تكون مقاومة الجل للسائل الإسمنتي أكبر من مقاومة الجل لسائل الحفر بمقدار ($25-35lb/100ft^3$) ، وبما أن زيادة مقاومة الجل لحجم السائل الإسمنتي بكامله غير ملائمة حقليا"، لذا يفضل زيادة مقاومة الجل للجزء الأول من السائل الإسمنتي، والذي يكون على اتصال مباشر مع سائل الحفر في الفراغ الحلقي، والذي بإمكانه أن يتعامل مع الإزاحة وكأن كامل حجم السائل الإسمنتي قد ازدادت مقاومته للجل. أما تأثير الفرق في اللزوجة البلاستيكية مابين السائل الإسمنتي وسائل الحفر فهو قليل نسبيا"، حيث أنه بازدياد الفرق تتحسن كفاءة الإزاحة ببطيء.

- **<u>استعمال السوائل الفاصلة:</u>**

من أجل نجاح عملية السمنتة الأولية فإن السائل الإسمنتي يجب أن يزيح سائل الحفر حول مواسير التغليف. فسائل الحفر والسائل الإسمنتي يشكلان غالباً عند تماسهما قنوات أو كتلة لزجة غير قابلة للضخ، ولمنع حدوث مثل هذه المشكلة يتم إدخال سائل وسطي بينهما، تدعى هذه السوائل بسوائل الفصل (spacer fluid) أو السوائل المساعدة ، وهي تستخدم لتحقيق عدة أهداف، ولكن معظمها يستخدم لتحسين فعالية إزاحة سائل الحفر, والتقليل من تلوث السائل الإسمنتي بسائل الحفر، وتحسين نزع كعكة الحفر، وتحسين التصاق الحجر الإسمنتي بجدران البئر ومواسير التغليف. تضخ هذه السوائل أمام السائل الإسمنتي، وعندما تستخدم يجب أن نأخذ بالاعتبار المحافظة على الضغط الهيدروستاتيكي عند رأس البئر في الفراغ الحلقي.

عند استخدام سوائل حفر ذات أساس مائي فإنه يفضل استخدام الماء كسائل فصل بسبب لزوجته القليلة، حيث يسمح الماء بحدوث الجريان الاضطرابي، وبذلك يعطي التأثير الأعلى لتنظيف جدار البئر بالإضافة لكلفته القليلة . وعندما يجب زيادة الوزن النوعي لسائل الفصل يجب إضافة مواد لزيادة اللزوجة (عادة يستخدم HEC, polmer,)، وذلك للحفاظ على البارايت بشكل معلق. وعند استخدام سوائل حفر ذات أساس زيتي، فإنه من الضروري أن يكون جدار البئر مرطباً بالماء (water wet)، وأن يكون سائل الفصل ذا أ ساس زيتي، حيث يحتوي على مقللات توتر سطحي غير شاردية، يتبع بالماء الذي يحتو ي على مقللات توتر سطحي لترطيب الماء، ويمكن أن يزاد وزنه بنفس الطريقة التي يزاد بها الوزن النوعي لسوائل الفصل ذات الأساس المائي. يبلغ حجم سائل الفصل $4m^3$(25bbls) وتركيز مقللات التوتر السطحي بنسبة حجمية% (4-1).

يستخدم الماء العذب لمزج سوائل الفصل البولميرية، والتي لا تتهدرج جيداً في مياه البحر. والماء العذب يستخدم كفاصل، حتى إذا كان السائل الإسمنتي محضراً باستخدام ماء البحر, وخاصة إذا تطلب ذلك إماهة البولمير. في المساحات ذات المحتوى القليل من الماء تضاف ماءات الصوديوم إلى الماء للمساعدة في إماهة البولمير. وفي الجدول (3-5) نبين تحضير سوائل الفصل من أجل سوائل الحفر ذات الأساس المائي وسوائل الحفر ذات الأساس النفطي.

الجدول (3-5): تحضير سوائل الفصل من أجل سوائل الحفر ذات الأساس المائي، و ذات الأساس النفطي.

مكونات سوائل الفصل (12.5ppg, 1.5kg/l)	سوائل حفر ذات أساس مائي	سوائل حفر ذات أساس نفطي
ماء عذب	8231 kg /m^3	776 kg/m^3
Caustic	0.9kg/m^3	0.9 kg/m^3
Gw-22,polmer	3 kg/m^3	3 kg/m^3
Mcs-G, surfactant	24kg/m^3	36 kg/m^3
D-4GB, surfactant	-	36 kg/m^3
Barite	646.5kg/m^3	645.7 kg/m^3

يجب أن تحقق سوائل الفصل الشروط الآتية :

1- أن لا تؤثر على لزوجة السائل الإسمنتي عند تماسه به في ظروف درجات الحرارة العالية، وخاصة إذا كانت كثافة السائل الإسمنتي عالية.

2- أن لا تؤثر على زمن تثخين السائل الإسمنتي عند التماس مع السائل الإسمنتي.

3- أن يمكّن من زيادة كثافته (التثقيل) لأية كثافة مطلوبة وملائمة لكثافة سائل الحفر والسائل الإسمنتي.

4- أن تكون ذات خواص جريانية تسمح بجريان مضطرب عند معدل ضخ قليل.

5-يجب أن تتحمل كميات من الأجزاء الصلبة.

6-يجب أن لا تسمح بتكوين قنوات من السائل الإسمنتي داخلها، وذلك لتحقيق عزل تام بين السائل الإسمنتي وسائل الحفر.

7-يجب أن يكون فاقد رشحها قليل كي لا تؤثر على الطبقات.

بهدف تحقيق الشروط أعلاه، يتم تحضير سائل عزل من نوع مستحلب عكسي مكون من حجوم متساوية من الماء وزيت الديزل. طول هذا الفاصل يمكن تحديده بالعلاقة الآتية، والتي هي حصيلة تجارب حقلية ومخبرية.

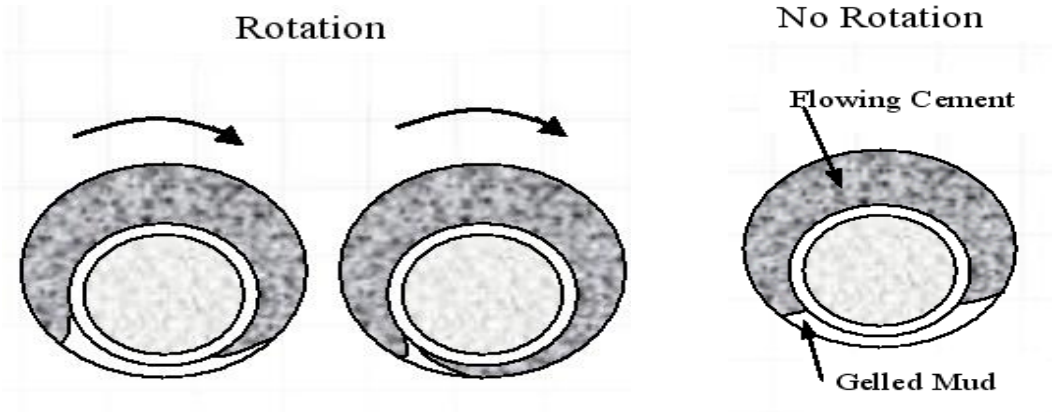
$$L_{am} = (0.1-0.15) \cdot L_c \qquad (9-3)$$

$$V_{am} = (0.12-0.17) \cdot V_c \qquad (10-3)$$

حيث أن: L_{am} , L_c: ارتفاع منطقة العزل، وارتفاع السائل الإسمنتي على التوالي.

V_c, V_{am} : حجم منطقة العزل، وحجم السائل الإسمنتي على التوالي.

بينت التجارب المخبرية بأنه لضخ عازل مائي قبل عملية السمنتة تأثير متوسط على كفاءة الإزاحة عند استعمال سائل حفر ذي كثافة ومقاومة جل منخفضتين، كما أن لهذا العازل تأثير قليل على كفاءة الإزاحة عند استعمال سائل حفر ذو مقاومة جل عالية. كما أثبتت التجارب أنه بالإمكان تحقيق كفاءة إزاحة جيدة أثناء ضخ السائل الإسمنتي عن طريق تحريك مواسير التغليف صعودا"ونزولا" وتدويرها وخاصة منها ذات القطر الكبير، لغرض منع تكون قنوات من السائل الإسمنتي داخل سائل الحفر وتكوين جريان مضطرب في السوائل الجارية. وفي الشكل (3–20) نبين تأثير تدوير مواسير التغليف على كفاءة الإزاحة.



الشكل (3–20): تأثير تدوير مواسير التغليف على كفاءة الإزاحة.

6– <u>ترابط الإسمنت (*Cement Bonding*) :</u>

إن الهدف من سمنتة مواسير التغليف أو المواسير الضائعة هو تحقيق عزل جيد للطبقات، وإغلاق دخول الغازات والسوائل غير المرغوب بها. فالعزل الجيد للإسمنت سوف يمنع تدفقه بين الطبقات خلف مواسير التغليف. إن إنجاز هذا الهدف من العزل التام يتطلب ليس فقط العزل بين الإسمنت ومواسير التغليف ولكن بدرجة متساوية بين الإسمنت والطبقة .

- **<u>ترابط القص أو مقاومة ترابط القص (*Shear bond strength*)</u> :**

ترابط القص هو الترابط الذي يحقق الدعم الميكانيكي لعمود مواسير التغليف في البئر، و يحدد بقياس القوة اللازمة لتبدأ المواسير بالحركة في غلاف الإسمنت (*cement sheath*) . وتعتمد قيمة هذه القوة على نوع الإسمنت، وعلى فعالية الإزاحة. هذه القيمة عادة هي أكبر بكثير من القوة اللازمة لدعم مواسير التغليف . إن القيمة النظرية اللازمة لمقاومة ترابط القص يمكن أن تكون منخفضة بمقدار *5 Psi* على الأقل، و هذه القيمة سوف تنجز مع مقاومة الانضغاط بشكل تقريبي حوالي *50 Psi*.

- **<u>الترابط الهيدروليكي (Hydraulic Bond)</u>**

الترابط الهيدروليكي هو ترابط الإسمنت مع مواسير التغليف، والإسمنت مع الطبقة. هذا الترابط يساعد في منع انتقال السوائل، وأيضا في عزل الطبقات خلال أي حقن لاحق للسائل (تحسين – حقن الماء . . . الخ).

ويتأثر الترابط الهيدروليكي بالعوامل الآتية :

1– وجود طبقة رقيقة (*film*) من سائل الحفر على مواسير التغليف .

2- وجود فراغات ميكروية (*micro – annuals*) بسبب تمدد وتقلص مواسير التغليف.

3- انكماش (*shrinkage*) الإسمنت خلال التصلب (*setting*).

4- نعومة سطح مواسير التغليف .

5- مقاومة الانضغاط للحجر الإسمنتي .

6- إصلاح خواص سائل الحفر إلى القيم الأقل قدر الإمكان (اللزوجة ، التهلم) قبل إنزال مواسير التغليف.

7- استخدام الممركزات والقوا شط (الخادشات) أو منظفات القشرة الطينية .

الخلائط الإسمنتية المخففة

Lightweight cement slurries

4-1- مقدمة:

في سمنتة آبار النفط و الغاز عادة فإن الضغط الهيدروستاتيكي الذي يشكله عمود السائل الإسمنتي يجب ألا يتجاوز ضغط تشقيق الطبقة عند أي نقطة في المجال المفتوح من البئر . فإذا تجاوز هذا الضغط ضغط تشقق الطبقة فإن ذلك سوف يؤدي إلى مشكلة فقدان للسائل الإسمنتي في الطبقة، الجدول (4-1).

الجدول (4-1) تصنيف شدة التهريب.

نوع التهريب	شدة التهريب
تسرب	أقل من (*1.5 m^3/hr*) *10 bbl/hr*
تهريب جزئي (مع راجع)	أكثر من *10 bbl/hr* لكن مع وجود راجع
تهريب كلي	عدم وجود راجع

تعتبر مشكلة فقدان السوائل خلال عمليات الحفر , وإنزال مواسير التغليف وعمليات السمنتة في الطبقات ذات النفوذية العالية, والطبقات المتكهفة , والطبقات المتشققة ، والطبقات ذات الضغوط الطبقية المنخفضة ، من المشاكل الكثيرة الانتشار في آبار النفط و الغاز ، وتتميز بكلفة عالية جداً ، حيث تكلف مئات الملايين من الدولارات كل عام . تؤدي هذه المشكلة إلى عدم وصول السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي إلى الإرتفاع المخطط له ، أو إلى وجود ترابط سيئ في المجال المسمنت ، وبذلك يفقد السائل الإسمنتي إحدى أهم وظائفه في تدعيم مواسير التغليف وعزل الطبقات ، وما ينتج عن ذلك من حدوث تآكل لمواسير التغليف، ينجم عنه فقدان العازلية وحدوث اتصال هيدروديناميكي بين البئر والتشكيلات الجيولوجية، ويتبعه بالضرورة فقدان في الطاقة الطبقية، وحدوث مشاكل بيئية ناجمة عن تسرب المائع الطبقي إلى المخزون المائي. إن هذه المشاكل قد لا تكون واضحة مباشرة بعد استثمار البئر، و لكن مع مرور الزمن تتفاقم ، وقد تصبح غير قابلة للإصلاح ، و في بعض الحالات، فإن عمليات السمنتة الإصلاحية يمكن أن تكون كافية لإصلاح الضرر، و لكنها قد تكون مكلفة وتستهلك زمناً كبيراً ، كما أن احتمال نجاحها قليل .

إن اختيار التقنيات المختلفة [8] والمواد التي تخفف أو تقلل من فقدان السوائل خلال عملية السمنتة موضحة في الجدول (4-2) .

لجدول (4-2): التقنيات المختلفة التي تقلل من فقدان السائل الإسمنتي



في بعض الحالات يكون تقليل كثافة السائل الإسمنتي كافٍ لتجنب فقدانه، وهذه الكثافة يمكن تخفيضها باستخدام سائل إسمنتي رغوي، أو بإضافة مواد باسطة، وهي مواد ذات كثافة قليلة، تسمح بإمكانية زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت. كما أن اختلاف نظام الضخ لخلطات إسمنتية مختلفة، كخلطة إسمنتية أمامية (Lead slurry) وخلطة إسمنتية تابعة (tail slurry) يمكن أن تقلل من مشاكل فقدان السائل. كما أن تخفيض ضغط الإحتكاك خلال الإزاحة يمكن أن يخفف بعض مشاكل التهريب، لأن تقليل ضغط الاحتكاك يخفض من الضغط المطبق بواسطة السائل الإسمنتي على الطبقة. كما تعتبر عملية ضبط الخواص الريولوجية للسائل الإسمنتي باستخدام مقللات اللزوجة، وتغير تركيز الإضافات المقللة لفاقد الرشح , وإضافات منع ترسب حبيبات الإسمنت، أو إنقاص معدل الضخ، من العوامل التي تقلل الضياعات خلال عملية السمنتة. كما أن السمنتة المرحلية التي تستخدم لسمنتة جزء من البئر على مراحل باستخدام أدوات خاصة، والتي تعزل كل مرحلة عن الأخرى، هذه العملية تقلل من ارتفاع عمود السائل الإسمنتي، وتقلل من الضغط الهيدروستاتيكي والديناميكي ولكن من جهة أخرى، فإن عمليات السمنتة المتعددة المراحل تتطلب زمنا أكبر من الزمن الذي تتطلبه عملية السمنتة بمرحلة واحدة،

بالإضافة إلى خطورة تلوث السائل الإسمنتي في المرحلة الأولى بالسائل الإسمنتي للمرحلة الثانية، كما أن الوصلة الإسمنتية تعتبر نقطة ضعف في مواسير التغليف .

إن الاختيار الآخر لإنقاص الضياعات إلى الحد الأدنى خلال عملية السمنتة هو استخدام خلائط إسمنتية تيكسوتروبية (*Thixotropic*)، وهي سوائل تتهلم عند توقف الضخ، حيث تنمو مقاومة التهلم بسرعة كبيرة في حال ضياعها في الطبقة، وتؤدي إلى إغلاق لمنطقة التهريب . ولتجنب تهريب السائل الإسمنتي في الطبقة، فإن كثافة السائل الإسمنتي النظامي يجب أن تقلل إلى الحد الذي يصبح عنده الضغط الهيدروستاتيكي وضغط الاحتكاك أقل من ضغط تشقق الطبقة، وهذا يتم باستخدام خلطات إسمنتية مخففة، حيث أن هذه الخلطات تحمي مواسير التغليف من المشاكل أثناء الارتفاع الكبير الذي تصل إليه في الفراغ الحلقي، مقارنة مع الارتفاع الذي تصله السوائل الإسمنتية النظامية، كما أن استخدامها يعطي إمكانية قليلة لتشقق الطبقات، أو حدوث فقدان للسوائل الإسمنتية في الطبقات المتشققة والمتكهفة، كما أنه يؤدي إلى إمكانية سمنتة الطبقات على مرحلة واحدة، أو على الأقل إنقاص عدد مراحل السمنتة .

ومن المهم الإشارة إلى أن هذه الطرق التي تستخدم لتقليل كثافة السائل الإسمنتي، والتي سوف تنتج عنها خلطات إسمنتية مخففة، يمكن أن تعطي أحيانا أفضل الحلول، ولكنها ليست الحل الأفضل لكل الحالات، ففي عمليات سمنتة الآبار في العالم، فإن كل بئر هو حالة قائمة بحد ذاتها (Case –by– Case) ومن المهم قبل اختيار الخلطة الإسمنتية المخففة معرفة المشاكل و الأهداف و الفوائد التي يراد تطبيقها في الآبار بشكل استثنائي .

4–1–2– استخدام الخلائط الإسمنتية المخففة[8]:

تستخدم السوائل الإسمنتية المخففة (وزن نوعي قليل) في الآبار التي استعمل فيها سائل حفر بوزن نوعي قليل، والتي أدت إلى تسرب السائل المخفف في الطبقة ولم يتم عزلها جيداً قبل عملية التغليف. كما تستخدم في الآبار التي تتطلب رفع الإسمنت في الفراغ الحلقي إلى مسافة كبيرة عن حذاء مواسير التغليف (سمنتة الطبقات الغازية، والتي يرفع فيها الإسمنت حتى السطح، طول المجال المفتوح من البئر كبير ويتكون من طبقات تتطلب بأكملها العزل بالإسمنت)، و عزل المجالات ذات الضغوط الطبقية المنخفضة. يخفف الوزن النوعي للسائل الإسمنتي باستعمال نسب مرتفعة من الماء إلى الإسمنت، حيث تستخدم القيم العظمى لهذه النسب، والتي يتمكن عندها الخليط من التصلب (علما أن النسبة المسموح بها هي (% 65) . إذا كانت القيمة العظمى لنسبة الماء إلى مسحوق الإسمنت غير كافية (مازال الوزن النوعي للسائل أكبر من اللازم) تعالج الخلطة الإسمنتية بمقللات للوزن النوعي، والتي تدعى المواد الباسطة Extenders).

4–1–3– الإضافات المخففة للوزن النوعي للسوائل الإسمنتية[1]:

تستخدم المواد المقللة للوزن النوعي للسائل الإسمنتي (*Cement Extenders*) بشكل روتيني لإنجاز واحد أو كل من الأهداف التالية :

1– إنقاص كثافة السائل الإسمنتي :

إن إنقاص كثافة السائل الإسمنتي تؤدي إلى إنقاص الضغط الهيدروستاتيكي خلال عملية السمنتة و هذا يسهم في منع حدوث تهريب للسائل الإسمنتي (*Lost circulation*) أوحدوث تشقق للطبقة الضعيفة (*break down of weak formation*) .

إضافة إلى ذلك فإن عدد مراحل سمنتة الآبار يمكن أن تنخفض(تقليل من عدد مراحل السمنتة) .

2- زيادة إنتاجية السائل الإسمنتي:

تقلل المواد الباسطة من كمية الإسمنت اللازم لإنتاج حجم معين من السائل الإسمنتي

تصنف المواد المقللة للوزن النوعي للسائل الإسمنتي إلى ثلاث مجموعات و التي تعتمد على آلية إنقاص الكثافة و زيادة الإنتاجية و غالبا يستخدم أكثر من نوع من المواد الباسطة في نفس السائل الإسمنتي.

- مواد تسمح بزيادة نسبة الماء إلى الإسمنت (*Water extender*)، ومثال هذه المواد الغضار (*clays*)، والذي يسمح بزيادة كبيرة لنسبة الماء إلى المسحوق الإسمنتي (يمكّن من استخدام القيمة الحدية العظمى). ومثل هذه المواد الباسطة تحافظ على تجانسية السائل الإسمنتي، وتمنع ظهور نسبة كبيرة من الماء الحر.
- إضافة مواد ذات كثافة قليلة، حيث تكون كثافة هذه المواد أقل من كثافة الإسمنت البورتلاندي (*3.15 g/m³*)، إذ تنخفض كثافة السائل الإسمنتي بشكل هام باستخدام هذه المواد .
- مواد باسطة غازية (*Gaseous Extenders*): مثل النتروجين أو الهواء الذي يمكن أن يستخدم لتحضير الإسمنت الرغوي بكثافة قليلة بصورة استثنائية، وبمقاومة انضغاط كافية , حيث أن تحضير وإزاحة مثل هذا النظام معقدة.

وفيما يلي نبين أنواع الخلائط الإسمنتية المخففة [8].

4-2- الخلائط الإسمنتية المحضرة باستخدام الغضار(البنتونيت):

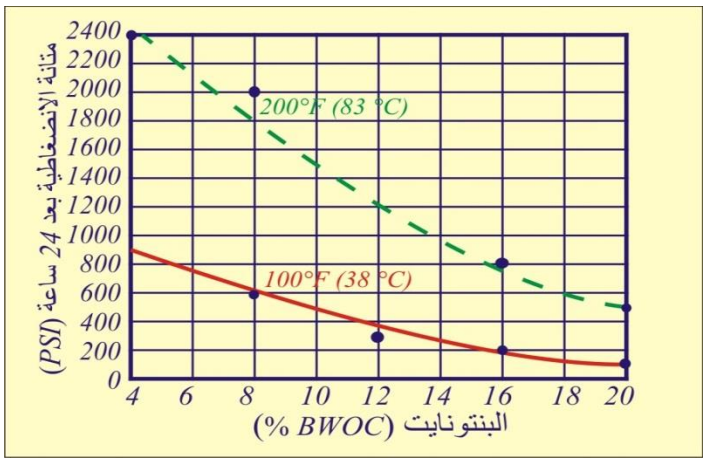
يعتبر البنتونايت من أهم المواد المقللة للوزن النوعي للسائل الإسمنتي، وذلك بسبب وزنه النوعي المنخفض، بالمقارنة مع الوزن النوعي للمسحوق الإسمنتي من جهة، ولكونه يحتفظ بكمية إضافية من الماء، وبالتالي يسمح بزيادة كبيرة لنسبة الماء إلى مسحوق الإسمنت، الأمر الذي يؤدي إلى تناقص الوزن النوعي للسائل الإسمنتي.

يضاف البنتونايت بتركيز حتى (BOWC *20%*)، ولكن عند إضافته بتركيز أعلى من *(6%)* تزداد لزوجة السائل الإسمنتي ومتانة الجل، لذلك يجب معالجة السائل الإسمنتي بمقللات اللزوجة. وحسب متطلبات *API* فإنه يجب إضافة *(5.3 %)* من الماء إلى كل *1 %* من البنتونايت، ومن جهة أخرى يجب أن يتم تحديد المحتوى المثالي للماء مع الإسمنت بشكل خاص كما يظهر الجدول (4-3). إن كثافة السائل الإسمنتي تنقص، وتزداد مقاومة الخضوع بسرعة مع زيادة تركيز البنتونايت. كما أن نفوذية ومقاومة الانضغاط للسائل الإسمنتي الشكل(4-3) تزداد مع زيادة تركيز البنتونايت، لذلك فإن مثل هذا الإسمنت أقل مقاومة لتأثير المياه الكبريتية والسوائل الأكالة، حيث أن التركيز العالي للبنتونايت

يؤدي إلى التحكم بفاقد الرشح. بالإضافة إلى ذلك فإن البنتونايت يعتبر من المواد الباسطة الفعالة عند درجات الحرارة المرتفعة.

الجدول (4-3): تأثير إضافة البنتونايت على خواص السائل الإسمنتي.

البنتونايت %	الصنف G – 44% ماء		
	حجم الماء (gal / sk)	كثافة الخلطة الإسمنتية (lb / gal)	الانتاجية (ft^3 / sk)
0	4.97	15.8	1.14
2	6.17	15	1.31
4	7.36	14.4	1.48
6	8.56	13.9	1.65
8	9.76	13.5	1.82
10	10.95	13.1	1.99
12	12.15	12.7	2.16
16	14.55	12.3	2.51
20	16.94	11.9	2.85



الشكل (4-1) تأثير إضافة البنتونايت على المتانة الإنضغاطية للحجر الإسمنتي.

إن وجود التركيز العالي لشوارد Ca^{++} في الطور المائي للسائل الإسمنتي يعيق (يمنع) إماهة البنتونايت، لذلك فإن الخواص الباسطة للبنتونايت يمكن أن تكون فعالة بشكل كبير إذا حدثت إماهة كاملة للغضار في الماء قبل مزج السائل الإسمنتي. إن السائل الإسمنتي الذي يحتوي 2% من البنتونايت المماه يكافئ 8% من البنتونايت المضاف بشكل جاف كما في الجدول (4-4).

الجدول (4-4): تأثير إضافة البنتونايت الجاف, البنتونايت المهدرج مسبقاً على خواص السائل الإسمنتي

بنتونايت % قبل الإماهة	بنتونايت جاف ممزوج %	ماء نقي	كثافة الخلطة (lb / gal)		خضوع السائل (ft^3 / sk)	
			قبل الإماهة	جافة وممزوجة	قبل الإماهة	جاف وممزوج
0.0	0	5.2	-	15.6	-	1.18
0.5	2	6.4	14.8	14.8	1.34	1.35
1.0	4	7.6	14.1	14.2	1.5	1.52
1.5	6	8.8	13.5	13.7	1.66	1.59
2.0	8	10	13.1	13.3	1.83	1.86
2.5	10	11.2	12.7	12.9	1.99	2.03
3.0	12	12.4	12.4	12.6	2.16	2.2
4.0	16	14.8	11.9	12.2	2.48	2.55
5.0	20	17.2	11.5	11.8	2.81	2.89

فالإماهة الكاملة للغضار ذي النوعية الجيدة تحدث في *30 min* . كما أن زمن التكاثف للخلطات الإسمنتية المعالجة بالغضار المماه هي بشكل عام نفسه للخلطات الإسمنتية المعالجة بالغضار الجاف. ويجب أن يلاحظ أن الغضار المماه لا يظهر أي تغيير في المتانة النهائية للحجر الإسمنتي .

البنتونايت يمكن أن يماه أو يهدرج في مياه البحر أو المياه القليلة الملوحة، لأن الملح يمنع الإماهة, وتنخفض نقطة الخضوع للسائل الإسمنتي . ولا يعتبر البنتونايت فعالاً كمواد باسطة في الخلطات الإسمنتية ذات درجات الملوحة العالية . ولذلك في مثل هذه الظروف يستخدم غضار الأتابولغيت $(Mg, Al)_5\ Si_8O_{22}(OH)_2.4H_2O$, والذي يعرف بالجيل- ملح (Salt-gel)، وهو بشكل ألياف أبرية، والتي تعطي لزوجة عند تشتتها في الماء ، بخلاف البنتونانيت, الذي لا يعطي أي تحسين في التحكم بفاقد الرشح، والذي نحصل عليه عندما يوجد الأتابولغيت في السائل الإسمنتي.

4-3- الخلائط الإسمنتية المحضرة باستخدام سيليكات الصوديوم:

تتفاعل السيليكات مع أكسيد الكالسيوم (*Lime*) في الإسمنت أو مع كلور الكالسيوم لتشكل سيليكات الكالسيوم الهلامية (*Calcium silicate gel*) ، حيث أن التركيب الهلامي يعطي المزيج لزوجة فعالة،

والذي يسمح باستخدام كمية كبيرة من ماء المزج دون حدوث انفصال للماء الحر. وهذه عملية منفصلة بشكل كلي عن تلك الآلية المتبعة عند إضافة المواد الباسطة الغضارية , التي تمتص الماء.

تستخدم سيليكات الصوديوم بشكل متكرر على الأغلب، وتوجد بشكل سائل أو صلب . إن الميزة الهامة للسيليكات هي فعاليتها, لأنها سهلة الاستخدام والتخزين, ومن جهة أخرى, فإن ميلها كمسرع يؤدي إلى إنقاص فاعلية الإضافات الأخرى, و بشكل خاص مبطئات التصلب وعوامل ضبط فاقد الرشح .

إن سيليكات الصوديوم الصلبة , Na_2SiO_3 (ميتا سيليكات الصوديوم) ,والتي تمزج عادة بشكل جاف مع الإسمنت، إذا أضيفت إلى الماء العذب قبل تحضير السائل الإسمنتي، فإن التركيب الهلامي (*gel*) يمكن أن لا يتشكل إذا لم يتم إضافة كلور الكالسيوم . إن التركيز اللازم إضافته من(Na_2Sio_3) تتراوح بين (*%* 3 – 0.2%) من وزن الإسمنت، هذا التركيز يعطي كثافة للسائل الإسمنتي تتراوح بين (*11–14.5 lb/gal*) ($1.35–1.75\ grf/cm^3$).

كما أن سيليكات الصوديوم السائلة (*$Na_2O\ (3–5)Sio_3$*)، والتي تدعى أيضا الماء الزجاجي (*Water* glass) تضاف إلى ماء الخلط قبل مزج السائل الإسمنتي.

إذا وجد كلور الكالسيوم في السائل الإسمنتي, فإنه يجب أن يضاف إلى ماء الخلط قبل إضافة سيليكات الصوديوم، لكي نحصل على خواص فعالة للمواد الباسطة .

يتراوح تركيز سيليكات الصوديوم الذي يتم إضافته في المجال(*0.2– 0.6 gal/Sk*) ،

إن الخواص النموذجية و متطلبات الأداء لميتاسيليكات الصوديوم مبينة في الجدول (4–5)

الجدول (4–5): الخواص النموذجية ومتطلبات الأداء لميتاسيليكات الصوديوم.

ميتا سيليكات الصوديوم	كثافة الخلطة	خضوع السائل	الماء		المتانة الانضغاطية 24 h (PSi)		زمن التثخن (hr : min)			
BWOC %	Lb/ gal	Ft^3/sk	Gal/sk	%	120 °F	140 °F	103 °F	113 °F	125 °F	140 °F
0	15.8	1.15	4.97	44	4770	5310	4:05	3:10	2:35	-
0.15	14.5	1.38	6.77	60	1746	2248	3:20	2:37	2:10	-
1	14.5	1.38	6.77	60	1896	2175	2:40	1:34		-
0.25	14	1.51	7.68	68	1420	1510	-	-	-	-
1	14	1.51	7.68	68	1640	1723	-	-	-	-
0.5	13.5	1.66	8.81	78	946	1278	-	3:30	2:10	-
2	13.5	1.66	8.81	78	1327	1420	1:53	1:28		-

زمن التثخن (hr : min)				المتانة الانضغاطية 24 h (PSi)		الماء		خضوع السائل	كثافة الخلطة	ميتا سيليكات الصوديوم
140 °F	125 °F	113 °F	103 °F	140 °F	120 °F	%	Gal/sk	Ft^3/sk	Lb/ gal	BWOC %
-	-	-	-	927	750	90	10.17	1.84	13	**0.5**
-	-	-	-	1080	120	90	10.17	1.84	13	**2**
5:00	5:00	5:00	5:00	625	382	104	11.75	2.05	12.5	**0.75**
-	-	1:43	5:00	653	633	104	11.75	2.05	12.5	**2**
-	-	-	-	380	265	122	13.78	2.32	12	**1**
-	-	-	-	510	420	122	13.78	2.32	12	**2**
5:00	5:00	5:00	5:00	230	147	147	16.6	2.69	11.5	**1.5**
-	-	1:27	5:00	289	271	147	16.6	2.69	11.5	**3**
-	-	-	-	175	102	180	20.34	3.2	11	**2**
-	-	-	-	205	145	180	20.34	3.2	11	**3**

كما أن سيليكات الصوديوم السائلة ($Na_2O\ (3\text{-}5)Sio_3$)، والتي تدعى أيضا الماء الزجاجي (*Water* glass) تضاف إلى ماء الخلط قبل مزج السائل الإسمنتي.

إذا وجد كلور الكالسيوم في السائل الإسمنتي, فإنه يجب أن يضاف إلى ماء الخلط قبل إضافة سيليكات الصوديوم، لكي نحصل على خواص فعالة للمواد الباسطة .

يتراوح تركيز سيليكات الصوديوم الذي يتم إضافته في المجال(*0.2- 0.6 gal/Sk*) ، وفي الجدول (4–6) نبين تأثير إضافة سيليكات الصوديوم السائلة على خواص الخلطة الإسمنتية.

الجدول (4–6): تأثير إضافة سيليكات الصوديوم السائلة على خواص الخلطة الإسمنتية.

زمن التصلب. BHST (hr :min)			تركيز السيليكات السائلة	كثافة الخلطة	
175 °F (79 °C)	113 °F (45 °C)	103 °F (39 °C)	(Gal/ sk)	g/Cm^3	Lb/gal
-	1:40	2:20	**0.2**	**1.7**	**14.2**

-	2:00	3:00	**0.3**	**1.63**	**13.6**
-	2:20	3:40	**0.36**	**1.56**	**13**
1:50	2:30	4:00	**0.42**	**1.5**	**12.5**
3:10	4:00	4:00	**0.5**	**1.44**	**12**
3:50	4:00	4:00	**0.6**	**1.38**	**11.5**

المتانة الانضغاطية BHST (24 h (Psi)					**كثافة الخلطة**	
200°F (93 °C)	**170 °F (77°C)**	**140 °F (60 °C)**	**110 °F (43 °C)**	**95 °F (35 °C)**	**g /Cm^3**	**Lb /gal**
2000	2100	2300	2550	2200	**1.7**	**14.2**
1350	-	1450	-	1150	**1.63**	**13.6**
1050	-	1050	-	900	**1.56**	**13**
850	850	850	850	850	**1.5**	**12.5**
500	-	500	-	500	**1.44**	**12**
300	300	300	350	250	**1.38**	**11.5**

4-4-الخلائط الإسمنتية المحضرة باستخدام البوزولان:

يعتبر البوزولان (***Pozzolans***) من المجموعات الأكثر أهمية كمواد باسطة للإسمنت والمحددة وفق تعريف *ASTM* المواصفة *C-219-55* كالتالي : هي مواد سيليكونية أو مواد سيليسية وألومينية, والتي لا تملك خواص الإسمنت, ولكن عند تفاعلها مع هيدروكسيد الكالسيوم عند درجة الحرارة العادية تنتج مركبات تمتلك خواص الإسمنت .

يوجد نوعان من البوزولان:

1- بوزولان طبيعي، والذي يشمل الرمادي البركاني والتراب الدياتومي .

2- بوزولان صناعي، مثل بعض الرماد المتطاير *Fly ashes* .

عندما تتم إماهة كيس واحد من الإسمنت (*94 lb*), فإن حوالي (20-23lb) من هيدروكسيد الكالسيوم الحر تتحرر. إن $Ca(OH)_2$ يسهم بشكل ليس مطلقا في مقاومة الإنضغاط للحجر الإسمنتي، وهو قابل للانحلال إلى حد ما، حيث يمكن في نهاية الأمر أن يذوب وينزع بواسطة تماسه مع الماء في الإسمنت، وهذا يسهم في إضعاف الإسمنت. فعندما يوجد البوزولان, فإن السيليكا تتحد مع $Ca(OH)_2$ الحر لتشكل مركبات إسمنتية مستقرة، تدعى سيليكات الكالسيوم الهلامية الثانوية (*Secondary C-S-H*)، والتي تكون متينة جداً.

إن نفوذية الحجر الإسمنتي المتشكل للماء في نظام بوزولان/ إسمنت هي عادة أقل من (*0.01 md*) إذا لم يتم تخفيف الوزن النوعي للنظام بإضافة كمية كبيرة من الماء. إن النفوذية القليلة للحجر الإسمنتي، وكما هو نقصان محتوى $Ca(OH)_2$ الحر, تقاوم تأثير المياه الكبريتية والسوائل الأخرى الأكالة. ومع ذلك فإن المياه الأكالة تدخل إلى الحجر الإسمنتي البوزولاني, وهذا التأثير يمكن كبحه

لاحقاً بآلية أخرى، حيث تحدث عملية تبادل شاردي بسبب وجود الزيوليت في البوزولان , والقلويات تجعله أقل ضرراً .

4-4-1-الخلائط الإسمنتية المحضرة باستخدام التراب الدياتومي :

يتألف التراب الدياتومي (***Diatomaceous Earth*** *)* من هياكل سيليكونية من الدياتوم المترسب من الماء العذب، أو من الماء المالح . إن المكون الرئيسي للتراب الدياتومي هو الأوبال, و هو شكل غير متبلور من السيليكا المائية، يحتوي على(*10 %*) من الماء . من أجل استخدام البوزولان كواد باسطة، فإن التراب الدياتومي يطحن بنعومة تقترب من نعومة الإسمنت، وبالتالي فإن هذه المادة تتميز بمساحتها السطحية العالية ووزنها النوعي المنخفض نسبياً ($2.1\ gf/cm^3$) .إن إضافة هذه المادة تقلل كثافة الملاط الإسمنتي بسبب وزنها المنخفض. بالإضافة إلى زيادة كمية الماء المطلوب استخدامها فإن إضافة التراب الدياتومي يمنح أو يضفي على الملاط الإسمنتي خواصاً مشابهة لتلك الخواص التي نحصل عليها عند استخدام خلطات إسمنتية مخففة باستخدام البنتونايت. إضافة إلى ذلك، وبسبب فعالية البوزولان فإن متانة الحجر الإسمنتي الذي يحتوي على تراب دياتومي هي أقوى من مثيلاتها التي تحتوي على البنتونايت. ولكن السيئة الرئيسية للتراب الدياتومي هي كلفته العالية.

4-4-2-الخلائط الإسمنتيةالمحضرة باستخدام الرماد المتطاير:

ينتج الرماد المتطاير (*Fly ashes*) من وحدات الطاقة (*Power Plants*) التي تحرق مسحوق الفحم (*Pulverized Coal*) . ينتقل هذا الرماد في الغازات كجزيئات منصهرة، والتي تتصلب بأشكال كروية خشنة . إن المكون الرئيسي للرماد المتطاير هو الزجاج والذي يتألف بشكل رئيسي من السيليكا والألومينا وأكسيد الحديد, أوكسيد الكالسيوم, القلويات, المغنيزيا, الكوارتز, الهيماتيت والمغناتيت، بالإضافة إلى بعض المواد القابلة للاحتراق. إن تركيب وخواص الرماد المتطاير يمكن أن تتغير بشكل واسع، وتعتمد على مصدر الفحم وفعالية وحدات الطاقة، وتبعاً لذلك فإن الوزن النوعي للرماد المتطاير يمكن أن يتغير من $(2\ to\ 2.7)\ gf/cm^3$

4-4-3-الخلائط الإسمنتيةالمحضرة باستخدام السيليكا:

تستخدم السيليكا في سمنتة الآبار، وتنقسم إلى نوعين: كوارتز- α وسيليكافوم *condensed silicafume*). تستخدم السيليكا كوارتز- α في معظم الحالات، وبشكل متكرر في الآبار الحرارية من أجل منع تراجع مقاومة الإسمنت. وتستخدم بشكل روتيني قطرين من الجزيئات: الرمل السيليكاتي بقطر وسطي للجزيئات حوالي 100 µm, وسيليكا فلور بقطر وسطي 15 µm . ونتيجة الكلفة العالية فإن تلك المواد تستخدم نادراً من أجل تخفيف السائل الإسمنتي لوحده .

أما السيليكافوم المكثفة (*condensed silicafume*)، والتي تدعى أيضا (ميكرو سيليكا) (*microsilica*)، فهي نواتج ثانوية (*by product*) لإنتاج السيلكون والفيروسيليكون (*ferrosilicon*) وخلائط أخرى من السيلكون .

الجزيئات بشكل منفرد تكون زجاجية, كريات ميكروية غير متبلورة، وهذا يعني أن قطر الجزيئات عادة يتراوح بين *0.1 µm* و *0.2 µm* وهو أنعم بحوالي 100-50 مرة من الإسمنت البورتلاندي أو الرماد المتطاير، وبالتالي فإن السطح النوعي يكون كبيراً جداً (*15000-25000 m^2/Kg*) .

تعتبر السيليكافوم المكثفة ذات فعالية عالية بسبب نعومتها و نقاوتها , وهي من أكثر المواد البوزولانية الفعالة والمتوفرة . إن الدرجة العالية لفعالية البوزولان تسمح بإدخال نظام إسمنت بكثافة قليلة مع معدل أعلى لنمو المتانة الانضغاطية. كما أن السطح النوعي الكبير للسيليكافوم يتطلب نسبة عالية من الماء لتحضير سائل إسمنتي قابل للضخ، لذلك فإن كثافة هذه الخلطات تكون قليلة (11 lb/gal) (1.32gr/Cm^3)، إذ يمكن أن تحضر بدون انفصال كمية من الماء الحر، أو تكون كمية الماء المنفصلة قليلة. إن التركيز العادي لهذه المواد حوالي *15%* من وزن الإسمنت (*BWOC*) و يمكن أن تستخدم حتى *28%* .

إن نعومة السيليكافوم أيضا تسمح بالتحكم بفاقد الرشح , ويمكن أن تنقص من نفوذية الحجر الإسمنتي. ولهذه الأسباب تستخدم أيضا لمنع انتقال السوائل في الفراغ الحلقي، إضافة إلى إدخالها كمصدر السيليكا في نظام سمنتة الآبار الحرارية

4-5-الخلائط الإسمنتية المخففة المحضرة باستخدام البرليت المتمدد:

:(Expanded Perlite)

البرليت بصيغته الطبيعية هو عبارة عن صخر بركاني زجاجي (يحتوي على ماء بنسبة 1-) (6%، والذي يتمدد عندما يسخن إلى درجة حرارة عالية. عادة يكون ناتج البرليت المتمدد ذا كثافة مطلقة 7.75 *lb/* ft^3 ، والتي تسمح بتحضير خلائط إسمنتية بكثافة قليلة *2 lb/ gal* (*1.44 gr/ Cm^3*) ، حيث تضاف كمية قليلة من البنتونايت (BWOC 4% -2%)، وذلك لمنع طفو جزيئات البرليت في السائل الإسمنتي من جهة، ولتقليل كمية الماء المنفصل (الحر) من جهة أخرى .

يحتوي البرليت المتمدد على مسامات مفتوحة ومغلقة. تحت الضغط الهيدروستاتيكي فإن الفراغ المفتوح سوف يملأ بالماء، أما المغلقة فتتحطم، وكنتيجة لذلك يصبح البرليت أكثر ثقلاً . لذلك , ولتحضير الخلطة الإسمنتية باستخدام البرليت المتمدد، والتي سوف يكون لها كثافة معطاة عند قاع البئر, من الضروري مزج الخلائط الإسمنتية الأقل كثافة عند السطح. عند *3000 Psi* يبلغ الوزن النوعي للبريت المتمدد (2.4 gf/cm^3)

من أهم إيجابيات استخدام البرليت إعطاء مقاومة أقل للحجر الإسمنتي، الذي يؤدي إلى عمليات تثقيب أفضل.

- الحصول على كثافة أقل للملاط الإسمنتي بسبب كثافة البرليت المنخفضة إضافة إلى استعمال كمية إضافية من الماء.
- الجسيمات الحبيبية للبرليت تساعد على إغلاق الشقوق، وتقليل تهريب السائل الإسمنتي في الطبقة.
-

4-6- الخلائط الإسمنتية المخففة المحضرة باستخدام الغيلسونايت (Gilsonite) :

الغيلسونايت هو عبارة عن هيدروكربونات صلبة (مادة إسفلتية غير فعالة وخفيفة، يبلغ وزنها النوعي $1.07 gf/cm^3$. يمكن الحصول على خلطات إسمنتية ذات كثافة قليلة (*12 lb/ gal*) (*1.44 gr/ Cm³*) وذلك عند استخدام *50 lb* من الغيلسونايت لكل كيس من الإسمنت البورتلاندي دون استعمال كمية كبيرة من الماء (*2 gal/ft³*). والغيلسونايت هو جزيئات حبيبية سوداء صلبة بقطر أعلى من *0.6 Cm* ، وغالبا ما يستعمل لمنع أو معالجة فقدان دورة سائل الحفر .

تبلغ نقطة الانصهار للغيلسونايت (*385 ºF* (*196 ºC*)). لذلك فإن الجزيئات يمكن أن تميل للانصهارعند درجة حرارة أعلى من (*240 ºF 116 ºC*)، و نتيجة لذلك فإن استخدام الغيلسونايت يجب أن لا يوصى به في الآبار التي تكون فيها درجة الحرارة الستاتيكية عند قاع البئر فوق درجة حرارة *300 ºF* (*149 ºC*) .

4-7-الخلائط الإسمنتية المخففة المحضرة باستخدام مسحوق الفحم(*Powdered coal*):

يعتبر مسحوق الفحم مادة باسطة، وهو مشابه جداً للغيلسونايت، وذو وزن نوعي أعلى بقليل (1.3 gf/cm^3). وعلى شاكلة الغيلسونايت, فإن مسحوق الفحم يطحن بخشونة، وغالباً ما يستخدم كمواد لمنع تهريب سائل الحفر. وبخلاف الغيلسونايت فإن نقطة انصهار مسحوق الفحم تبلغ (*538*) *1000 ºF* *ºC* , والتي تسمح باستخدام مسحوق الفحم في سمنتة الآبار الحرارية. يضاف مسحوق الفحم عادة بمقدار (*12.5 & 25 lb*) لكل كيس من الإسمنت البورتلاندي. والخلطات الإسمنتية المحضرة بمسحوق الفحم يكون لها كثافة *(11.9 lb/gal) (1.43 gr/Cm³*) على الأقل

4-8-الخلائط الإسمنتية المخففة المحضرة باستخدام الميكروسفير (الكريات المكروية):

تعتبر طريقة تحضير الخلطات الإسمنتية المخففة باستخدام الكريات المكروية (الميكروسفير) من الطرق الحديثة المستخدمة في سمنتة الآبار. والميكروسفير هي كريات صغيرة مليئة بالغاز(مزيج من Co_2 و N_2) , وزنها النوعي يتراوح عادةً بين 0.6 - 0.4 ، حيث أن مثل هذه الأوزان النوعية القليلة تسمح بتحضير خلطات إسمنتية مخففة بكثافة قليلة (*1.02 gr/ Cm³*)8.5lLb/gal وتعطي حجراً إسمنتياً ذا نفوذية قليلة, ومتانة انضغاط عالية وهذه الكريات الصغيرة تتوفر بنوعين , زجاج وسيراميك).

إن التطبيقات الأصلية (*Original*) للميكروسفير كانت من أجل عملية السمنتة الأولية للكوندكتور وللمواسير السطحية، حيث تصادف عادة طبقات ذات ضغوط تشقيق قليلة وطبقات تؤدي لتهريب السائل الإسمنتي. و من جهة أخرى, فإنها تستخدم اليوم بشكل كبير جداً, وفي كثير من الحالات فإن عملية السمنتة باستخدام الميكروسفير يمكن أن تؤدي إلى عدم الحاجة لإجراء عملية السمنتة على مراحل، و لكن يوجد بعض الحدود لتطبيقها، وهي عدم قدرتها على تحمل الضغوط الهيدروستاتيكية العالية, لذلك لا يمكن أن تستخدم في الآبار العميقة. إن نظام الإسمنت /الميكروسفير يتطلب عناية خاصة في التصميم والمزج .

4-9-الخلائط الإسمنتية الرغوية:

الخلطة الإسمنتية الرغوية (*Foamed Cement*) هي النظام الذي يستخدم النتروجين (Nitrogen) كوسط لإنقاص الكثافة, متحد بشكل مباشر في الملاط الإسمنتي للحصول على كثافة قليلة للإسمنت. هذا النظام يتطلب استخدام أساس (قاعدة) واضح بشكل خاص للخلطات الإسمنتية المخففة، لإحداث نظام متجانس مع متانة عالية و نفوذية قليلة .

تحسين جودة سمنتة وعازلية الآبار باستخدام خلطات إسمنتية مخففة خلف مواسير التغليف

5-1- مقدمة :

تعتبر مشكلة ضمان الجودة العالية لسمنتة الآبار وتحسين عزل الطبقات المحفورة واحدة من أهم النقاط الهامة والمشاكل المعقدة في الدورة الكلية لبناء البئر. وتتركز الأبحاث المتخصصة في هذا المجال في السنوات الأخيرة حول إيجاد حلول متكاملة لأكثر المشاكل شيوعاُ، والمرتبطة بالشروط الحقلية المحددة والمدروسة بشكل جيد، نظراُ للترابط الوثيق بين مؤشرات جودة عملية السمنتة، وبين أي من المشاكل التي تؤدي إلى انخفاضها .

إن حل مشكلة عدم وصول السائل الإسمنتي إلى الارتفاع المخطط له في الفراغ الحلقي للبئر، والذي ينجم عادةً عن تهريب السوائل الإسمنتية (ضمن الطبقات ذات النفوذية العالية , الطبقات المتكهفة , الطبقات المتشققة أو الطبقات ذات الضغوط الطبقية المنخفضة)، دون حلٍ متكامل مع مشكلة الترابط السيئ للحجر الإسمنتي مع كلٍ من مواسير التغليف من جهة، والصخر من جهة أخرى، سوف ينعكس سلباُ على جودة عملية السمنتة بشكل عام، ويفقد السائل الإسمنتي المتصلب في الفراغ الحلقي للبئر إحدى أهم وظائفه في تدعيم مواسير التغليف وعزل الطبقات، وما ينتج عن ذلك من حدوث تآكل لمواسير التغليف [9]، وفقدان العازلية (حدوث اتصال هيدروديناميكي بين البئر والتشكيلات الجيولوجية) يتبعه بالضرورة فقدان في الطاقة الطبقية.

إن تحضير مثل هذه الخلائط المخففة ، سيؤدي إلى تحسين جودة سمنتة وعازلية الآبار من خلال تحقيق الأهداف الآتية :

1- حل مشكلة تهريب السوائل الإسمنتية في الطبقات ذات النفوذية العالية, والطبقات المتكهفة , والطبقات المتشققة والطبقات ذات الضغوط الطبقية المنخفضة [4] ، و ما ينتج عن ذلك من تقليل في الكلفة، نتيجة تخفيض الهدر في كمية الإسمنت والغضار أثناء عملية تدعيم مواسير التغليف، وكذلك أثناء صب الجسور الإسمنتية .
2- الحفاظ على الخواص الخزنية للطبقات المنتجة ذات الضغوط الطبقية المنخفضة، وذلك من خلال الحد من التلوث الشديد للطبقة نتيجة انخفاض الضغط الكبير (block Squeeze) الناتج عن وزن عمود السائل الإسمنتي.
3- الاستغناء عن استخدام وصلة السمنتة على مرحلتين (Two stages Collar)، أي إمكانية إجراء عملية السمنتة بمرحلة واحدة، أو على الأقل، تقليل عدد مراحل السمنتة، وكذلك استخدام خلطة إسمنتية واحدة بدلاً من استخدام نوعين من الخلائط الإسمنتية (خلطة إسمنتية ذات وزن نوعي قليل تضخ أولاً تدعى (lead cement ، وخلطة إسمنتية ذات وزن نوع كبير تضخ ثانياً تدعى (Tail cement)، وما ينتج عن ذلك من توفير في الزمن والكلفة .

4- حماية مواسير التغليف من التأثير التآكلي للموائع الطبقية ذات التركيز المختلف بالأملاح والغازات الحمضية, أي التقليل من التأثير التآكلي إلى أدنى حد ممكن، وما يتبع ذلك من التقليل من كلفة العمليات الإصلاحية للآبار، وبالتالي التقليل من كلفة البئر .

5- 2- تقييم الواقع الحقلي

ومن خلال تحليل الواقع الحقلي لعدد كبير من الآبار نلاحظ الآتي :

1- نتيجة تهريب السوائل الإسمنتية في الطبقات ذات النفوذية العالية والطبقات المتكهفة، فإنه يتم استهلاك كميات كبيرة جداً من السوائل الإسمنتية لصب الجسور الإسمنتية، والتي وصلت إلى 40 طن

إن مشكلة عدم خروج الإسمنت إلى السطح بعد انتهاء ضخ كامل الكمية المقررة والتي لوحظت في معظم الآبار المدروسة في (الآبار: أبو رباح 115 ، شمال الفيض 8 ، صدد 7) يعني بوضوح عدم وصول السائل الإسمنتي إلى الارتفاع المقرر ، وبالتالي بقاء جزء من مواسير التغليف غير مسمنت واحتمال تعرضه مستقبلاً للتآكل وفقدان العازلية بين مراحل مواسير التغليف وجدران البئر والذي أكدته التقارير الحقلية .

5-3-الدراسة المخبرية

5-3-1-الأجهزة المستخدمة في البحث :

- جهاز قياس سيولة السائل الإسمنتي.
- جهاز قياس كثافة الخلطات الإسمنتية المخففة (من نوع بار وئيد).
- سلندرات زجاجية قياس *250 mL* لقياس الثباتية الترسيبية للخلطات الإسمنتية المخففة.
- جهاز قياس المتانة الإنضغاطية للحجر الإسمنتي في المستخدم في مخبر هندسة الحفر
- جهاز قياس نفاذية العينات الأسطوانية الصخرية باستخدام الغاز (جهاز روسكا *RUSKA* لقياس النفوذية).
- خلاطات متعددة السرع لخلط السائل الإسمنتي .
- ميزان الكتروني حساس .
- حمامات مائية الكترونية .
- عينات أو قوالب (*Specimen molds*) مصنعة من الحديد لصب العينات الإسمنتية و التي تصنع وفق ثلاثة نماذج:

- النموذج الأول (*First mold*) مكعبة الشكل (*Cubic Type*) بأبعاد *2"×2"×2"*انش لتحديد المقاومة الإنضغاطية للحجر الإسمنتي .حيث أجريت هذه السلسلة من التجارب بدرجة حرارة ثابتة تقريبا طيلة فترة عملية التصلب *T= 60 ºC* والعينات الأسطوانية المتصلبة موحدة الأبعاد *5×5 = 25 Cm^2* .

- النموذج الثاني (*Second mold*) بشكل أسطواني (*Cylindrical Type*) بقطر *2.54 Cm* وطول *3 Cm* لتحديد نفوذية العينات اللأسطوانية.

5-3-2 -المواد المستخدمة في البحث (*Sample tested*):

تم استخدام إسمنت الآبار المطابق للصنف *G* حسب *API* المنتج في شركة الرستن لصناعة الإسمنت المقاوم للكبريتات (*HSR*) و حسب معطيات المعمل فإن الإسمنت مكون من الأكاسيد المعدنية التالية جدول(5-1).

جدول(5-1) التركيب الكيميائي لإسمنت الرستن(%وزن)

المركب	*CaO*	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	MgO	الفاقد بالحرق	المواد غير المنحلة
النسبة االمئوية	*64.21*	*5.64*	*4.28*	*21.2*	*1.99*	*1.51*	*1.02*	*0.007*

المواد المستخدمة كإضافات مخففة للخلطات الإسمنتية :

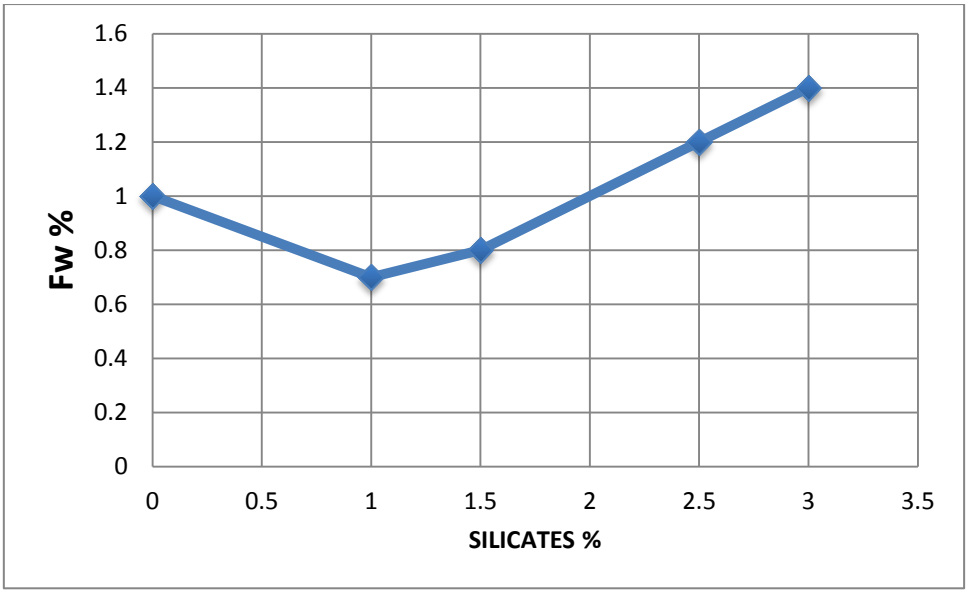
كما تم استخدام سيليكات الصوديوم التجارية على شكل مسحوق جاف

5-3-3- تأثير إضافة سيليكات الصوديوم على خواص الخلطة الإسمنتية:

في الجدول (5-2) نبين مواصفات الخلطة الإسمنتية المخففة (الكثافة , السيولة, الفصل المائي) و ذلك عند نسبة ماء/إسمنت (*w/c = 0.5*)

جدول(5-2) مواصفات الخلطة الإسمنتية المخففة وذلك عند نسبة ماء/إسمنت*w/c=0.5*

FW %	F_{iy} Cm	ρ_{fc} gr/cm^3	W/S %	Silicates %
1	*21*	*1.84*	*0.5*	*0*
0.7	20	1.64	0.59	1
0.8	21	1.63	0.63	1.5
1.2	21	1.57	0.72	2.5
1.4	21	1.54	0.77	3



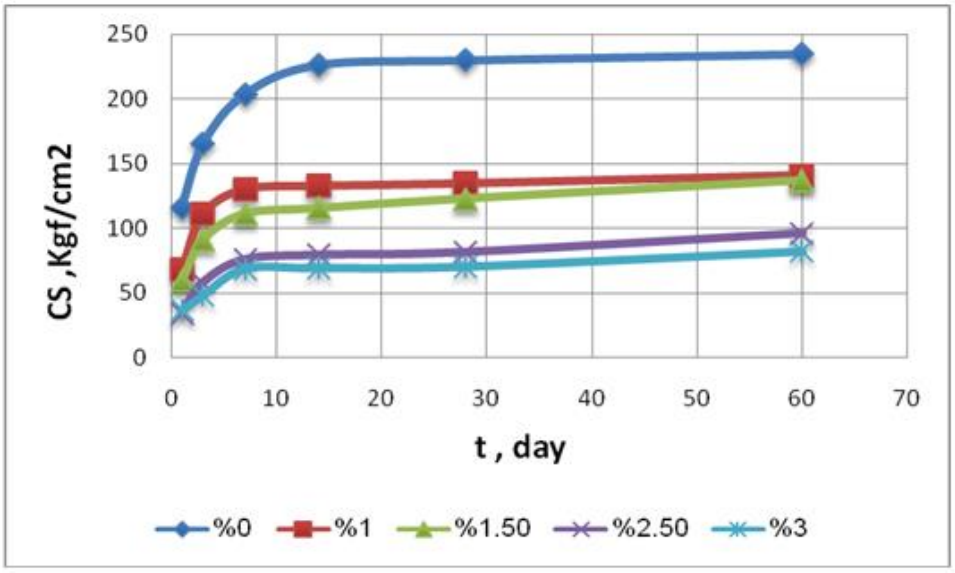
الشكل (5-1) تأثير إضافة السيليكات على معدل تشكل الماء الحر

5-3-4- تأثير إضافة سيليكات الصوديوم على الخواص الميكانيكية للحجر الإسمنتي

وفي الجدول (5-3) نبين تأثير إضافة سيليكات الصوديوم على متانة(مقاومة) الحجر الإسمنتي للضغط وعلى الشكل (5- 2) نمثل هذه النتائج بيانياً .

الجدول (5-3)تأثير إضافة السيليكات على مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط.

60	28	14	7	3	1	t, day
CS , Kg_f /Cm^2						Silicates %
234.7	230	226.5	203.7	165	116	0
140.77	134.53	132.5	130.32	110.57	68	1
136.85	122.81	115.42	111.14	91	59.3	1.5
95.95	81.42	79.19	75.75	58.07	34.14	2.5
82.0	70.28	69.18	68.61	47.67	36.24	3



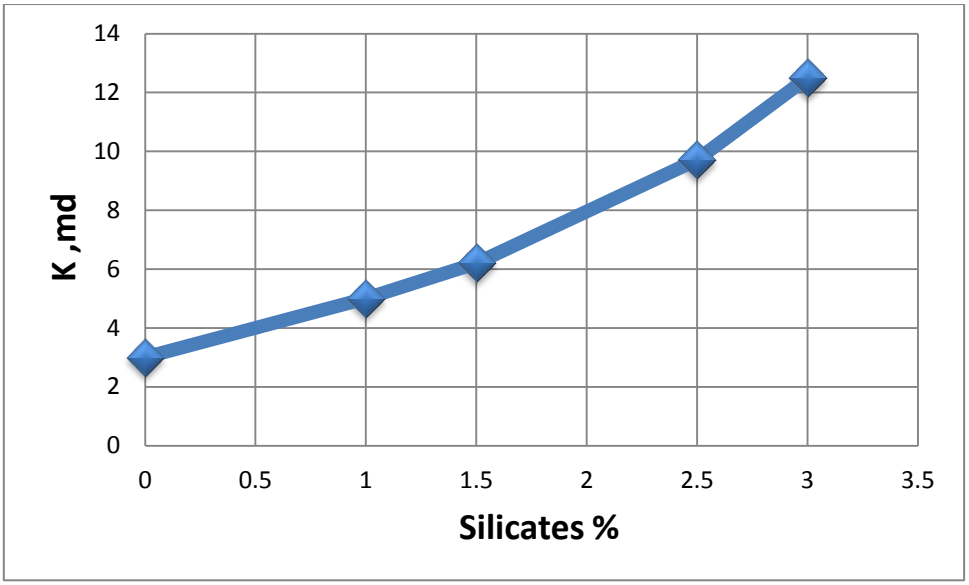
الشكل (5–2) تأثير إضافة السيليكات على مقاومةالحجر الإسمنتي للضغط.

5-3-5- تأثير إضافة سيليكات الصوديوم على نفاذية الحجر الإسمنتي:

في الجدول(5–4)نبين تأثير إضافة سيليكات الصوديوم على نفاذية الحجر الإسمنتي والشكل **(5–3)** يمثل هذه النتائج بيانياً .

الجدول(5–4) تأثير إضافة السيليكات على نفاذية الحجر الإسمنتي

K (md)	Q(cm^3/s)	L(cm)	Silicates%	Nº
3	0.25	3.04	0	1
5.0	0.62	3.02	1	2
6.2	0.65	3.05	1.5	3
9.72	0.9	3.05	2.5	4
12.5	1.16	3.07	3	5



الشكل (5-3) تأثير إضافة السيليكات على نفاذية الحجر الإسمنتي.

4-5-مناقشة النتائج وصياغة المقترحات :

أولاً: من خلال دراسة تأثير إضافة سيليكات الصوديوم على خواص الخلطة الإسمنتية والحجر الإسمنتي الناتج عنها يمكن أن نلاحظ مايلي:

إن استبدال جزء من مسحوق الإسمنت بمادة سيليكات الصوديوم يؤثر سلباً على المتانة الانضغاطية للحجر الإسمنتي المتشكل كما يتضح أن استبدال مسحوق الإسمنت بمادة سيليكات الصوديوم يؤدي إلى زيادة نفوذية الحجر الإسمنتي .

مما سبق نقترح : إن استبدال مسحوق الإسمنت بمادة سيليكات الصوديوم عند إضافتها بنسبة لا تزيد عن 1.5% وزناً لن يؤدي إلى الإساءة كثيرا إلى متانة الحجر الإسمنتي

ثالثا: من خلال تحليل دراسة تأثير إضافة سيليكات الصوديوم إلى إسمنت تبطين الآبار اتضح أن زيادة نسبة سيليكات الصوديوم إلى3%، سوف يؤدي إلى ارتفاع كبير جداً في نفوذية الحجر الإسمنتي بالمقارنة مع عينات الإسمنت الخالية من أي من هذه الإضافات ، **لذلك نقترح** استبدال مسحوق الإسمنت بسيليكات الصوديوم بنسبة لا تزيد عن 1.5% (وزنا) وهذا الإجراء سوف يؤدي إلى تحقيق الخواص التالية :

- زيادة ليست كبيرة في نفوذية الحجر الإسمنتي.
- تقليل الكثافة إلى الحدود المطلوبة تكنولوجيا ، بالشكل الذي يحقق الهدف من هذه الدراسة .
- تقليل المتانة إلى حدود تسمح بها لمثل هذا النوع من الإضافات

إن تحضير مثل هذه الخلائط المخففة ، سيؤدي إلى تحسين جودة سمنتة وعازلية الآبار من خلال تحقيق الأهداف الآتية :

1-حل مشكلة تهريب السوائل الإسمنتية في الطبقات ذات النفوذية العالية, والطبقات المتكهفة , والطبقات المتشققة والطبقات ذات الضغوط الطبقية المنخفضة ، و ما ينتج عن ذلك من تقليل في الكلفة، نتيجة تخفيض الهدر في كمية الإسمنت أثناء عملية تدعيم مواسير التغليف، وكذلك أثناء صب الجسور الإسمنتية .

2-الحفاظ على الخواص الخزنية للطبقات المنتجة ذات الضغوط الطبقية المنخفضة، وذلك من خلال الحد من التلوث الشديد للطبقة [4] نتيجة انخفاض الضغط الكبير (block Squeeze) الناتج عن وزن عمود السائل الإسمنتي.

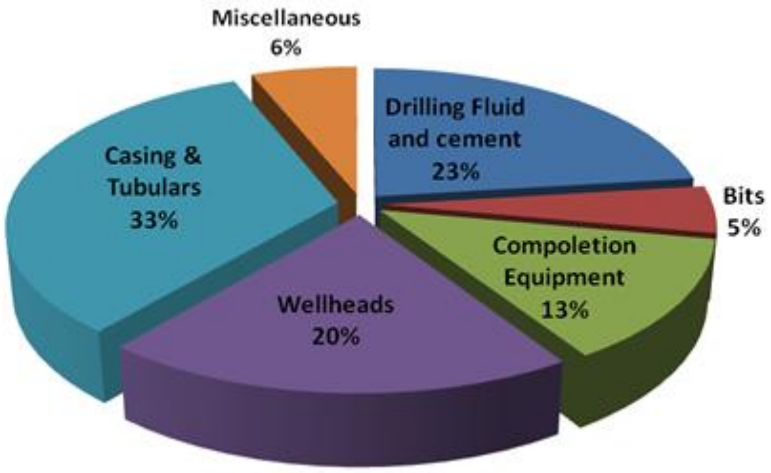
3-الاستغناء عن استخدام وصلة السمنتة على مرحلتين (Two stages Collar)، أي إمكانية إجراء عملية السمنتة بمرحلة واحدة، أو على الأقل، تقليل عدد مراحل السمنتة، وكذلك استخدام خلطة إسمنتية واحدة بدلاً من استخدام نوعين من الخلائط الإسمنتية (خلطة إسمنتية ذات وزن

نوعي قليل تضخ أولاً تدعى (lead cement)، وخلطة إسمنتية ذات وزن نوع كبير تضخ ثانياً تدعى (Tail cement)، وما ينتج عن ذلك من توفير في الزمن والكلفة .

5-5-الدراسة الإقتصادية :

تلعب سمنة الآبار دورا" هاما" في بناء, انهاء,هجر الآبار. حيث ينجز الإسمنت وظيفة هامة في تدعيم مواسير التغليف وتجهيزات رأس البئر.فمواسير التغليف لايمكن أن تنجزوظيفتها المصممة من أجلها ما لم تكن مسمنتة بشكل فعال وذلك من خلال تشكيل حلقة كتيمة من الحجر الإسمنتي خلف هذه المواسير,مهمتها تدعيم جدران البئر وعزل الطبقات عن بعضها.

سنويا" يتم انفاق 600$ مليون دولار على عمليات الحفر و العمليات المتعلقة بالإصلاح. وفي الشكل (5-4) نبين نسب الإنفاق في عمليات حفر الآبار.



الشكل (5-4) نسب الإنفاق في عمليات الحفر

حيث تم إنفاق 140$ مليون دولار على سوائل الحفر و السمنتة مع حوالي (12%)أنفقت على الإسمنت وإضافات الإسمنت.ولكن نسب الإنفاق الفعلية تتراوح وسطيا" بين (3-6%) من الميزانية الإجمالية للحفر.ومن جهة أخرى فإن هذا الجزء الصغير يلعب دوراً أساسياً في بناء البئر.

ومن خلال تتبع المواد المضافة إلى الإسمنت أثناء تحضير الخلائط الإسمنتة المخففة نجد أنه تم استخدام سيليكات الصوديوم كمواد مخففة للخلطة الإسمنتية ومن خلال دراسة كلفة هذه المواد بالمقارنة مع كلفة الإسمنت المصنع نجد أن هذه المواد المضافة تتميز بكلفة قليلة نسبيا" وهذا ماينعكس إيجابا" في التقليل من كلفة الإسمنت وذلك من خلال الإقلال من الكلفة العالية لتصنيع الإسمنت التي تحتاج إلى درجات حرارة عالية جدا" لحرق المواد الخام إضافة إلى عمليات طحن المواد الناتجة عن عمليات الحرق والتي تحتاج إلى مطاحن خاصة

والتقليل من كلفة عمليات الإسمنت ليس فقط التقليل من كلفة المواد المضافة ولكن الأهم من ذلك هو التقليل من الكلفة العالية للعمليلت الإصلاحية التي تنجز نتيجة الفشل في عملية

تدعيم مواسير التغليف فمثلا": إن الفشل في إنجاز عملية عزل جيدة لمواسير التغليف نتيجة تهريب السائل الإسمنتي أو ترابط سيء للإسمنت تتميز بكلفة عالية جدا"(تكلف مئات الملايين من الدولارات كل سنة).

وقد أثبتت بعض الأبحاث التي استخدمت لحل مشكلة تهريب السوائل الإسمنتية باستخدام خلائط إسمنتية مخففة أن حل هذه المشكلة يوفر على الأقل (300%) من الكلفة المتعلقة بالعمليات الإسمنتية.

المصطلحات المستخدمة في البحث (NOMENCLATURE)

الاختصار	المصطلح باللغة الإنكليزية	المصطلح باللغة العربية
BWOC%	Percentage by weight of cement	(% من وزن الإسمنت)
BWOW%	Percentage by weight of water	(% من وزن الماء)
Silicates %	percent of Silicates)	النسبة المئوية للسيليكات
W/C	mix water (BWOC)%	النسبة المئوية الوزنية (ماء /اسمنت)
W/C	Cement-to-water ratio	
WCR	Water cement ratio	
W/S	Solids-to-water ratio	نسبة الماء إلى الجزء الصلب
ρ_{fc}	Slurry density	كثافة الخلطة الإسمنتية
F_{iy}	Fluidity	سيولة الخلطة الإسمنتية (خاصية الانتشار)
Fw	Free water	الماء الحر (الفاصل المائي)
T	Setting time	زمن تصلب السائل الإسمنتي
C_S	Compressive strength	مقاومة الحجر الإسمنتي للضغط
K	Sample permeability	نفوذية العينة الاسمنتية
L	Sample Length	طول العينة الاسمنتية
D	Sample Diameter	قطر العينة الاسمنتية
Q	Gas flow rate	معدل تدفق الغاز

المراجع العلمية

1-باللغة الإنكليزية

1. Al-Hiti, A.H "**The effect of some additives on Rheological prosperities of Cement Slurry**" , Al- muhands journal , Dec 1986.
2. API Bulletin $5C_2$(1999)," **Bulletin On Performance Properties Of Casing ,Tubing and Drilling Pipe"** , 21st Edition , October.
3. API Standard, **"10A Specification for Cements and Materials for Well Cementing"**, 22nd, Edition2000 , American Petroleum Institute ,Washington .
4. **"A safety Net for Controlling Lost Circulation"** ,Lee Francis , Lee Hornsby , Nils Nosland , 2003-2004, P20-27.
5. **Basic and advanced cement** 2010 ,sr.descengineer,cementing.
6. **Cement standard and Specificating**,PortlandCement Association , 2008.
7. H.R.,**well engineering and construction** ,2000
8. Nelson Well Cement book, **"Cement additives and mechanism of action" ,** Dowell Schlumberger 2003.

.

باللغة العربية :

9–أ, بولاتوف, 1987 **مواد التبطين وتكنولوجيا سمنتة الآبار)**.الطبعة الأولى, دار مير 73 للطباعة والنشر موسكو صفحة 725

10– فرج , يوسف – نصور ,طاهر – مرهج,أحمد , 2000,**دراسة تأثير سوائل الحفر على مواسير التغليف الإنتاجية.** رسالة ماجستير–كلية الهندسة الكيميائية والبترولية 146صفحة .

11– نصور ,طاهر 1992-1993**هندسة حفر 2**– منشورات جامعة البعث