الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كلية هندسة البترول

التهريب الكلي لسائل الحفر
في حقول المنطقة الوسطى وطرق معالجته

دراسة أعدت لنيل درجة الإجازة في الهندسة البترولية

إعداد

اسماعيل محمد الذياب علي صبحي العساف مرسال حويجه الأحمد

إشراف

الأستاذ الدكتور محمد خضور

2016 / 2015

شكر وعرفان

خمس سنوات مرت من الحب والعمل وهاهي تلوح في الأفق منارة الوصول إلى الشاطئ ، بالأمس فقط انطلقنا من شاطئ بعيد اجتمعنا غرباء و تآلفت في الرحلة القلوب وها هي ذي السفينة ترسو ويطوى الشراع ويفترق البحارة بعدما قضوا رحلة سعيدة ولكنها شاقة ..... وما هي إلا لحظات ونودع محطة هامة من حياتنا محطة نودعها وفي العيون منا حرقة الدمع وفي القلب نار الشوق وألم الحنين.

لحظات ونقف على حدود مرحلة جديدة يختلط فيها الفرح والأمل بالمستقبل مع صور الذكريات الجميلة.

بعد شكر الله تعالى على توفيقه إيانا في هذا المشوار لابد وأن نتقدم بالشكر والعرفان بالجميل إلى أساتذتنا الكرام في كلية هندسة البترول ونقف أمامهم وقفة احترام وتقدير شاكرين جهودهم وتفانيهم في العمل

الفهرس

	الفهرس	3
	المقدمة	5
	الفصل الأول : أهمية سوائل الحفر وأنواعها	7
1-1	أهمية سوائل الحفر	7
2-1	وظائف وشروط سائل الحفر	7
3-1	شروط استثمار سوائل الحفر	15
4-1	الخواص التدفقية(الجريانية) لسوائل الحفر	16
1-4-1	اللزوجة(viscosity)	16
1-1-4-1	السوائل النيوتونية	16
2-1-4-1	السوائل غير النيوتونية	17
5-1	تركيب سوائل الحفر	21
6-1	تصنيف سوائل الحفر	22
1-6-1	سوائل الحفر ذات اساس مائي	22
2-6-1	سوائل الحفر ذات اساس نفطي	23
3-6-1	موائع الحفر الغازية (الهواء)	23
	الفصل الثاني: مشاكل تهريب سوائل الحفر	24
1-2	شروط حدوث مشكلة التهريب	25
2-2	أسباب التهريب	26
3-2	تصنيف التهريب	27
4-2	طرق تلافي التهريب	28
1-4-1	تلافي التهريب ذو المعدلات المنخفضة	28
5-2	طرق معالجة التهريب	29
1-5-2	إنقاص ضغط الضخ للمضخة	29
2-5-2	إضافة مواد سدادة إلى سائل الحفر	29
3-5-2	إغلاق المجال المسبب للتهريب بإستخدام خلائط حقن مختلفة	31

4-5-2	تجميد منطقة التسرب	39
5-5-2	تغيير طريقة الحفر	39
	الفصل الثالث: الدراسة الجيولوجية لتراكيب المنطقة الوسطى	41
1-3	الدراسة الجيولوجية	41
	الفصل الرابع : الدراسة التحليلية لمشاكل التهريب في آبار المنطقة الوسطى	46
1-4	بئر البلعاس 101	46
2-4	بئر البلعاس 103	48
3-4	بئر صدد1	51
4-4	بئر صدد2	53
5-4	بئر النبك1	53
6-4	بئر ابو رباح1	45
7-4	بئر البريج1	55
	الفصل الخامس : دراسة إمكانية التغلب على مشكلة التهريب الكلي لسائل الحفر في المنطقة الوسطى	60
1-5	جهاز قياس مؤشر الرغوة (Foam Tester)	60
2-5	مولدات الرغوة	62
3-5	دراسة تأثير المواد والظروف المختلفة على ثباتية الرغوة	64
1-3-5	دراسة تأثير تركيز البنتونايت على ثباتية الرغوة	64
2-3-5	دراسة تأثير تركيز CMC على ثباتية الرغوة	66
3-3-5	تأثير نوع مولد الرغوة على ثباتية سائل الحفر الرغوي	68
4-3-5	دراسة تأثير مولدات الرغوة على خواص السوائل الأكثر ثباتية	69
	النتائج والمقترحات	72
	المراجع العلمية	74

مُقدّمة

تعتبر ظاهرة تهريب سائل الحرف في الطبقات من أكثر المشاكل تكلفة عند حفر الآبار، وذلك نظراً للكميات الكبيرة المتسربة من سائل الحفر قبل التمكن من معالجة المشكلة، والزمن الذي يستغرقه حل هذه المشكلة. وتشير الدراسات الإحصائية لمشاكل الحفر في مديرية حقول الجبسة إلى أن الزمن الضائع على معالجة التهريب يصل إلى 80% من الزمن الكلي لمشاكل الحفر، الأمر الذي يؤدي إلى إطالة زمن الحفر وبالتالي زيادة كلفة الحفر، إضافة إلى التأثيرات السلبية الكبيرة لهذه المشكلة على المواصفات الخزنية للطبقات وعلى ثبوتية جدران البئر واستمرارية عملية الحفر.

ومن المعروف أن السبب الرئيسي للتهريب هو الضغط المنخفض للطبقات المتشققة والمتكهفة، ولذلك فإن استخدام سوائل حفر بضغط هيدروديناميكي قليل يشكل المدخل الرئيسي لحل هذه المشكلة بأقل تكاليف وأقل زمن ممكن.

وتم التوصل من خلال الدراسات التجريبية إلى اقتراح مكونات لسائل الحفر لاختراق مجالات التهريب الكلي في تراكيب حقول المنطقة الوسطى وتراكيب مماثلة لها حيث ساهمت في تطوير عمليات الحفر وتحقيق مردود اقتصادي كبير، إضافة إلى توفير في كميات سوائل الحفر المتسربة والإسمنت اللازم لصب جسور إسمنتية، وتلافي ضياع الزمن المنتج على معالجة المشاكل الناجمة عن التهريب (تهدم، استعصاء، الاندفاع ... الخ).

ونهدف من خلال هذا البحث إلى حل مشكلة التهريب الكلي لسائل الحفر في المنطقة الوسطى، وذلك باستخدام تقنيات سوائل الحفر المختلفة، والتي تؤدي إلى خفض الوزن النوعي لسائل الحفر إلى قيم منخفضة جداً، وزيادة لزوجته الظاهرية حيث تصبح الطبقة غير مؤهلة لاستقبال هذا السائل مع إمكانية قيامه بالوظائف الأخرى المطلوبة منه أثناء الحفر. ولتحقيق هذا الهدف فإن المشروع يتضمن توصيف مشكلة التهريب الكلي لسائل الحفر في آبار المنطقة الوسطى وطرق معالجتها.

وللوصول إلى هذا الهدف فإن المشروع يتألف من الفصول الآتية:

الفصل الأول ونتناول فيه سوائل الحفر: أهميتها، وظائفها، وشروط استثمارها وخواصها وتصنيفها وأنواعها المختلفة.

وندرس في الفصل الثاني مشكلة تهريب سائل الحفر في الطبقات: شروط حدوثها ومسبباتها، وتصنيف التهريب، طرق تلافي هذه المشكلة وطرق المعالجة في حال حدوثها.

أما الفصل الثالث فتضمن الدراسة الجيولوجية لتراكيب المنطقة الوسطى في سوريا.
وفي الفصل الرابع قمنا بدراسة تحليلية لمشكلة التهريب في آبار المنطقة الوسطى، وذلك من خلال دراسة بعض الآبار المحفورة في حقول صدد وأبو رباح والبريج.
أما في الفصل الخامس فقد قمنا بإجراء دراسات للتغلب على مشكلة التهريب الكلي , ولقد قدمنا مجموعة من الإقتراحات لحل مشكلة التهريب الكلي عند حفر الآبار في المنطقة الوسطى
وتوصلنا في النهاية إلى جملة من النتائج والمقترحات المفيدة .
ونحن إذ نقدم هذا العمل نأمل أن يكون فيه كل ماهو مفيد لزملائنا الطلبة وللعاملين في الحقول النفطية والغازية، وذلك خدمة لصناعتنا النفطية والغازية المتنامية.

الفصل الأول

سـوائل الحـفر

1-1- أهمية سائل الحفر :

يُشبَّه سائل الحفر بدم البئر، كتعبير عن أهميته ودوره في صناعة حفر الآبار النفطية والغازية، وقد شُبّه بذلك كونه يقوم بنفس الدور والوظائف التي يؤديها الدم بالنسبة لأي كان حي.

ولا يمكن إنجاز أية بئر، مهما كان العمق النهائي المخطط لها، والهدف النهائي من حفرها (آبار الأبحاث الجيولوجية - وآبار للحصول على المياه - وآبار النفط والغاز) دون الاستعانة بهذا السائل.

وبما أن عملية حفر الآبار لا يمكن ملاحظتها وبالتالي مراقبتها مباشرة، فإنه ومن خلال فحص خواص سائل الحفر الخارج من البئر، يمكن أن نستدل على وظيفة البئر وسير عملية الحفر، أي يمكننا مراقبة سير حفر البئر من خلال مراقبة سائل الحفر.

إن أي تغيير في خواص سائل الحفر الخارج من البئر سوف يعقبه بالمقابل تغيير في وضعية البئر, وكيفية سير عملية الحفر، وما أشبه ذلك بالعمل الذي يؤديه الطبيب عندما يُحضر إليه المريض، فيطلب منه إجراء تحليل دمه، ومن خلال نتائج التحليل يستطيع الطبيب تشخيص المرض ووصف الدواء لهذا المرض، أي يعرف الداء ويصف الدواء.

1-2- وظائف وشروط سوائل الحفر :

يقوم سائل الحفر في أثناء دورته في البئر بوظائف ذات طبيعة هيدروديناميكية، هيدروستاتيكية، وفيزيو– كيميائية متزامنة، تضمن استمرار عملية الحفر حتى تحقيق الهدف النهائي لها.

وترتبط هذه الوظائف بعلاقة متبادلة مع مجموعة من المواصفات (أو الخصائص) والمؤشرات الجريانية والإرتشاحية ... الخ، والتي يمكن قياسها والتحكم فيها وفق مقتضيات عملية الحفر.

وهذه الوظائف هي:

1-2-1- تنظيف قاع البئر من نواتج الحفر الصخرية:

يعرف معامل التنظيف التام لقعر البئر الإبعاد الفوري والتام للفتاتات الصخرية المحتة من قبل رأس الحفر فور قطعها بحيث أن العناصر الفعالة لرأس الحفر تعمل باستمرار على حت صخور جديدة.

في حال عدم وجود تنظيف تام لقعر البئر من نواتج الحفر، سوف يقوم رأس الحفر بإعادة طحن هذه النواتج، وبالتالي فإن جزء من الطاقة يتم هدرها دون مردود [9].

وتلعب العوامل الهيدروليكية (غزارة ضخ سائل الحفر، سرعة خروج السائل من فتحات رأس الحفر) الدور الرئيس في تحديد معامل تنظيف قاع البئر، إضافة إلى خواص سائل الحفر).

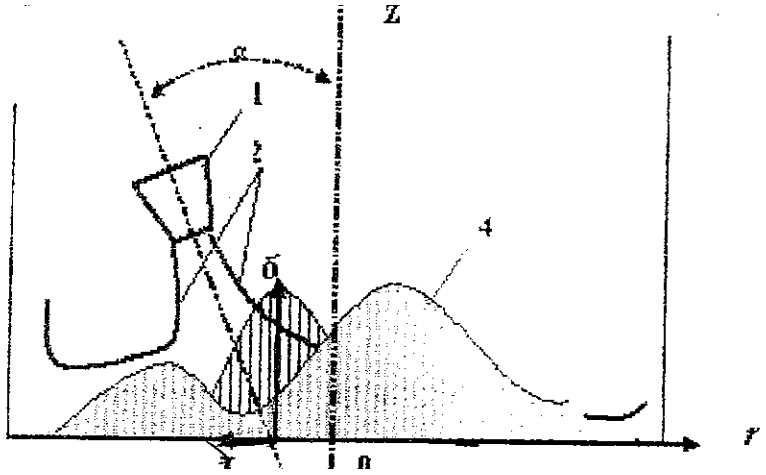
1-2-1-1- تأثير العوامل الهيدروليكية:

عندما يخرج السائل من الفالة يصطدم مع القعر بطاقة عظمى، ثم يفقد طاقته تدريجياً. إن مقطع قعر البئر المقابل للفالات ينظف بسهولة، أما بقية مقطع القعر فيتم تنظيفها من خلال حركة السائل على القعر، أي كلما ازدادت سرعة تيار سائل الحفر بعد لحظة التصادم كلما كان التنظيف أفضل.

ويُظهر الشكل (1-1) توزع مسارات الإجهادات المماسية والشاقولية لتيار سائل الحفر على قعر البئر لدى خروجه من فالة محورها يشكل مع محور الدوران زاوية ∝.

نلاحظ أن الإجهادات المماسية والعمودية غير متساوية بالعلاقة مع قطر البئرr.

ومع الدوران يتفاقم عدم التساوي بين هذه الإجهادات، ومهما تغيرت ∝ وبعد الفالة عن القاع فإن مجموع قيم هذه الإجهادات لن تزيد عن ضياع الضغط الكلي في فالات رأس الحفر (13-16) Mpa). هذه القيمة أقل بكثير من قساوة الصخر على الانضغاط، بينما يمكن مقارنتها مع متانة الصخر على القص (الانعطاف) مما يفسر فعاليتها في حت واقتلاع الفتات بسهولة من هيكل الصخر الأم [9].



الشكل (1-1) توزع مسار الإجهاد الماسي *t*(3) ومسار الإجهاد الشاقولي 4) б) لقوة التصادم الهيدروليكي لتيار سائل الحفر (2) مع قعر البئر، لدى خروجه من فالة (1) محورها يصنع زاوية α مع محور دوران رأس الحفر (z).

ويعبر عن قوة التصادم بالعلاقة:

$$F_I=\rho_{mud} \times Q \times V_j \qquad (1\text{-}1)$$

حيث :

V_j سرعة خروج تيار سائل الحفر من الفالة.

Q غزارة ضخ سائل الحفر.

V_p سرعة تيار السائل في مستو مواز للقاع.

t_p قوى قص السائل على سطح الحبيبة.

A_{rf} , A_{rh}-المقطع الأعظم للحبيبة العمودي على القاع والموازي له على التوالي.

سرعة السائل في مستو مواز للقاع، وذلك بفرض أن تيار السائل الخارج من فتحات رأس الحفر هو عمودي على القاع، تعطى بالعلاقة التالية:

$$v_p = K_1 \frac{\sqrt{Q\,V_j}}{D_{bit}} \qquad (2\text{-}1)$$

ويمكن تقدير قوى القص على قاع البئر بالعلاقة التالية:

$$t_p = K_2 \frac{(Q\,v_j)^{7/8}}{D_{bit}^2} \qquad (3\text{-}1)$$

حيث :

K_1 , K_2: ثابتان مرتبطان بتركيب وخواص سائل الحفر .

D_{bit} :قطر رأس الحفر.

من خلال مناقشة العلاقات السابقة يتضح أنه ومن أ جل تحسين قدرة سائل الحفر على تنظيف قاع البئر يفترض زيادة كل من الغزارة Q وسرعة خروج سائل الحفر من الفالات v_j ، وهما معياران يمكن التحكم بهما إلى القيم التي تضمن تنظيف قاع البئر.

أما إذا تجاوزت سرعة خروج سائل الحفر من الفالات حدود تنظيف القاع، فإنها سوف تؤثر سلباً في سرعة الحفر، بسبب توسع قطر البئر الناجم عن الفعل الحتي لتيار سائل الحفر، أو تشكيل تيارات مرتدة تعاكس تيار السائل الأساسي وتعيق حركة الفتاتة وبالتالي تقلل فعالية التنظيف.

1-2-1-2- تأثير خواص سائل الحفر على تنظيف قاع البئر:

إن وظيفة سائل الحفر في تنظيف قاع البئر مرتبطة عملياً بمجموعة كبيرة من العوامل الهدروليكية والميكانيكية والجيولوجية، والتي تؤثر بشكل متزامن يصعب دراستها بشكل متكامل.

لذلك سوف نناقش تأثير بعض هذه العوامل على وظيفة سائل الحفر في تنظيف قاع البئر كالكثافة، واللزوجة وفاقد الرشح.

1-2-1-2-1- تأثير كثافة سائر الحفر على تنظيف قاع البئر:

إن تأثير الكثافة يظهر من خلال الضغط الذي يشكله عمود سائل الحفر (P_c) على قاع البئر (العمق H_c)، والذي يحدد دائماً بالعلاقة التالية:

$$P_c = \rho_{mud} \cdot g \cdot H_c \qquad (4\text{-}1)$$

1-2-1-2-2- تأثير لزوجة سائل الحفر على تنظيف قاع البئر:

من المعروف أن لزوجة سائل الحفر تقل بازدياد سرعة القص، والذي يحقق قيمه العظمى عند خروج السائل من فتحات رأس الحفر، حيث تقترب قيم اللزوجة الفعالة لسائل الحفر من لزوجة الماء.

بيد أن انخفاض اللزوجة الكبير يعتبر عاملاً مهماً في تنظيف قاع البئر، حيث أجمعت الدراسات على أن معامل تنظيف القاع يتحسن مع انخفاض اللزوجة.

ويفسر ذلك وفق نظرية الطبقة الحدية للسوائل المضطربة، حيث أنه عند سرع الجريان الكبيرة جداً يسلك السائل سلوك السوائل النظامية، باستثناء طبقة السائل الواقعة على تماس مع سطح الجريان حيث تتحول فيها السرعة بشكل خطي من الصفر عند السطح إلى قيمة عظمى عند بداية الاضطراب.

سماكة هذه الطبقة عند قاع البئر تعطى بالعلاقة:

$$\sigma = \frac{D_{bu}}{\sqrt{Re}} a = \sqrt{\frac{\eta_{ef} D_{bu}}{P_{mud} V_{max}}} \qquad (5\text{-}1)$$

حيث:

V_{max} - السرعة العظمى في منطقة الاضطراب.

Re - رقم رينولدس ويحسب من العلاقة : $R_e = \sqrt{\frac{P v d}{\eta}}$

1-2-1-2-3- تأثير فاقد رشح سائل الحفر على تنظيف قاع البئر:

إن تأثير فاقد رشح سائل الحفر يمكن فهمه من خلال آلية قطع الفتاتة حيث أن زيادة فاقد الرشح يزيد من قيمة الضغط في الشقوق P_t ، ويسرع استعادة الضغط فيها إلى قيمة الضغط الطبقي P_f وبالتالي يقلل من قيمة $\underline{\Delta P_1} = P_c - P_t$، وما ينجم عن ذلك من تسريع عملية قطع الفتاتة.

1-2-1-2- وظيفة رفع نواتج الحفر إلى الأجهزة السطحية:

إن رفع نواتج الحفر إلى السطح بعد إبعادها الفوري عن قاع البئر، تشكل الجزء الثاني والمكمل لأهم وظائف سائل الحفر المعروفة حتى الآن.

إن الحبيبات الغضارية أو الرملية الناعمة (ذات الأبعاد الصغيرة dr<0.25 mm) ترفع بسهولة من قبل تيار سائل الحفر الصاعد في الفراغ الحلقي. أما الحبيبات ذات الأبعاد الكبيرة فإن رفعها من قبل تيار سائل الحفر يحتاج إلى تأمين خواص تدفقية ونظام جريان مناسبين لنوعية وشكل وأبعاد الحبيبات وكثافتها.

القوى التي تتعرض لها الحبيبة أثناء وجودها في الفراغ الحلقي هي:

1 - القوة $F_{G\downarrow}$ الناتجة عن وزن الحبيبة (المتجهة نحو الأسفل) وتعاكسها قوة الطفو $F_{A\uparrow}$ ، محصلة القوتين $R\downarrow$ (تتجه نحو الإسفل انظر الشكل1-7).

لو فرضنا أن الحبيبة كروية الشكل فإن $R\downarrow$ يمكن أن تحدد بالعلاقة التالية:

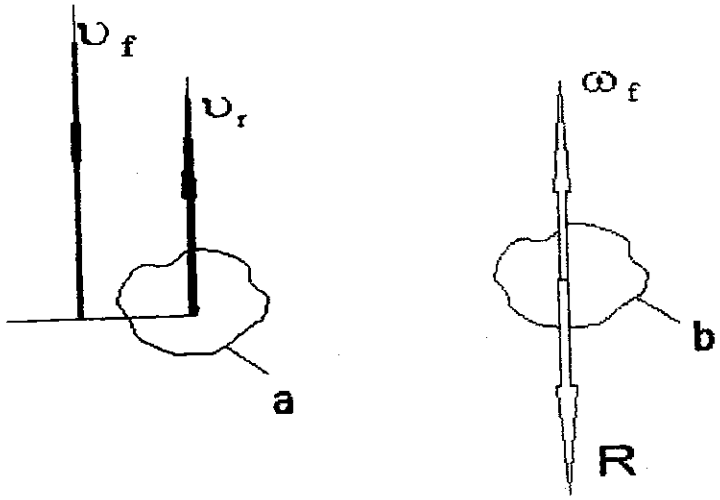
$$R = F_G - F_A = VrY_r - V_r\, Y_{mud} \qquad (6\text{-}1)$$

$$R = V_r\,(P_r - P_{mud})\,g$$

حيث :

Y_r, V_r - حجم الحبيبة ووزنها النوعي.

القوة الناتجة عن تماس السائل المتحرك باتجاه الأعلى مع سطح الحبيبة (قوة المقاومة) ونرمز لها $\omega_{f\uparrow}$ (تتجه نحو الأعلى) انظر الشكل(1-3).



الشكل (1-2) مخطط يمثل القوى المؤثرة على الحبيبة (b)

ومخطط مساري سرعتي تيار سائل الحفر والحبيبة (a)

1-2-3- وظيفة المحافظة على استقرار جدران البئر:

إن اختراق التشكيلات الجيولوجية بالحفر يؤدي إلى خلخلة التوازن الطبيعي السائد منذ آلاف السنين ونتيجة لذلك تنشأ مجموعة من الاجهادات حول فتحة البئر، في كل طبقة يتم اختراقها بالحفر، وتسعى الإجهادات الناتجة لإغلاق فتحة البئر، كي تعيد لهذه التشكيلات استقرارها.

إن إحدى مهام سائل الحفر في البئر هي إعادة التوازن لهذه الإجهادات يشكل مؤقت طيلة فترة الحفر، وريثما يتم تدعيم جدران البئر بالتغليف والسمنتة، حيث يقوم الحجر الإسمنتي بإعادة هذا التوازن بشكل جزئي، على الأقل، لفترة كافية لاستثمار البئر.

ينتج عدم استقرار جدران البئر أثناء الحفر عن أسباب متعددة، بعضها ذا طابع ميكانيكي Mechanical effects ، ناجم عن ضعف مقاومة الصخور للإجهادات والضغوط المتشكلة حول فتحة البئر، وبعضها الآخر ناجم عن الظواهر الكيميائية Chemical effects ، أو الفيزيائية، أو كلاهما (الظواهر الفيزيوكيميائية) تفرضها العلاقة المتبادلة بين سائل الحفر وبين التشكيلات الصخرية الحساسة للماء (كالغضار والجص والملح).

ويؤدي عدم استقرار جدران البئر إلى جملة من التعقيدات (تهدم الطبقات القصفية القاسية، انتفاخ الصخور الغضارية وزحفها باتجاه البئر، انحلال الصخور الملحية ... الخ). والتي ينجم عن معظمها مشاكل كاستعصاء مواسير الحفر وتكرار قشط جدران البئر، وهذا بدوره يعيق استمرار عمليات الحفر، وبالتالي زيادة زمن وتكلفة حفر البئر.

1-2-3-1- الضغط الجيولوجي السكوني (الضغط الجيوستاتيكي):

تتحمل الطبقة المترسبة عند عمق معين وزن جميع الطبقات المترسبة فوقها. ويعبر عن الإجهاد الإجمالي P_G الناتج عن جميع الحمولات (صخر، ماء ...) بالضغط الجيولوجي (أو الجيوستاتيكي) بالعلاقة التالية:

$$P_G = P_{rg} \times Z \qquad (7\text{-}1)$$

حيث:

P_{rg} - الكثافة الوسطية للترسبات الواقعة فوق الطبقة المدروسة.

Z -عمق الطبقة المدروسة.

وتتراوح كثافة الصخور في مجالات واسعة وتكون منخفضة على السطح وتزداد مع العمق بسبب الانضغاط والتراص والتحولات الفلزية والكيميائية التي تحدث بوجود الضغط والحرارة في الأعماق.

ويعبر عن التدرج الجيوستاتيكي بالعلاقة:

$$\Delta P_G = \frac{P_G}{Z} \qquad (8\text{-}1)$$

1-2-3-2- الضغط المسامي أو الضغط الطبقي:

يعطى بالعلاقة:

$$P_G = \sigma + P_f \qquad (9\text{-}1)$$

حيث :

σ - الجهد الحبيبي الصخري الداخلي.

P_f - الضغط الطبقي أو الضغط المسامي.

ويقدر الضغط الطبقي P_f في نقطة ما تقع على عمق Z بالضغط الناتج عن وزن هذا العمود، ويعبّر عنه بالعلاقة التالية:

$$P_f = p_f \times Z \qquad (10\text{-}1)$$

حيث : p_f - كثافة السائل في المسامات الصخرية.

وتتراوح قيمة الضغط الطبقي في مجالات واسعة، ويعتبر الضغط الطبقي السكوني (أو المسامي) عادياً أو طبيعياً إذا نجم عن وزن عمود المياه الطبقية المالحة ذات الكثافة $P_f = 1050 \ldots. 1080\ kg/m^3$.

وفي حال ارتفاع الضغط ألطبقي إلى قيم لا يمكن وصفها كوزن عمود من المياه الطبقية يسمى الضغط الطبقي غير العادي (أو الضغط الطبقي الشاذ ارتفاعاً أو هبوطاً).

وتصادف ظاهرة الضغط الشاذ صعوداً (على سبيل المثال) في الحالتين التاليتين:

أولاً : تنشأ في الطبقات الغضارية السميكة عندما تكون على تماس مع طبقة رملية، وبسبب انخفاض نفاذية الغضار بالمقارنة مع نفاذية الرمل على نفس العمق (نفاذية الغضار تبلغ $2x10^{-6}mD$ على عمق 2600m أما الرمل على ذات العمق فتتراوح نفاذيته 1... 1000 mD).

أما الضغوط الطبقية المنخفضة (الشاذة هبوطاً) فتنجم مثلاً، عن استهلاك المياه ضمن مسامات التشكيلات المحصورة ضمن طبقات كتيمة، حيث تتحول المياه الحرة إلى متبلورة أو مترابطة، أقل حجماً من المياه الحرة، ينجم عن ذلك انخفاض محلي في الضغط يصعب تعويضه بسرعة كافية بالاتصال الهيدروليكي مع الطبقات المجاورة، إلاّ بعد مرور زمن جيولوجي كاف لحدوث ذلك.

1-2-3-3- الضغط السكوني في البئر:

يتم اختيار كثافة سائل الحفر الذي يجب أن يملأ فتحة البئر بحيث تكون قيمة الضغط السكوني الناتج عن وزن هذا العمود مساوياً على الأقل لقيمة الضغط الطبقي، وأن لا يتجاوز قيمة الإجهادات التي تؤدي إلى تمزق الصخر المحيط بجدران البئر.

قيمة الضغط الهدروستاتيكي لعمود سائل الحفر تحدد بالعلاقة :

$v=Q/A = k/\eta \times \Delta P/L$، أما مقدار تدرج ضغط السائل داخل البئر فتعطى بالعلاقة:

$$\Delta P_c = \frac{P_c}{h} = P_{mud} \times g = \frac{P_{md} \times g \times h}{h} \qquad (11\text{-}1)$$

وتحدد قيمة كثافة سائل الحفر بحيث تتحقق المتراجحة التالية طيلة فترة الحفر :

$$P_{fr}<P_c<P_f \qquad (12\text{-}1)$$

حيث : P_{fr}- قيمة الضغط المؤدية لتشقق الصخر المحيط بفتحة البئر.

وبشكل عام تختار كثافة سائل الحفر بحيث يكون الضغط السكوتي في البئر أكبر من الضغط الطبقي ب 15 ... 10at أي :

$$P_{mud} = \frac{P_f+\Delta_{cf}}{g \times h} \qquad (13\text{-}1)$$

قيمة ΔP_{cf}= 15 at ..... 10 هي فارق الضغط بين الطبقة والبئر والذي يختار كعامل أمان لمنع اندفاع المائع الطبقي باتجاه البئر.

1-2-4- وظيفة تعليق نواتج الحفر أثناء التوقف عن الدوران:

إن هذه الوظيفة مرتبطة بخاصية التخثر (gelation) (وهو قدرة بعض السوائل في التحول باتجاهين، تشكيل تركيب مقاوم عند تركها بحالة سكون والعودة إلى حالتها الأولية عند معاودة الحركة).

إن تميز سوائل الحفر بهذه الخاصة تجعلها تؤدي وظيفة تعليق الطور الصلب في الفراغ الحلقي عند التوقف عن دوران سائل الحفر ومنعها من الهبوط إلى قاع البئر.

إن هبوط نواتج الحفر إلى قاع البئر عند التوقف، يمكن أن يتسبب بالمعوقات التالية لعملية الحفر:

1 - تجمع نواتج الحفر فوق رأس الحفر والعمل على أسفنة رأس الحفر وأعمدة الحفر مع جدران البئر، وتؤدي إلى مشكلة استعصاء مجموعة مواسير الحفر.

2 - إعادة طحن النواتج المتجمعة على القاع واستهلاك إضافي لرأس الحفر وزمن حفر البئر، ينعكس على كلفة البئر الإجمالية.

3 – تجمع نواتج الحفر في الجزء السفلي يؤدي إلى تباين كثافة سائل الحفر في الفراغ الحلقي، والذي قد يؤثر في استقرار بعض الطبقات المكونة لجدران البئر، واحتمال حدوث اندفاع الموانع الطبقية.

1-2-5- تبريد وتزييت عناصر رأس الحفر ومجموعة المواسير:

من المعروف أن درجة الحرارة تزداد مع ازدياد عمق البئر، وذلك بعد تجاوز عمق القشرة السطحية (15 – 30 متر). ومع ازدياد أعماق الحفر تزداد أهمية الدور الذي يؤديه سائل الحفر عند دورانه في البئر حيث يقوم بالتبادل الحراري مع أجهزة ومعدات الحفر في جميع عناصر دورته.

ويمكن تقدير درجة الحرارة المتوقعة على عمق محدد بالعلاقة التالية:

$$T = T_a - b\,(h - h_a) \qquad (14\text{-}1)$$

حيث :

T - درجة الحرارة عند العمق h ، مقدرة بـ C°

h - عمق البئر عند النقطة المدروسة مقدرة بـm

h_a - عمق القشرة السطحية ،m

B -التدرج الحراري الجيولوجي ويعبّر عنه بـ C / m

التدرج الحراري يتراوح في المجال C / m 0.05 .... 0.03 = b ، ويزداد أحياناً مسجلاً تدرجاً جيوحرارياً غير طبيعي، كما يمكن أن ينقص بشكل غير طبيعي.

وتستخدم العلاقة التالية لتقدير درجة الحرارة الوسطية في البئر:

$$T_{med} = 0{,}53T + 0.45T_a \qquad (15\text{-}1)$$

يستفاد من هذه العلاقة في تقييم مجال عمل المواد المضافة إلى سائل الحفر.

1-2-6- تلييس وتحييد جدران البئر:

إن سائل الحفر يشكل على جدران البئر النفوذة كعكة الحفر التي تمتاز بنفاذية ضعيفة ومقاومة ميكانيكية عالية تساهم في تدعيم جدران البئر من خلال:

1- تقليل معدل الإرتشاح وبالتالي الحد من التأثير السلبي للراشح المائي على ثبوتية جدران البئر، خاصة، المكونة من صخور حساسة للماء كالغضار والمارل والجص.

تغليف جدران البئر النفوذة بطبقة ذات متانة كافية تقاوم احتكاك مواسير الحفر بجدران البئر وقابلة – في حال التلف – إلى ترميم نفسها، وتحد بذلك من توسع وتكهف جدران البئر

1-3- شروط استثمار سوائل الحفر:

1 - أن لا يؤثر على الطبقات المخترقة (أن لا يؤدي إلى انتفاخ الغضار وكذلك أن لا يحل الملح من الطبقات الملحية).

2 - أن لا يتأثر بالصخور المخترقة التي يصادفها (ملح – أنهدريت)، وكذلك الغازات وتحت شروط درجة الحرارة والضغط المتواجدة في الطبقة.

3 - أن لا يسبب تآكل معدات الحفر داخل البئر وعلى السطح.

4 - أن يكون سهل التحضير والحفظ والتنظيف من الرمل والفتاتات الصخرية.

5 - أن لا يعيق إجراء القياسات الجيوفيزيائية داخل البئر (ذي ناقلية كهربائية).

6 - أن يتمتع بدرجة أمان جيدة (غير سام، غير قابل للاحتراق).

7 - أن لا يؤدي إلى تلوث البيئة والمياه الجوفية والسطحية والتربة الزراعية ... .

8 - أن يُسهّل عمليات رفع وتنزيل مواسير الحفر والتغليف وعمليات الاصطياد.

9 - أن تكون مكوناته متوفرة وتكاليف تحضيره وصيانته أقل ما يمكن.

10 – أن لا يؤثر في النفوذية الطبيعية للطبقة المنتجة، وأن يسهل عمليات إحياء البئر.

1 -4- الخواص التدفقية (الجريانية) لسوائل الحفر:

تعتبر الخواص التدفقية (الجريانية) لسائل الحفر السجل الأهم الذي يرصد التغيرات التي تحدث في البئر خلال عملية الحفر، وهي المفتاح الذي يمكننا من حل معظم المسائل التكنولوجية المتعلقة بتحسين أداء سائل الحفر لوظائفه أثناء دورانه في حفرة البئر.

وتختلف المعايير التدفقية للسائل حسب نوعه، ودرجة تجانسه، وشروط جريانه. ومن أهم المعايير المستخدمة في تقييم الخواص التدفقية لسائل الحفر نذكر:

1-4-1- اللزوجة Viscosity:

تعرف لزوجة السوائل بأنها مقياس قوة المقاومة الداخلية لطبقات السائل، والمحددة بقوى التصاق جزيئات السائل عند إجبارها على الحركة.(المقاومة التي يبديها السائل عند جريان طبقاته بعضها بالنسبة لبعض). ويفهم من ذلك أيضاً بأن طبقة السائل الأسرع تحاول تسريع الطبقة المجاورة.[4].

ويمكن فهم اللزوجة فيزيائياً، بأنها النسبة بين قوى القص التي تؤمّن حركة السائل (t) وبين تدرج السرعة الناتجة عنها ($\frac{dv}{dx}$).

إن العلاقة بين إجهاد القص وتدرج سرعة السائل درست من قبل العديد من الباحثين على أنواع متعددة من السوائل، وقادت هذه البحوث إلى عدّة نماذج، سميّت بأسماء الباحثين، سندرس أكثر هذه النماذج تمثيلاً لسوائل الحفر.

1-4-1-1- السوائل النيوتونية (Newtonian fluids)

وسميت كذلك نسبة إلى الباحث نيوتن (Newton)، والذي يعتبر أول من درس هذه الخاصة على السوائل المتجانسة [9] (ماء, كحول, محاليل ملحية..) وقد توصل إلى العلاقة التالية:

$$t = \eta . \frac{dv}{dx} \qquad (16\text{-}1)$$

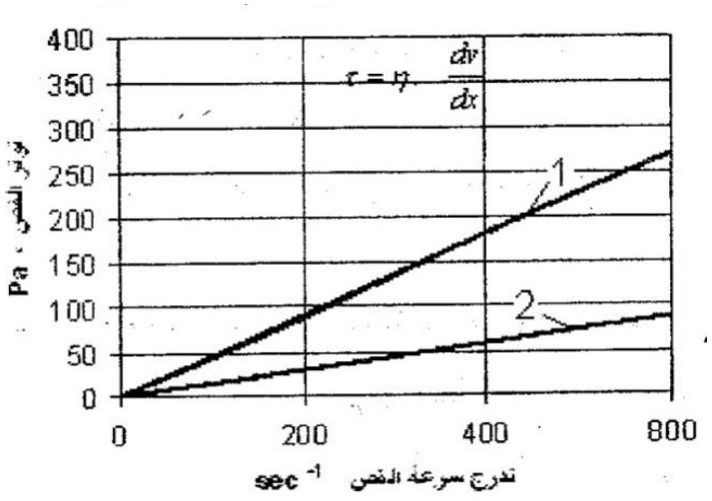
حيث :

$\frac{dv}{dx}$ - تدرج سرعة القص (معدل القص Shear rate) ويرمز له كمشتق (ẏ) بواحدة sec^{-1}

t - قوى القص (القوى المماسية المطبقة على السائل)،**Pa**.

η معامل اللزوجة المطلقة أو اللزوجة الديناميكية.

ويقاس معامل اللزوجة الديناميكية بواحدة مشتقة مباشرة من علاقة نيوتن وتسمى بواز (Poise) والتي تكافئ gr|cm.s أو dyne.s /cm^{2+} أو $10^{-5}\frac{N.S}{m2}$ ، ويمثل الشكل (3-1) الشكل البياني لعلاقة نيوتن:



الشكل (3-1)

العلاقة بين جهد القص r وتدرج سرعة القص $\frac{dv}{dx}$ في علاقة نيوتن للسوائل المتجانسة عالية اللزوجة (1) ومنخفضة اللزوجة (2)

وقد بيّنت الدراسات أن علاقة نيوتن الخطية تنطبق فقط على السوائل المتجانسة كالنفط والماء (Newtonian fluid)، والتي من الممكن أن تكون عالية اللزوجة (الغليسرين)، أو منخفضة اللزوجة (الكحول)، والتي من النادر جداً استعمالها كسوائل حفر دون إضافات صلبة أو منحلة. انظر الشكل (3-1).

أما سوائل الحفر فمعظمها سوائل غير متجانسة (محاليل غروية ومعلقات ...) والتي تتغير لزوجتها وفقاً لسرعة الجريان ولا تنطبق عليها علاقة نيوتن (1-16) ولذلك اصطلح على تسميتها السوائل غير النيوتونية [9].

1-4-1-2- السوائل غير النيوتونية:

وهي السوائل التي تكون العلاقة بين جهد القص (Shear Stress) وتدرج سرعة القص (Shear rate) غير خطية عند جزء أو كل قيم تغيرات جهد القص. بالتالي فإن اللزوجة لن تكون ثابتة بل ستكون تابعة لسرعة الجريان.

ويمكن هنا تمييز عدة أشكال لهذه السوائل تمت دراستها رياضياً:

أولاً – السوائل البنغهامية Bingham Plastic Fluids :

وهي السوائل التي تبدأ بالجريان فقط عندما تتجاوز قيمة القوة المؤثرة في السائل (t) قيمة التوتر الديناميكي للقص (t_D) أو (Yield point) وتوصف رياضياً بالعلاقة التالية:

$$t = t_D + \eta_p . \frac{dv}{dx} \qquad (17\text{-}1)$$

حيث أن :

t_D التوتر الديناميكي للقص $Ib/_{100\,ft^2} = 4.88\ \mathrm{mgf/Cm^2}$

η_p *اللزوجة البلاستكية ،* cP

y^1 تدرج سرعة القص $(\frac{dv}{dx})$ ، Sec^{-1}

حيث أنه من السهل ملاحظة أن السائل لن يبدأ بالحركة إلاّ عندما تكون قيمة $t_D<t$.

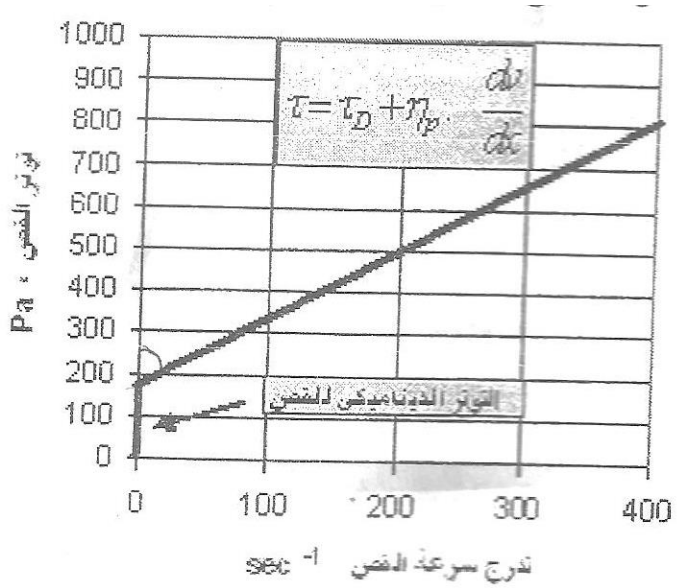
واللزوجة البلاستيكية η_p لها قيمة ثابتة تعتمد على تركيب السائل المدروس وتساوي عددياً تظل زاوية الجزء الخطي المستقيم من العلاقة (17-1)، ويوضح الشكل (4-1) معادلة بنغهام بيانياً.

وعند استخدام جهاز قياس اللزوجة متعدد السرعات Viscometer[1] لقياس الخواص التدفقية لسوائل الحفر، فإن هذه المؤشرات تحدد حسابياً كما يلي [1]:

$$\eta_p = \phi 600 - \phi 300, cP \qquad (18\text{-}1)$$

$$t_0 = 2.\phi 300 - \phi 600 \ldots Ib/100\,, cP\ ft^2 \qquad (19\text{-}1)$$

حيث ϕn– القراءة على الجهاز عند عدد الدورات n



الشكل (4-1)

العلاقة بين جهد القص tوتدرج سرعة القص $\frac{dv}{dx}$ للسوائل البنغهامية

وتمكننا معادلة بنغهام من دراسة حركة سوائل الحفر الطبيعية (غضار وماء) قليلة المعالجة والمثقلة وحركة السوائل الإسمنتية.

ثانياً – نموذج اوستفالد Ostwald de Waele :

ويطلق عليها أيضاً (Power law model)، أي السوائل ذات الطاقة المنخفضة وذلك لأنها تبدأ الجريان بمجرد تعرضها للجهد وتوصف رياضياً بالعلاقة التالية:

$$T = K.\ (\acute{y})^n \qquad (20\text{-}1)$$

حيث :

$\acute{y}$ تدرج سرعة القص $\frac{dv}{dx}$ (مشتق السرعة بالنسبة للمتحول X).

n معامل (Exponent) يعتمد على الخواص الحركية للسائل وقيمته أقل من الواحد ويمثل درجة انحراف السائل المدروس عن تصرف السائل النيوتوني.

K معامل (Consistency) قيمته تعتمد على تركيب السائل، ويسمى دليل التماسك ويظهر مدى إمكانية ضخ السائل عند قيم مختلفة للزوجة.

يمكن تحديد هذه المعاملات بالعلاقتين التاليتين:

$$n = \frac{\log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{\log\left(\frac{\acute{y}_2}{\acute{y}_1}\right)} \quad , K = \frac{T_2}{\acute{y}_2^n} \qquad (21\text{-}1)$$

وباستخدام جهاز قياس اللزوجة متعدد السرعات، يمكن تحديد قيم هذين المعاملين عددياً، بأخذ القراءات ϕ عند عدد *الدورات* *300, 600* على التوالي، أي:

$$n = \frac{\phi_{600}}{\phi_{300}} \quad , K = \frac{\phi_{300}}{511"}$$

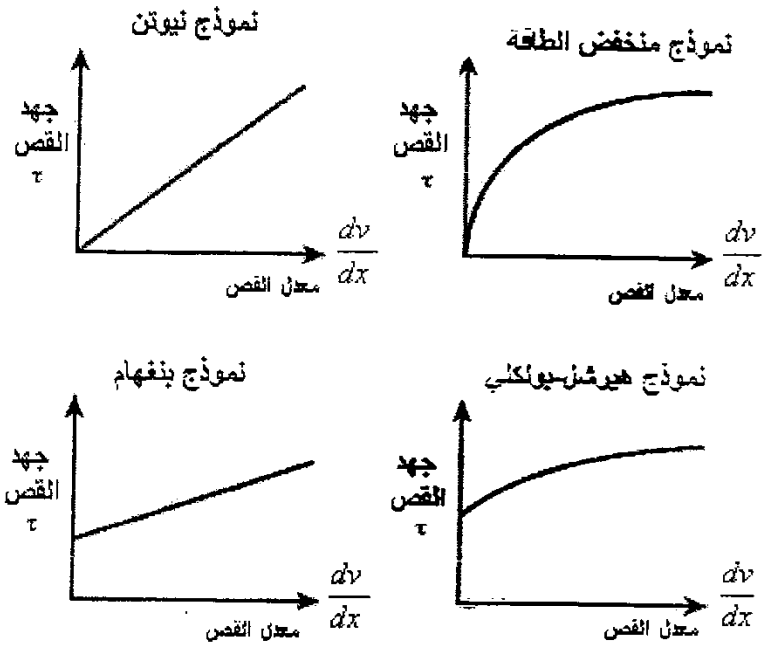
ويمكن اعتماد نموذج اوستفالد لدراسة جريان سوائل الحفر شديدة المعالجة بالمرفقات وسوائل الحفر المستحلبة والطفلة البوليميرية ... الخ.

ثالثاً – نموذج هيرشل وبولكلي (Herschel - Bulkley fluid) :

وتنطبق على السوائل التي تبدأ بالجريان فقط عندما تتجاوز قيمة القوة المؤثرة في السائل (t)قيمة التوتر الديناميكي للقص(t_0)، مثل السوائل البنغهامية، ومع ازدياد قيمة جهد القص فإن تدرج سرعة القص يزداد بشكل غير خطي، مثل سوائل اوستفالد، وتوصف رياضياً بالعلاقة التالية: [4]:

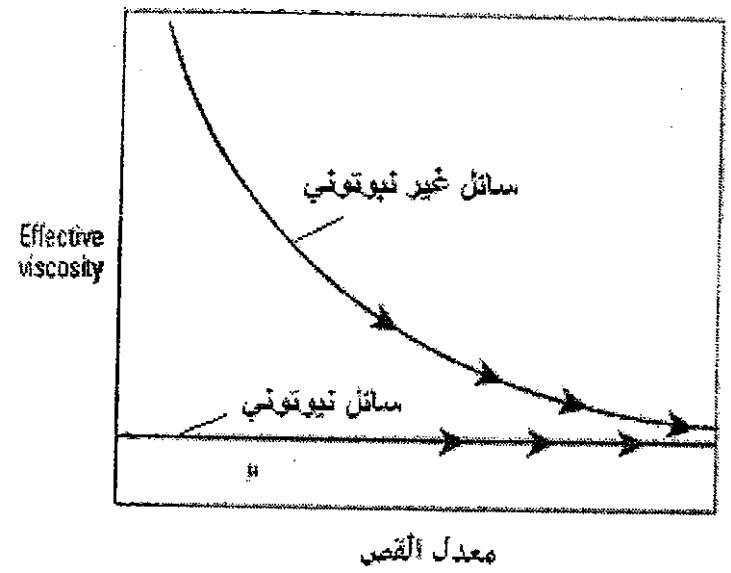
$$t=t_0 + K.\ (\acute{y})" \qquad (22\text{-}1)$$

ويوضح الشكل (1-5) مقارنة بين التمثيل البياني لنماذج الجريان المدروسة.



الشكل (1-5) التمثيل البياني للعلاقة بين جهد القص
ومعدل القص لمختلف نماذج الجريان المدروسة

كما يظهر مخطط الجريان الموضح في الشكل (1-6)، علاقة اللزوجة الفعالة، كتابع لسرعة جريان السائل (معدل سرعة القص y) للسوائل النيوتونية وغير النيوتونية، حيث يتضح من الشكل أن لزوجة السوائل غير المتجانسة سوف تكون تابعة لمقطع الجريان، وبالتالي سيكون من الصعب اعتماد لزوجة محددة لجميع الحسابات الهيدروليكية في البئر حيث يتراوح تدرج سرعة القص بيم 5 Sec^{-1} عند الخزانات على السطح، إلى 10^4 ... 10^5 (Sec^{-1}) في فتحات رأس الحفر.



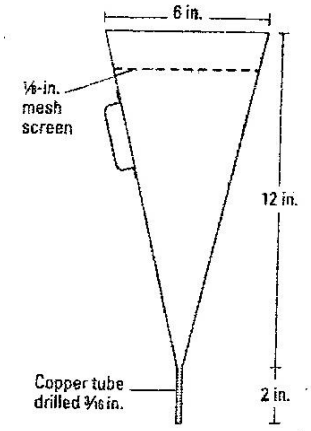
الشكل (1-6) اللزوجة الفعالة η_{ef} كتابع لمعدل القص ($\dot{\gamma}$)

للسوائل النيوتونية وغير النيوتونية

ويمتاز تحديد اللزوجة الفعالة بالصعوبة، بيد أنه من الممكن تمثيل هذه العلاقة بمساعدة مخطط جريان مشابه للشكل (1-6)، حيث يتم تحويل القراءات على جهاز Fan عند سرعات قص مختلفة ... 3 600 دورة بالدقيقة، إلى معادلاتها من معدل تدرج القص (S^{-1})، وتمثيلها على إحداثيات لوغاريتمية، وبمساعدة مخطط الجريان الناتج، يمكننا قراءة اللزوجة الفعالة مباشرة η_{ef} في جميع أجزاء دورة سائل الحفر في البئر واستخدامها في الحسابات على وحدات الحفر، ومنذ عام 1931م، تستخدم على نطاق واسع لزوجة نسبية (حقلية أو شرطية) مقاسة بواحدة الزمن، باستخدام قمع خاص.

قمع مارش:

هو عبارة عن قمع مخروطي الشكل، انظر الشكل (1-7)، ينتهي بثقب يعبر من خلاله سائل الحفر بحجم محدد (حوالي 1.5 ليتر)، وتقرأ لزوجة سائل الحفر كزمن جريان سائل الحفر عبره، وتقارن مع زمن عبور ذات الحجم من الماء (حوالي 26 ثانية).



الشكل (1-7) قمع مارش لقياس اللزوجة النسبية

ولا تستخدم اللزوجة النسبية في الحسابات، وإنما تستخدم كمؤشر سريع لرصد تغيرات هذه الخاصة أثناء الحفر [9].

1-5- تركيب سوائل الحفر :

تتكون سوائل الحفر بشكل عام من:

1- الأساس(الطور المشتت):وهوالمائع الذي يشكل الجزء الأساسي لسائل الحفر (الماء،الهواء،النفط)

2- الطور الصلب(الطورالمتشتت)والذي يمكن أن يكون فعالا(كالغضار)أو خاملا(الموادالمثقلة أوالسادة)

3-المواد المضافة:

أ- محاليل كهروليتية متشردة أو غير متشردة تدخل إلى سائل الحفر من نواتج الحفر ،أوتضاف للسائل لضبط خاصة محددة(مثلPH) أوللتحكم بوظيفة محددة.

ب- مواد كيميائية تضاف لضبط الخواص المختلفة لسائل الحفر بشكل صلب أوسائل أومنحل.

وقد يتم استخدام مائعين أو أكثر أي أن قسماً منها يصلح أن يكون أساسا لسائل الحفر (نفط وماء أونفط وهواء)، ولتحديد أساس سائل الحفر ، يفترض أن يكون أحد المائعين متشتت ضمن الآخر، ويكون الطور المشتت هو أساس سائل الحفر ،كمستحلب نفط في الماء (أساس مائي)أومستحلب عكسي ، ماء في النفط (أساس نفطي) أو رذاذ ماء في الهواء (أساس هوائي).[4]

1-6- تصنيف سوائل الحفر:

لا يوجد معيار محدد معتمد لتصنيف سوائل الحفر .غير أن التصنيف الأكثر استعمالا ذلك الذي يعتمد على الطور المشتت (الأساس)على الشكل التالي:

1- سوائل الحفر ذات الاساس المائي Water-Base Muds
2- سوائل الحفر ذا الأساس النفطي Oil-Base Muds
3- موائع الحفر الغازية (الهواء) Gas(Air)

1-6-1- سوائل الحفر ذات الاساس المائي:

تضم هذه المجموعة جميع سوائل الحفر التي يكون الطور المشتت فيها هو الماء وتشمل هذه المجموعة :

أ- المياه الطبيعية أو العذبة :(Fresh Water) أو المالحة (Salt Water)

ب- سوائل الحفر غير المعالجة :(Fresh Water Mud) مكونة فقط من ماء عذب و غضار بنتونايتي.

ت- سوائل حفر معالجة :(Treated Mud) مكونة من ماء عذب وبنتونايت ومعالجة بإضافة مقلل فاقد الرشح أو مرقق لضبط اللزوجة .

ث- سوائل الحفر الخاصة : تضم هذه المجموعة عدد كبير من سوائل الحفر المحضرة لتحقيق هدف معين أو لحفر طبقة محددة نذكر منها :

1- سوائل الحفر الكلسية المعالجة بالجير.

2- سوائل الحفر المعالجة بالجص.

3- سوائل الحفر المعالجة بكبريتات الليغنين والكروم.

4- سوائل الحفر ذات التركيز القليل .بالطور الصلب.

5- سوائل الحفر المعالجة بالبوتاسيوم.

6- سوائل الحفر المعالجة بالسيليكات.

ج- سوائل الحفر المستحلبة: جميع السوائل ذات الأساس المائي يضاف إليها النفط كوسط متشتت في الماء بنسبة تصل إلى 20% حجما ويشكل النفط مع الماء مستحلب مباشر.

ح- سوائل الحفر المهواة: يتم الحصول عليها بحجم معين من الهواء في أي من سوائل الحفر ذات الأساس المائي بواسطة ضاغط في جهاز الخلط المتواجد على خط سحب المضخات وذلك لتقليل كثافة سائل الحفر.

1-6-2- سوائل الحفر ذات الأساس النفطي :

تضم هذه المجموعة جميع سوائل الحفر التي يشكل النفط أو أي من مشتقاته الطور المشتت, أما الماء والمواد الأخرى فتكون مبعثرة في النفط . وتقسم هذه المجموعة إلى :

أ- سوائل الحفرالمستحلبة : وهي عبارة عن مستحلبات عكسية (ماء في النفط) الجزء الأساسي منها هو النفط أو أحد مشتقاته .

ب- السوائل السوداء : تتألف فقط من النفط (أو أحد مشتقاته), وكمية قليلة جدا من الماء (2-3%)

1-6-3- موائع الحفر الغازية (الهواء):

أ- الغازات الجافة (Dry Gas) : استخدامها كموائع حفر يعطي سرعة ميكانيمية عظمى. فهي تستخدم لإختراق الطبقات المتماسكة, والتي لا تحتوي في مساماتها على موائع تحت ضغط

ب - الرغوة (Foam): تتشكل هذه الرغوة من خلط كمية صغيرة من الماء في الغازات مع مادة لتشكيل الرغوة .

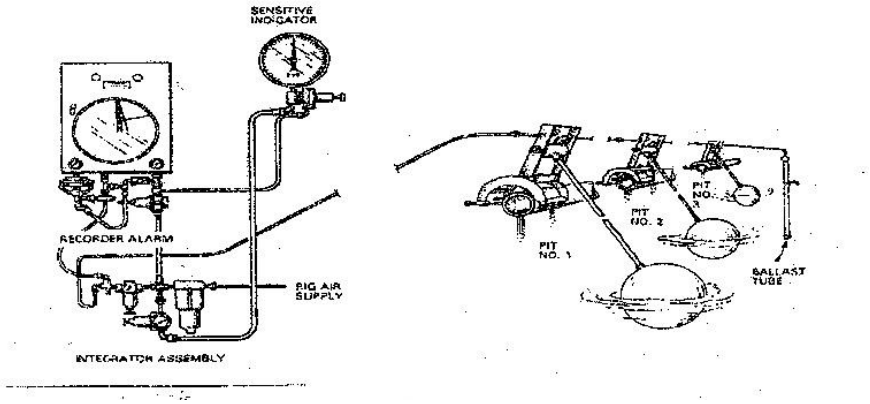
ت- الضباب (Mist): حيث يشكل الهواء الأساس ويشتت الماء على شكل رذاذ ناعم يأخذ مظهر ضبابي .

الفصل الثاني

مشاكل تهريب سائل الحفر في الطبقات

إن تهريب سائل الحفر بالتعريف هو دخول جزئي أو كلي للسائل في الشقوق والمسامات والفراغات الطبيعية (أو المحدثة) في الطبقة، وهي مشكلة شائعة في الحفر ولاسيما في الحقول السورية وتسبب ضياعاً كبيراً بالزمن وزيادة مرتفعة في الكلفة. وإن درجة خطورة هذه المشكلة تتبع لدرجة التهريب (معدل دخول السائل في الطبقة) والذي يتراوح ما بين كمية قليلة يصعب ملاحظتها إلى التسرب الكلي وفقدان الدوران، ويمكن ملاحظة التسرب من خلال مراقبة مستوى السائل في الخزانات العاملة وكذلك الضغط.

إن مستوى السائل في الخزانات يتناقص ببطء بسبب خاصية فاقد الرشح من سائل الحفر، وكذلك امتصاص الماء من قبل الصخور المكونة للجدران، لذلك فإن معدل التهريب البسيط يصعب تحديده، وعند بلوغه معدلاً ما فقط يمكن ملاحظته من خلال تناقص ملحوظ لمستوى السائل في الخزانات . إلا أن تطور تقنيات الحفر أدى إلى تشغيل أجهزة ألكترونية تستطيع كشف التهريب، وتحديد كمياته بدقة حيث تظهر قيمته مكتوبة علنى شاشة مقابل الحفار وعلى أجهزة الكومبيوتر في أمكان مختلفة متصلة مع حساسات تركب على سطح خزانات الطفلة أنظر الشكل (2 -1).



الشكل(2-1) حساسات تشير إلى مستوى سائل الحفر في الخزانات

تؤدي هذه الصعوبة في أبسط حالاتها إلى زيادة كلفة الحفر من خلال فقدان كميات من سائل الحفر محضرة باستخدام مواد غالية الثمن وكذلك من خلال زيادة زمن الحفر لمعالجتها وفي حالاتها القصوى (التهريب الكلي) وانخفاض مستوى السائل في البئر قد يتسبب في ظهور صعوبات أخرى أكثر خطورة (انهيار جدران البئر، زحف الطبقات، اندفاع الموائع الطبقية...).

وقد يتسبب في استعصاء مجموعة المواسير نتيجة إعادة ترسب الفتاتات عند التوقف.
يضاف إلى هذه النتائج السلبية للتهريب أن حدوثه في المكامن النفطية يتسبب في تخريبها من خلال إغلاق قنواتها بالحبيبات الصلبة التي يحملها معه إلى داخل الطبقة أو على الأقل تفرض إجراء تحسين نفوذية هذا المكمن كي يمكن وضعه في الإنتاج (كما حصل في آبار تشرين) وهو ما يرفع من تكلفة الإنتاج.

2-1- شروط حدوث مشكلة التهريب:

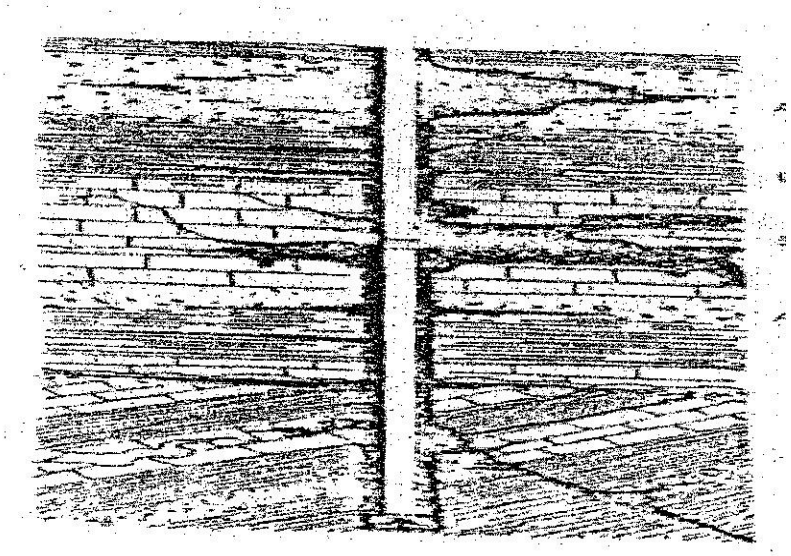
أ – أن تحوي الطبقة على قنوات بأبعاد عرضية كافية لتسمح لسائل الحفر بالحركة فيها (قطر هذه القنوات يجب أن يكون أكبر بثلاث مرات على الأقل من قطر الحبيبات في سائل الحفر) .[10]

وتصنف القنوات التي يمكن أن يهرب فيها سائل الحفر إلى:

1 – مسامات الطبقات الحصوية – الرملية...

2 - الشقوق الطبيعية التي تحدث نتيجة الحركات التكتونية أو المحدثة بفعل استخدام ضغوط كبيرة داخل البئر والتي تتراوح أبعادها ما بين الصخور الكلسية والدلوميتية...).

3 - التكهفات التي تحدث بفعل انحلال بعض الصخور في المياه الطبقية في فترات جيولوجية كبيرة في الصخور الكربوناتية (كلس – دولوميت) والتي تتراوح أبعادها ما بين عدة مليمترات إلى عدة أمتار انظر الشكل (2 -2).



الشكل(2–2):مقطع يبين أشكال مختلفة من الصخور التي تشكل وسطاً مناسباً للتهريب

ب – الضغط داخل البئر أكبر من الضغط الطبقي أي يجب أن تتحقق العلاقة:

$$P_w+p_{hd}+p_o \geq p_f+p_{fr}$$

P_w– ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر

P_{hd}- الضغط الحركي (الهيدرو ديناميكي) الناتج عن حركة سائل الحفر داخل البئر (في الفراغ الحلقي) من النقطة المفترضة وحتى السطح وهو يزداد مع ارتفاع الغزارة - الوزن النوعي - واللزوجة البلاستيكية لسائل الحفر.

P_o - الضغط على السطح عند إغلاق البئر تحت الضغط (إجراء جسر إسمنتي تحت الضغط).

P_f - الضغط الطبقي (الضغط الذي تتواجد عنده الموائع في مسامات الطبقة)

P_{fr} - الضغط اللازم لمقاومة جريان سائل الحفر في قنوات الطبقة.

2-2- مسببات التهريب:

وتقسم إلى مجموعتين:

1 - طبيعية وتتعلق بخصائص الطبقات من حيث احتوائها على شقوق طبيعية أو محدثة بفعل (الضغط الكبير داخل البئر) وكذلك قنوات وتكهفات بأبعاد كبيرة ،وهذه المسببات لا يمكن تلافيها بل يتم اختيار سائل الحفر وطريقة الحفر اعتماداً عليها.

2 - أسباب عملية تجعل الضغط داخل البئر أكبر من الضغط الطبقي مثل:

استعمال سائل حفر بوزن نوعي مرتفع - ضغط حقن كبير -لزوجة مرتفعة - إنزال مجموعة مواسير الحفر (التغليف) بسرعة كبيرة وتصرفها كمكبس داخل البئر.

يمكن التحكم بهذه المجموعة من الأسباب، ولا يجوز أن تكون سبباً في التسرب وعلى الأخص المضاعفات التي تنتج عنه إلا في حالة المناطق المجهولة كلياً (الآبار الاستكشافية) بعبارة أخرى تختار غزارة سائل الحفر ووزنه النوعي وبقية خصائص سائل الحفر بحيث تتحقق العلاقة الآتية:

$$P_f \leq p_w+ p_{hd}+p_o \leq p_{rez}$$

Prez- ضغط التشقق للطبقات الأقل قساوة في المجال المفتوح من البئر (في الطبقات ذات الضغط العادي يوجد فرق كبير بين p_f و p_{fr} ويقتربان من بعضهما في الطبقات ذات الضغوط المرتفعة).

2-3- تصنيفات أنواع التهريب:

أ- جزئي:حيث يكون حجم سائل الحفر الخارج من البئر أقل من الحجم الداخل إليه.

ب-كلي: حيث يذهب كامل الحجم المضخ من سائل الحفر في الطبقات (أي الحفر دون راجع لسائل الحفر).

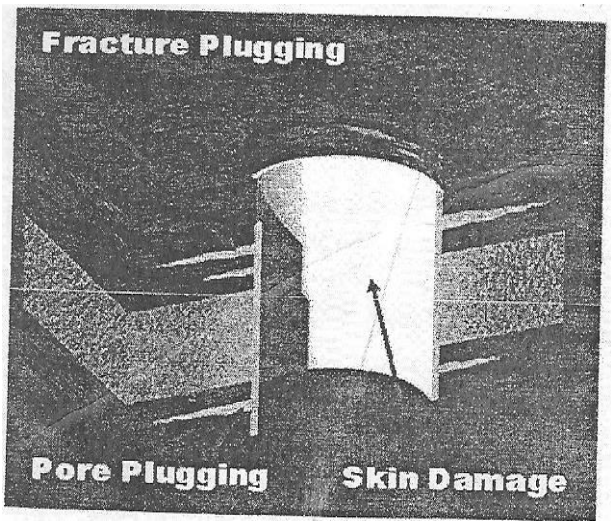
تصنيف آخر يقسم التهريب إلى:

أ - بسيط وهو الذي يختفي مع الزمن بإغلاق قنوات الطبقة بالمواد التي يحملها سائل الحفر انظر الشكل(2 -3).

ب - جزئي وهو الذي يعالج فقط من خلال تغيير خصائص سائل الحفر.

ت - كبير حيث مستوى السائل لا يصل إلى السطح حتى بعد تعديل خصائص سائل الحفر.

ث - كارثي وفيه يقترب مستوى سائل الحفر من الطبقة التي تستقبله.



الشكل(2 –3): يبين إغلاق الطبقة بالمواد التي يحملها سائل الحفر.

كما يمكن تصنيف التهريب حسب شدته كما يلي:

أ- تهريب بسيط معدل التهريب فيه أقل من 2م 3/سا.

ب -تهريب متوسط معدل التهريب فيه ما بين (2 - 10) م 3/سا.

ث - تهريب كبير جداً معدل التهريب فيه أكبر من (50) م 3/سا.

2-4- طرق تلافي التهريب:

من أجل تلافي التهريب ننطلق من نوعيته، في وضعية التهريب الجزئي (البئر مليئاً بالسائل) يمكن تلافيه باتخاذ بعض الإجراءات التقنية البسيطة لتعديل فرق الضغط (بئر - طبقة).

من تحليل العلاقتين السابقتين نلاحظ ضرورة إنقاص ($p_w+p_{hd}+p_o$) وزيادة (p_{rez}).

2-4-1- تلافي التهريب ذو المعدلات المنخفضة:

لتحقيق هذا الهدف نقوم بالخطوات التالية:

1 - يجب المحافظة على وزن نوعي أصغري لسائل الحفر، والذي يؤمن استمرار الحفر بدون مشاكل (يؤمن ثبوتية جدران البئر والموائع في الطبقة) وأثناء سمنتة المجالات التي تؤدي إلى التهريب يفترض استخدام خلطات مخففة معالجة بمواد سدادة.

2 - استخدام سائل بخصائص حركية (لزوجة بلاستيكية، نقطة خضوع، هلامية) متدنية والتي تؤمن رفع الفتاتات كون هذه القيم الصغيرة تقلل من الضغط الحركي لسائل الحفر.

3 - استخدام معدل الضخ لسائل الحفر بأصغر قيمة ممكنة والتي تؤمن تنظيف القاع باستبدال الحفر التوربيني (الذي يتطلب معدلات ضخ مرتفعة) بالحفر الطاحوني.

4 - استخدام سرعات إنزال صغيرة لكل من مجموعتي الحفر والتغليف لأن الضغط الإضافي الناتج عن سرعة الإنزال قد يصل إلى بضعة عشرات من الضغوط الجوية والذي يعادل زيادة في الوزن النوعي لسائل الحفر (400 - 200) كغ/م3.

5 - يزداد معدل الضخ بشكل تدريجي (عند إعادة الدوران لسائل الحفر بعد التوقف لسبب ما) لتجنب الضغوط المفاجئة وينصح في هذه الوضعية رفع مجموعة المواسير لكسر خاصية التخثر في السائل.

6 - تجنب تشكل لبادة على رأس الحفر والممركزات وأعمدة الحفر باستخدام سائل الحفر المناسب أو معالجته بمواد إنزلاقية (نفط - كربون).

7 - تجنب استخدام برامج تغليف بفراغ حلقي صغير جداً أو مجموعة مواسير بفراغ حلقي صغير (خصوصاً بين أعمدة الحفر وجدران البئر).

8 - إيقاف الضخ أثناء رفع وإنزال قلم الحفر (لفحص وضعية البئر).

9 - استمرار ضخ سائل الحفر قبل البدء بالرفع لاستبدال رأس الحفر لدورة كاملة لتنظيفه من نواتج الحفر.

إن هذه الوسائل البسيطة تعتبر فعالة في تلافي التهريب ذي المعدلات المنخفضة وفي حال عدم فعاليتها يتم اللجوء إلى استخدام مواد سدادة بإغلاق القنوات الطبقية بتركيز يتراوح ما بين (20-5) كغ/م3 والتي تزيد من اللزوجة وتنقص الوزن النوعي لسائل الحفر.

عند اختراق الطبقات ذات الضغوط الطبقية المنخفضة وكذلك تلك المتشققة أو المتكهفة يجب اتخاذ إجراءات أكثر فعالية مثل استخدام السوائل المهواة أو الرغوة الثابتة وحتى الهواء لاختراقها ويمكن أيضاً اعتماد سوائل ذات أساس نفطي أو الحفر الأعمى (الدوران المحلي لسائل الحفر في منطقة التهريب).

إذا كانت مسببات التهريب طبيعية، والتي لا يمكن تلافيها فإن التهريب سوف يحصل مهما اتخذ من إجراءات احتياطية، وعند ذلك يجب معالجته والبداية بتحديد منطقة التسرب إما بالقياسات الجيوفيزيائية أو القياسات الحرارية، وهذه الأخيرة تعتمد على قياس التدرج في منطقة التهريب بدلاً من الزيادة الطبيعية (1-3) م لكل 100م.

2-5- طرق معالجة التهريب:

تتم معالجة التهريب وفقاً لنوعه أو شدته على النحو التالي:

2-5-1- إنقاص ضغط الضخ للمضخة:

يستهلك هذا الضغط لمقاومة احتكاك سائل الحفر الداخلي ومع السطح الداخلي والخارجي لمجموعة مواسير الحفر وجدران البئر وفي فتحات رأس الحفر $p_p = p_w + p_{hd}$ ودفعه للحركة بسرعة معينة لتحقيق الوظائف الرئيسية له وهي التنظيف ورفع الفتاتات إلى السطح. إذا كان ضغط عمود سائل الحفر p_w يحقق ضغطاً يساوي ضغط الطبقة pf فإن الضغط الحركي p_{hd} يرفع الضغط داخل البئر إلى قيم كبيرة أحياناً وتكون سبباً في التهريب. يتم إنقاص ضغط الضخ بإنقاص ضغط سائل الحفر ووزنه النوعي أو لزوجته إلى الحدود الدنيا التي تؤمن قيامه بالوظائف المطلوبة منه، وأحياناً اعتماد الحلول الملائمة (إنقاص Q, n, yf)،ويستخدم هذا الحل في حالات التهريب الجزئي والضعيف.

2-5-2- إضافة مواد سدادة إلى سائل الحفر:

مع زيادة لزوجة سائل الحفر وفي حال عدم نجاح الحل الأول في وقف التهريب (شدته أكبر ولكنه ما زال جزئياً) يعالج سائل الحفر ذو الوزن النوعي المنخفض والغزارة المتدنية بمواد سدادة

تعمل على سد القنوات الطبقية التي تستقبل سائل الحفر وذلك اعتماداً على علاقة دراسي في تحديد معدل دخول السائل في الطبقة.

$$Q = \frac{2NKH(PW-PF)}{UlN\frac{RW}{rf}}$$

Q– معدل دخول السائل في الطبقة(م^3 /سا)

H– سماكة الطبقة التي تتسبب في التهريب(م)

K– نفوذية الطبقة (دراسي).

Rw– نصف قطر البئر

Rf– نصف قطر المنطقة التي تتأثر بسائل الحفر

نلاحظ من هذه العلاقة أن معدل التسرب يتناسب طرداً والنفوذية k لذلك فإن إضافة المواد السادة التي تغلق المسامات والقنوات المتصلة بالبئر هو أحد الحلول الناجحة في وقف أو على الأقل التخفيف بشكل كبير من معدلات التهريب، كذلك فإن رفع لزوجة سائل الحفر وخصوصاً عند حدوث التسرب في الطبقات القريبة من السطح يعتبر من الحلول التي تعتمد بعد الحلين السابقين كونها (وكما يلاحظ من العلاقة السابقة) تقلل من معدل التهريب من خلال التقليل من اللزوجة ، وهي مقدرة المضخات على دفع السائل للحركة).

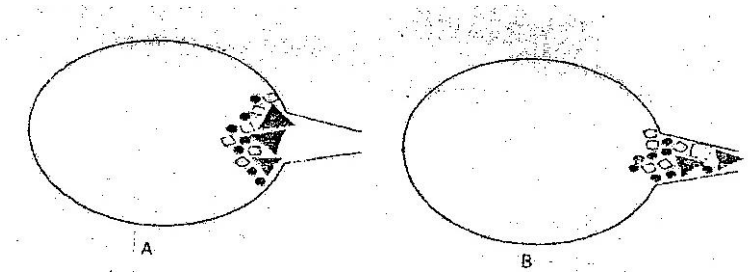
تستخدم أنواع متعددة من المواد السدادة تختلف فيما بينها من حيث طبيعتها، شكلها وأبعادها وتصنف إلى ثلاثة أنواع:

أ - قشرية : سيلوفان - قشور بذر قطن - ميكا

ب - حبيبية: كربونات الكالسيوم - رمل - فحم مطحون - قشور الجوز - قشور بذر الزيتون... إلخ.

ج - ليفية: لباب قصب السكر بعد عصره - ألياف الكتان - الجلود - الصوف - المعدني - التبن - ... إلخ.[2]

تحدد كمية المواد السادة التي يعالج بها سائل الحفر تبعاً لشدة التهريب وهي تتراوح بين (20-50) kg/m^3 بما يتناسب وطاقة مضخات سائل الحفر أيضاً، أما أبعاده فيفضل أن تكون غير متجانسة بحيث تتناسب ومسامية أو تنوع قطر القنوات الطبقية، كما يفضل أن تستخدم عدة أنواع دفعة واحدة خشنة مع حبيبية أو قشرية وقد تكون حبيبية وليفية أنظر الشكل (2-4).



الشكل (2-4) إغلاق المجال المسبب للتهريب

2-5-3- إغلاق المجال المتسبب للتهريب باستخدام خلائط حقن مختلفة:

أ- بحقن رمل وحصى واسمنت:

إذا كان التهريب شديداً ولم ينفع الحلان السابقان يجب وقف الحفر وضخ الرمل والحصى بأبعاد (0.5–1) مم في البئر بواسطة سائل الحفر حتى تصل إلى منطقة التسرب وبعد فترة من الانتظار كي تتوضع بتأثير ثقلها في المسامات يتم حقن كمية من الاسمنت وتدفع بواسطة سائل الحفر إلى الطبقة كي تتجمد ما بين حبيبات الرمل والحصى مغلقة الفراغات ومانعة استمرار التسرب. قد يتم حقن خليط الحصى والرمل في الفراغ الحلقي أو تقسم على دفعين الأولى من داخل المواسير والثانية من الفراغ الحلقي وفي حال عدم نجاح هذا الإجراء تكرر المراحل السابقة بزيادة كمية الحصى والرمل الاسمنت حتى الوصول إلى النتائج المطلوبة.

ب - طريقة خلطة البنتونيت مع المازوت (Gunk squeeze method):

يتم بهذه الطريقة إغلاق منطقة التهريب بضخ كمية كبيرة من الغضار ودفعها إلى الطبقة ضمن مجال التهريب حيث تتميه وتنتفخ وتملأ أية شقوق أو تكهفات.

ويتم مزج الغضار بتركيز عال (210-250 باوند / البرميل) مع الديزل. إن الغضار سوف لن ينتفخ بالديزل ويبقى على وضعه الطبيعي، حيث يتم ضخ المواد من خلال مواسير الحفر إلى منطقة التهريب. وعندما تخرج الخلطة من مواسير الحفر يتم دفعها بالضغط إلى منطقة التهريب، حيث تصبح على تماس مع الماء (سائل الحفر الذي سبق وتسرب إلى مجال التهريب) أو يتم ضخ ماء عبر الفراغ الحلقي. إن هذا الماء سوف يؤدي إلى انتفاخ الغضار وذلك بعد دخوله مجال التهريب في الطبقة، ويستمر هذا الانتفاخ لعدة ساعات يتم فيها إغلاق مجالات التهريب.

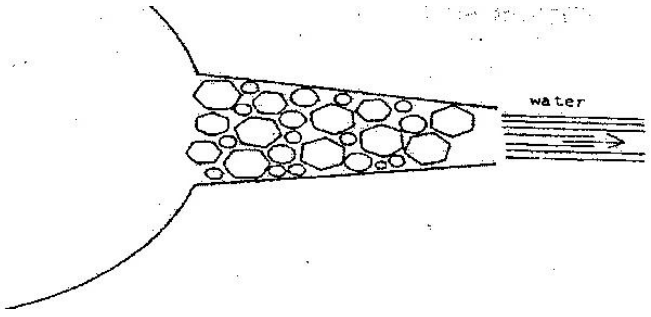
ج - طريقة مزيج البارايت مع غضار اتابولجيت (Attapulgite - barite method).

يتم استخدام مادة (ZEO gel) لأنها تقوم بتعليق البارايت ومادة معالجة التهريب وهي تعتبر من المواد العالية الرشح عند دفعها بالطبقة.

يتم استعمال الباريات لزيادة وزن الخلطة بحيث يحاكي وزن سائل الحفر في البئر ويتم استخدام مواد سادة (LCM) لسببين:

1 - لشغل فراغات المسامات وبحيث تشكل قاعدة (foundation) لكل من zeogel والبارايت.

2 - لتشكل مادة ربط وتماسك لمزيج الخلطة بعد ضخها إلى مجال التهريب. هذه الطريقة تقوم على مبدأ أن الرشح يتم من الخلطة ، ويبقى مواد zeogel والباريت و(LCM) التي تقوم بإغلاق مجالات التهريب انظر الشكل (2-5).



الشكل(2 - 5):يبين خروج الرشح باتجاه الطبقة في الوقت الذي تقوم فيه المواد الصلبة بإغلاق مجالات التهريب.

التحضير للعملية:

1 - يتم تنظيف تنك السحب من سائل الحفر.

2 - ضخ كمية محددة من الماء إلى تنك السحب وهي تساوي ضعف حجم جزء البئر الغير مغلق (Open hole) أو زيادة مقدارها 50 برميل.

3 - يتم إضافة Zeogel إلى الماء (الكمية تتوقف على الوزن النهائي المرغوب لسائل الحفر).

4 - يتم إضافة البارايت ليحاكي وزن السائل في البئر.

5 - يتم إضافة مواد (LCM).

د - طريقة المواد الدياتومية (Diatomaceous method)

إن مادة Dia seal M لها مزايا عديدة بالنسبة للمادة السادة الأخرى وذلك بسبب معدل الرشح العالي، الذي يدخل منطقة التهريب ويغلقها بشكل كلي بفعالية. وإن Dia seal M لا تفسد بالتخزين ولا تسبب تلوث سائل الحفر وهي فعالة في كل من السائل العذب والمالح على السواء.

واستعملت بنجاح لمعاجلة التهريب في كل من سوائل الحفر العادية او المثقلة وهي تتميز بالآتي:

1 - يلزم كمية أقل من (LCM) في سائل الحفر مما يساعد في زيادة ROP .

2 - تقوم بأغلاق وتقوية المجالات الضعيفة وبالتالي تتغلب على التهريب.

3 - توفير الوقت الذي سيصرف على معالجة التهريب.

4 - تخفيض مهم في كلفة سائل الحفر وكلفة زمن الحفارة.

ونورد الجدول(2-1) كميات المواد اللازمة لتحضير برميل من المادة Dias el M من الماء العذب.

هـ - طريقة مزيج البنتونايت والاسمنت والديزل (D.O.B.C):

يمكن استخدام هذه الطريقة لمعالجة مشاكل التهريب الكلي في الآبار الشاقولية أو الأفقية. وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الواسعة الانتشار في كثير من الشركات.

Formula for prepering one final barrel
Diaseal M weighted slurry with fresh water

Density lb/gal	Diaseal M lb	Diaseal M sx	M-I Bar sx	Water bbl
9	50	1.00	0	0.93
10	42.6	0.85	0.6	0.90
11	38.9	0.78	1.2	0.86
12	35.8	0.72	1.8	0.83
13	32.7	0.65	2.3	0.80
14	29.3	0.59	2.9	0.76
15	26.5	0.53	3.5	0.73
16	23.9	0.48	4.0	0.69
17	21.0	0.42	4.6	0.66
18	18.7	0.37	5.2	0.62
19	16.4	0.33	5.8	0.58

Example: 100 bbl of 14.0 lb./gal Diaseal M slurry requires:
59 sx Diaseal M
290 sx M-I BAR
76 bbl Water

الجدول 2-1

Density lb/gal	Diaseal M lb	Diaseal M sx	M-I BAR sx	Water bbl
10.5	46.5	0.93	0	0.940
11	44.5	0.89	0.3	0.920
12	41.5	0.83	0.9	0.880
13	38.5	0.77	1.6	0.845
14	35.5	0.71	2.2	0.810
15	32.5	0.65	2.8	0.770
16	29.5	0.59	3.4	0.740
17	26.0	0.52	4.0	0.695
18	23.0	0.46	4.6	0.660

Example: 100 bbl of 14.0 lb/gal Diaseal M slurry with saturated salt water requires:
71 sx Diaseal M
220 sx M-I BAR
81 bbl Salt Water

TABLE 9.14

Formula for preparing one final barrel
Diaseal M weighted slurry with diesel oil

Density lb/gal	Diaseal M lb	Diaseal M sx	Weight Material lb	Weight Material sx	Diesel Oil gal	Diesel Oil bbl	VERSAWET gal	VERSAWET lb
8	44.0	0.88	20	0.20	38.92	0.926	0.14	1.0
9	41.2	0.824	73	0.73	37.58	0.895	0.21	1.5
10	38.5	0.77	128	1.28	36.18	0.861	0.25	1.75
11	35.7	0.714	181	1.81	34.85	0.829	0.25	1.75
12	32.9	0.658	237	2.37	33.43	0.796	0.25	1.75
13	30.0	0.60	291	2.91	32.06	0.763	0.25	1.75
14	27.2	0.544	346	3.46	30.67	1.730	0.25	1.75
15	24.5	0.49	400	4.0	29.30	0.698	0.285	2.0
16	21.8	0.436	454	4.54	27.93	0.665	0.285	2.0
17	18.9	0.378	509	5.09	26.55	0.632	0.357	2.5
18	17.0	0.340	563	5.63	25.13	0.598	0.428	3.0

Page 9-8

الجدول(2-2)كميات المواد اللازمة لتحضير برميل من المادة Dia seal M مع الماء المشبع بالملح

طريقة العمل:

1 - يتم حفر كامل منطقة التهريب وبدون راجع إذا أمكن.

2 - رفع المواسير من البئر.

3 - تركيب وصلة مثقبة مسدودة من نهايتها السفلية وطولها 15 قدم وتحوي 15 - 20 ثقب والإنزال بالمواسير حتى عمق 30 - 50 قدم فوق منطقة التهريب.

4 - ضخ 10 براميل من الديزل كمخدة للخلطة.

5 - إزاحة الخلطة وضخ 5 براميل من الديزل خلفها.

6 - عندما تصل العشرة براميل الوصلة المثقبة يتم إغلاق لقم البريفنترات ومن ثم ضخ سائل الحفر من خلال الفراغ الحلقي.

7 - التحكم بالمعدل (نسبة الخلطة إلى سائل الحفر) بمعدل 1 : 2 وإزاحة الخلطة بمقدار واحد ونصف من حجم منطقة التهريب إلى الطبقة وبمعدل 4 براميل / الدقيقة.

8 - تحريك المواسير نحو الأعلى والأسفل.

9 - إذا زاد الاحتكاك يتم فك توصيلات المواسير ورفعها حتى تصبح حرة من الاحتكاك ومن ثم متابعة الإزاحة.

10 - إزاحة الربع الآخر من الخلطة وبنصف معدل الضخ الذي استخدم في النصف الأول من الضخ والربع الأخير بنفس المعدل.

11 - الرفع من البئر والانتظار لفترة 8 ساعات على الأقل قبل متابعة الحفر.

Slurry weight Pounds per gallon	Gallons Diesel For 1 SK, Gel plus 1 SK, cement	Resulting slurry Volume Barrels
10	35.9	1.5
10.5	29.8	0.91
11	25.3	0.79
11.5	21.7	0.71
12	18.7	0.64
12.5	16.4	0.58
13	14.4	0.54
13.5	12.7	0.49

الجدول (2-3)تحديدالحجم التقريبي للمزيج الذي يمكن الحصول عليه عند مزج البنتونايت مع الاسمنت والديزل

بفرض:

1 كيس اسمنت = 94 باوند = 3,6 غالون.

1 كيس بنتونيت = 100 باوند = 4,53 غالون.

يتم استعمال هذا الجدول كدليل لإعطاء القيمة التقريبية لحجم الخلطة وذلك حسب وزن الخلطة المطلوب.

الوظيفة الأساسية للاسمنت في هذا المزيج هو تأمين خواص التهلم والتجمد التي تؤمن السيطرة على التهريب.

و - حقن خليط من مادة جلاتينية وزيت الديزل:

يتم مزج المادة الجلاتينية مع زيت الديزل بتركيز 800 - 900 kg/m^3 حيث يؤدي الديزل وظيفة ناقل للمادة الجلاتينية إلى الطبقة التي عند تماسها مع الماء الموجود في فراغات منطقة التسرب تتجمد مغلقة إياها بشكل جزئي وأحياناً كلي.

ز - طريقة الجل الملحي:

تحدد نسب ومكونات الجل الملحي وفق معطيات الجدولين(2-4) و (2-5):

تحضير المزيج:

يمكن تحضير المزي بوساطة الماء المالح أو العذب ويتم إضافة الكمية اللازمة من الجل الملحي إلى الماء ومن ثم تثقيلها قبل إضافة 30 إلى 45 باوند إلى البرميل من مزيج المواد السدادة ومن ثم إضافة 0,2 باوند من الجير إلى البرميل في حال استعمال الماء العذب.

طريقة العمل:

1 - ضخ كمية كافية من الخلطة مقابل منطقة التهريب لتغطية 1/2 مرة من حجم الفراغ الحلقي في منطقة التهريب.

2 - رفع الأنابيب إلى فوق منطقة التهريب.

3 - إغلاق لقم مانع الاندفاع وضخ الكمية الباقية من الخلطة حتى يحصل ارتفاع في الضغط.

4 - المحافظة على الضغط بإغلاق البئر في المواسير والفراغ الحلقي لمدة 8 - 12 ساعة.

يمكن ضخ خلطة LCM بدون حقن ويتم رفع المواسير إلى منطقة آمنة ضمن مواسير التغليف.

Density lb/gal	SALT GEL lb	M-I BAR sx	Water bbl
10.4	20	0	0.98
11.0	17	0.36	0.96
12.0	16	0.95	0.92
13.0	13	1.5	0.89
14.0	12	2.1	0.85
15.0	11	2.7	0.81
16.0	9	3.3	0.77
17.0	8	3.9	0.73
18.0	7	4.5	0.69
19.0	6	5.1	0.65

جدول٢-١٤ يبين النسب اللازمة من المواد لتحضير برميل واحد من الجل الملحي عند استخدام الماء المالح في التحضير

TABLE 9.10

Formula for preparing one final barrel
SALT GEL weighted slurry with fresh water

Density lb/gal	SALT GEL lb	M-I BAR sx	Water bbl
8.5	20	0	0.97
10	18	0.8	0.93
11	16	1.4	0.89
12	13	2.0	0.85
13	12	2.5	0.81
14	10	3.1	0.78
15	9	3.6	0.74
16	8	4.2	0.70
17	7	4.8	0.66
18	6	5.3	0.63
19	5	5.9	0.59

جدول (2-5)يبين النسب اللازمة من المواد لتحضير برميل واحد من الجل الملحي عند استخدام الماء العذب في التحضير

ح - طريقة الجل الملحي نوع (M) :

طريقة تحديد المزج:

بالطريقة نفسها أعلاه وبدون جير وتحدد كمية المواد السادة 15 - 25 باوند / البرميل.

طريقة الإزاحة:

1 - إنزال مواسير الحفر بنهاية مفتوحة.

2 - تعبئة المواسير بالخلطة وضخ 20 - 30 برميل بمعدل 2 - 4 برميل / الدقيقة.

3 - انتظار 20 - 30 د.

4 - إعادة الضخ والانتظار بشكل متتالي حتى الانتهاء من الإزاحة.

5 - إذا حصل امتلاء للبئر يتم إغلاق لقم البريفنترات ومن ثم الحقن بضغط 100 - 500 psi بمعدل بطيء جداً.

6 - المحافظة على الضغط لمدة 20 - 30 دقيقة.

7 - فتح لقم البريفنترات والرفع من البئر.

8 - انتظار 4 ساعات أو أكثر.

9 - إذا كان البئر ممتلأ أي يوجد مستوى يتم الإنزال ومتابعة الحفر وفي حال العكس يتم إعادة الإجراءات السابقة.

ط - طريقة استخدام خليط من سائل الحفر والاسمنت وسيليكات الصوديوم مع ماءات الصوديوم:

وهو خليط سريع التصلب. ويمكن أن يُستبدل سائل الحفر بشكل جزئي أو كلي بزيت الديزل.. عند تلامس هذا الخليط مع الماء في فراغات منطقة التسرب يتصلب مغلقاً إياها أيضاً بشكل جزئي أو كلي.

ي - حقن مستحلب من الإسفلت والماء مشبعاً بمانع ا لاستحلاب:

حيث ينفصل الإسفلت ويترسب في فراغات منطقة التسرب.

ك - حقن القار المسخن أو خليط ذي أساس فيري مسخن:

يتجمد القار المسخن عند تلامسه مع الماء في فراغات منطقة التسرب وعند وجود تكهفات ينصح في البداية إملاؤها بالحصى والرمل ثم إتباعها بالخليط المناسب، في حال كون مجال التسرب كبيراً (عشرات الأمتار) يفضل حفره وعزله على مراحل إذ تحفر عدة أمتار ثم تعزل وهكذا حتى اختراقه بشكل كامل.

2-5-4- تجميد منطقة التسرب:

وفيها يتم إنزال مادة مبردة باستخدام أجهزة عازلة حرارياً حتى الوصول إلى منطقة التسرب (يستخدم عادة غاز الآزوت الحيادي) حيث تتحرر المادة المبردة والتي تعمل بفعل حرارتها المنخفضة على تجميد الماء الموجود في منطقة التسرب . يتبع ذلك بحقن كمية من السائل الإسمنتي (3-4) طن اسمنت ، الذي يتجمد داخل البئر وفي فراغات منطقة التسرب مغلقاً إياها. يستخدم ما بين 100 - 120 ل آزوت سائل فيؤدي إلى تجميد المنطقة بفترة تتراوح مابين 30 - 40 د.

2-5-5- تغيير طريقة الحفر:

عند اختراق طبقات ذات تهريب كلي ولم تنفع كل الوسائل السابقة في المعالجة أو في حال التهريب الكلي ينصح بتغيير طريقة حفر المجال المتسرب ثم عزله بالتغليف بعد اختراقه.

يمكن استخدام الطرق الآتية:

1 - استخدام سوائل حفر مهواة (كما يمكن استخدام رغوة ثابتة شريطة التمكن من المحافظة على ثبوتيتها ، مع التنويه إلى إمكانية استخدام هذه السوائل خصوصاً إذا كان المجال المفتوح من البئر يسمح بذلك. إذ تحقن كمية من الهواء في سائل الحفر ذي الوزن النوعي القليل أصلاً باستعمال ضواغط ذات استطاعة تتناسب وحجم السائل العامل (عمق البئر) حتى يصبح الضغط في البئر أقل من الضغط الطبقي، في هذه الوضعية فإن الطبقة تعطي سوائل بدلاً من أن تستقبل سائل الحفر أي أن حجم السائل الخارج من البئر يفترض أن يكون أكبر من الحجم الذي يتم ضخه فيها، وهنا يجب أن تعدل المضخات بحيث تضخ معدلاً معيناً آخذين في الاعتبار السائل القادم من الطبقة.

يمكن الاكتفاء أحياناً (عند احتواء الطبقة على الماء تحت ضغط مقبول) بضخ الهواء فقط في البئر الذي ينحل في الماء القادم من الطبقة ويشكل سائل حفر مهوى. أو يستخدم من البداية الماء العذب المحقون بالهواء (خصوصاً في المراحل السطحية من البئر) ويعزل المجال بالتغليف بعد الانتهاء من اختراقه.

2 - الحفر بضخ سائل الحفر بدون راجع (الحفر الأعمى): يضخ معدل أقل بحدود 20 - 40% من المعدل العادي لسائل الحفر (الماء العذب أو الطبقي أو مياه البحر لأن استخدام سائل الحفر غير اقتصادي) حيث يدخل السائل مع نواتج الحفر في منطقة التسرب أي لا يخرج سائل الحفر إلى السطح (ومن هنا أتت تسميته الحفر الأعمى لأنه لا يمكننا متابعة ما يجري على القاع من خلال فحص نواتج الحفر التي يحملها معه السائل إلى السطح). تستخدم هذه الطريقة في حال التسرب الكلي وفي المراحل السطحية من البئر (كهوف، فجوات كبيرة، فوالق) أو في المراحل الأخيرة من البئر، حيث يمكن تطبيق هذا الحل (المجال المفتوح من البئر وثبوتية جيدة والضغط الطبقي عادي وكمية المياه المتوفرة كبيرة).

يؤدي دخول نواتج الحفر مع السائل في الطبقة أحياناً إلى إعادة تنظيم الدوران من خلال إغلاقها لقسم كبير من قنوات الطبقة خصوصاً عند استخدام رؤوس حفر بأسنان كبيرة. ولكن يوجد أيضاً احتمال عدم قدرة السائل على تنظيف الفتاتات وبالتالي إمكانية تجمعها على القاع، لذلك وتجنباً لما يمكن أن يتسبب فيه من استعصاء للمواسير يجب رفعها وإنزالها بعد حفر(2 - 3 م) والتأكد من تنظيف البئر، يمكن زيادة مجال استخدام هذه الطريقة بالتعبئة المتكررة للفراغ الحلقي بالماء.

الفصل الثالث

الدراسة الجيولوجية لتراكيب المنطقة الوسطى

نورد فيما يلي لمحة موجزة عن المقطع الليتولوجي في آبار المنطقة الوسطى التابعة لمديرية حقول الجبسة كونها هي الآبار الأكثر عرضة لحصول مشاكل التهريب .

3-1- الدراسة الجيولوجية

- دراسة المقطع الليتولوجي لتراكيب المنطقة الوسطى:

ERA	SYSTEM		SERIES STAGES		FORMATIONS				
					S P C		UNIGEOCONSULT 1983 * / MARATHON 1990		SHELL
CENOZOIC	NEOGENE		PLEISTOCENE PLIOCENE		BAKHTIARY				BAKHTIARY
			MIOCENE	UPPER	UPPER FARS				UPPER FARS
					LOWER FARS				LOWER FARS
					T. ZONE				T. ZINE
				MIDDLE	JERIBE				JERIBE
				LOWER	MIDYAT	DIBBANAH			
						EUPH. CH. A			EUPHRATES
	PALEOGENE		OLIGOCENE			CHILOU B	ABIAD LS		CHILOU
			EOCENE		JADDALA		PALMYRA	L. STONE	JADDALA
			PALEOCENE		KERMAV			ALIJI	ALIJI
MESOZOIC	CRETACEOUS	UPPER	MASSSTRICHTIAN		SHIRANISH			BARDEH	U. SHIRANISH
									TAYARAT
									L. SHIRANISH
			CAMPANIAN		SOUKHN. MAS. (A)	E. MARL	SOUKHNEH	SAWANEH	ERK MARL
			SANTONIAN			RMAH		RMAH	RMAH CHERT
			CONIANCIAN		DERRO REDBED				POST JUD. SAND
			TURONIAN		JUDEA	UPPER MASSIEV (B)	HALLABAT		KOMITAN
			CENOMANIAN				ABTAR		JUDEA
						LOWER MASSIEV (C)	ABOU ZONNAR		
		LOWER	ALBIAN				ZBEIDEH		

			APTIAN BARREMIAN	GHOUNA	RUTBA	PALMYRA SS	RUTBA	RUTBA			
	JURASSIC		UPPER	HARAMOUN		HAR MULOUSSA	A1 NAJMA	MULOUSSA	H		
			MIDDLE				A2		G		
			LOWER				A3				
	TRIASSIC		RHARTIAN	SERJELU			B1		F		
		UPPER		ALLAN			B2		E		
			NORIAN	MUSS							
			CARNIAN	ADAYA			B3		D		
				BUTMA							
		MIDDLE	LADINIAN	K. ANHYDRITE			C1		C		
				K. DOLOMITE			C2		B		
							D1				
							D2				
			ANISIAN	QARYATIN							
		LOWER	SCYTHIAN	AMANOUS SHALE			E1		A		
							AM. SH				
							E2				
PALEOZOIC	PERMIAN			AMANOUS		AMANOUS SAND					
	CARBONIFEROUS		UPPER	MARKADA		DOBAYAT GR.		DOBAYAT			
			LOWER					DOLOMITE CARBON			
								L DOBAYAT			
	DEVONIAN			TANF		ABBA GR.		ABBA GROUP			
	SILLURIAN		UPPER	AFFENDI				KHABOUR			
	ORDOVICIAN		LOWER	SWAB							
				KHANASSER							
	CAMBRIAN		UPPER	SOSINK							
			MIDDLE	BURJ							
			LOWER	ZABUK							
PTZ	PRE CAMBRIAN			SARAMUJ							

الشكل (3-1) المقطع الليتولوجي لتراكيب المنطقة الوسطى.

يقسم المقطع الليتولوجي لتراكيب المنطقة الوسطى بشكل عام إلى التشكيلات الآتية من الأعلى للأسفل:

1 - **تشكيلة العليجة:** وهي عبارة عن توضعات مارلية هشة يمكن أن تكون عرضة للتشقق وحصول التهريب فيها ولاسيما في الحالات التي يستخدم فيها الحفر بالهواء أو الرغوة حيث يحصل تجمع مخدات هوائية تشكل ضغط داخلي أعظمي على السطح . ويحصل تسرب لسائل الحفر يظهر أحياناً من خلال شقوق تصل إلى السطح في مواقع مختلفة أسفل الحفارة.

2 - **تشكيلة الرماح:** وهي عبارة عن تداخلات من الحجر الكلسي والصوان القاسي المشقق حيث أن هذه الشقوق تحتوي في قسم منها على مياه طبقية حارة في بعض الآبار مثل أبو رياح وهي عرضة لحصول تهريب لسائل الحفر.

3 - **تشكيلة الجوديا:** سماكتها الوسطية حوالي 400م، وهي مؤلفة من صخور كلسية مدلمتة، متوسطة القساوة، متشققة، ويمكن أن تلعب الشقوق والفوالق في هذه التشكيلة الدور الرئيسي في تهريب سوائل الحفر بكميات كبيرة.

4 - **تشكيلة الحيان:** سماكتها الوسطية 500م، تتألف من صخور كلسية مدلمتة غضارية مع وجود تداخلات من الأنهدريت، وتحتوي في عدد من الآبار على تشققات وتكهفات كبيرة تحتوي على مياه جارية . وهي عرضة لحصول تهريب لسائل الحفر فيها يصعب معالجته بأي شكل من أشكال المعالجة المعروفة.

5 - **تشكيلة الرطبة:** سماكتها الوسطية 150م، وتتألف من صخور غضارية مع وجود الرمل.

6 - **تشكيلة الكامشوكا:** سماكتها الوسطية 700م، و تتألف من صخور كلسية مدلمتة ومتشققة في الجزء العلوي منها مع وجود تداخلات من الأنهدريت والشيل في القسم السفلي، والشقوق تسبب حصول التهريب وغالباً ما يكون جزئياً.

7 - **البطمة:** سماكتها الوسطية 200م، وهي مؤلفة من صخور دولوميتية مع تداخلات من الصخور الأنهدريتية وهي كتيمة بشكل عام.

8 - **الكوروشينا انهدريت:** سماكتها الوسطية 550م مؤلفة من صخور ملحية مع تداخلات من الغضار والأنهدريت، وهي صخور كتيمة وتشكل الغطاء الأساسي لتشكيلة الكوروشينا دولوميت.

9 - **الكوروشينا دولوميت:** سماكتها الوسطية 800م، مؤلفة في قسمها العلوي من صخور كلسية مدلمتة جزئياً، غضارية كتيمة جزئياً متشققة حاملة للغاز، مع تداخلات من الأنهدريت والشيل. أما القسم السفلي فهو مؤلف من صخور كلسية، مع وجود طبقة ملحية أسفل هذا النطاق.

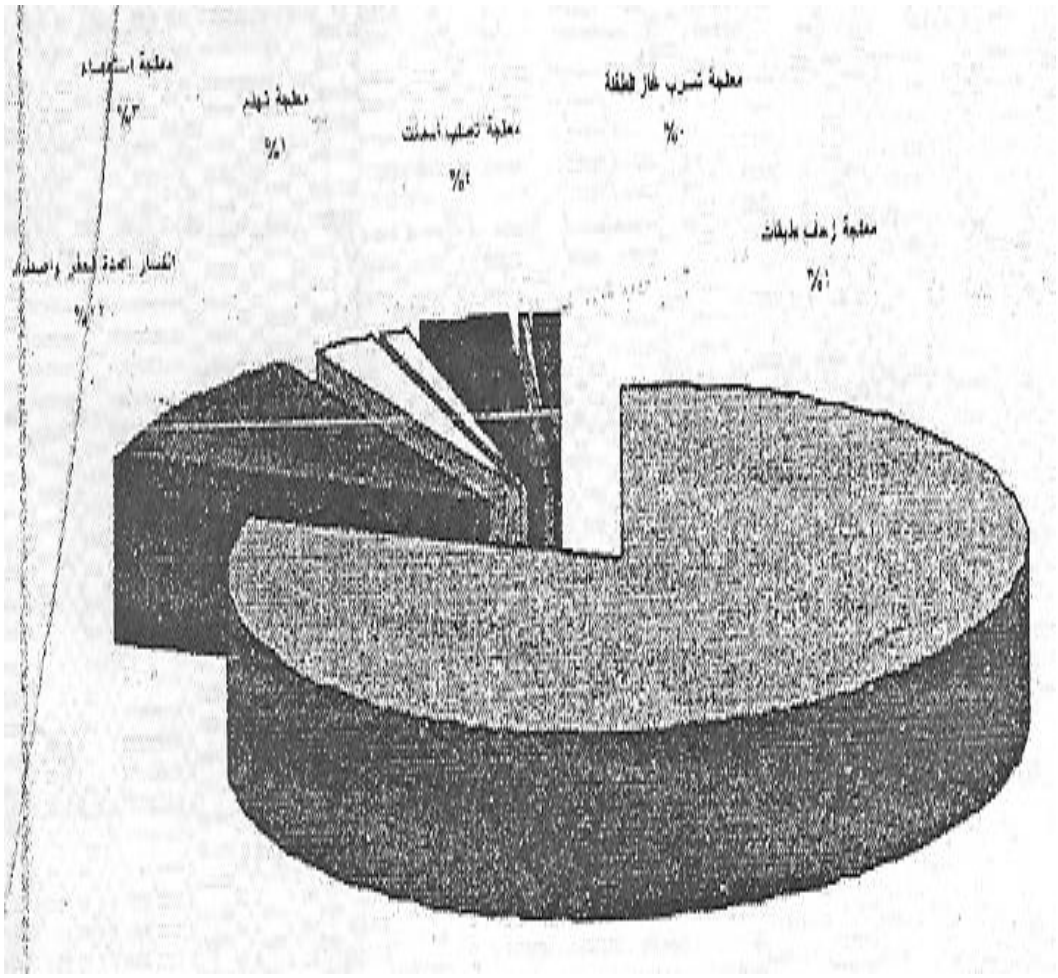
10 - **الأمانوس شيل:** سماكتها الوسطية 100م، مؤلفة من صخور غضارية كلسية كتيمة.

11 - **الأمانوس رمل:** سماكتها الوسطية 600م، مؤلفة من صخور غضارية شيلية مع تداخلات من الصخور الرملية.

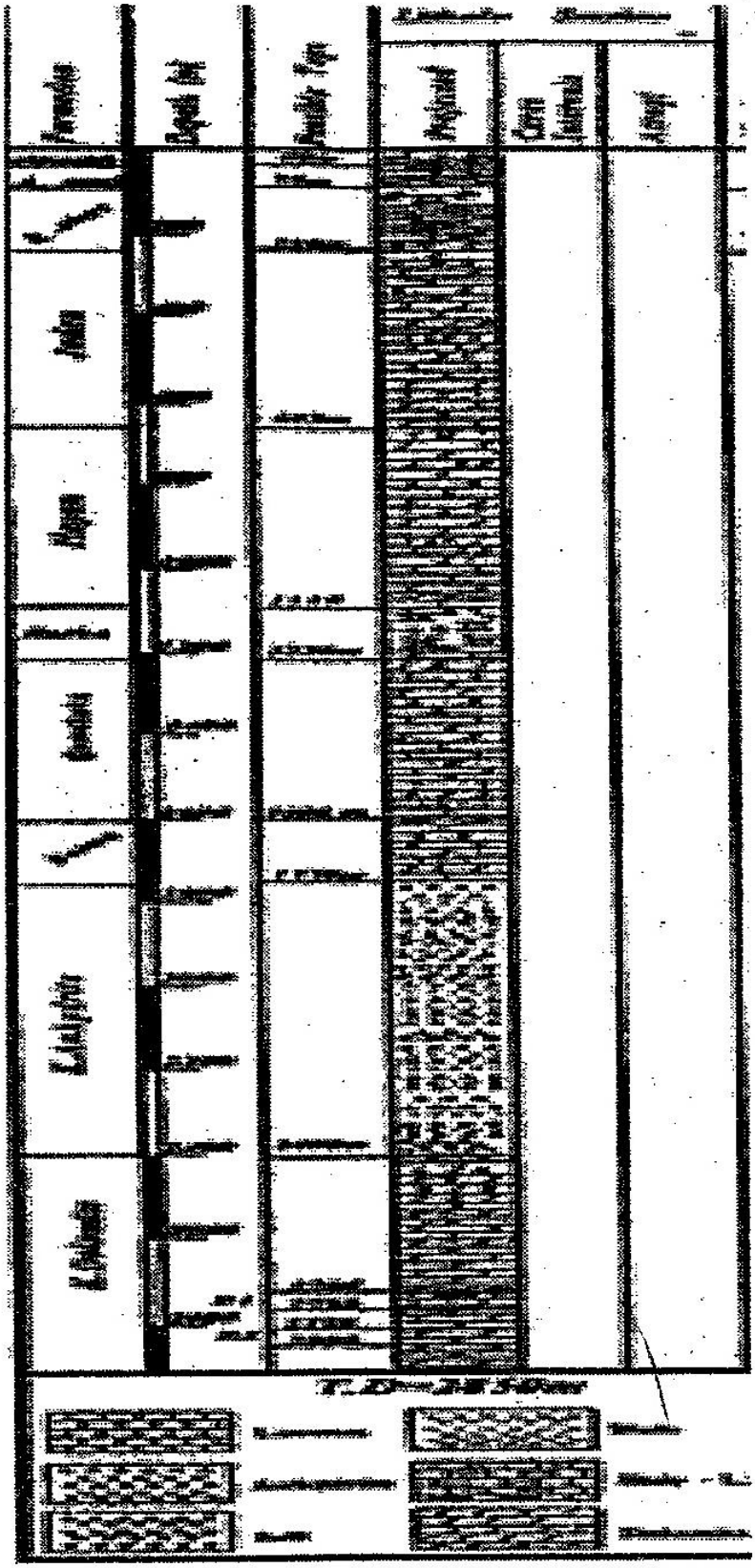
12 - **المرقدة:** سماكتها الوسطية 800م، مؤلفة من صخور غضارية شيلية مع تداخلات من الصخور الرملية.

ومن خلال ما تقدم نجد أن الطبقات المشكلة لهذه التراكيب هي طبقات يرتفع فيها احتمال تسرب سائل الحفر والشكل(3-2) يبين تزايد زمن معالجة تهرب سائل الحفر هذا يفسره تزايد الحفر الاستكشافي في آبار المنطقة الوسطى

والشكل (3-2) يبين تزايد زمن التهريب في آبار مديرية حقول الجبسة خلال خمس سنوات



الشكل(3-2): يبين نسبة زمن تهريب سائل الحفر من زمن المشاكل خلال عام 2001



الشكل(3-3) يبين المقطع الليتولوجي لتراكيب المنطقة الوسطى

الفصل الرابع

الدراسة التحليلية لمشاكل التهريب في آبار المنطقة الوسطى

نقوم الآن باستعراض واقع الحفر في بعض الآبار المحفورة في المنطقة الوسطى ومجالات التهريب والطرق المتبعة في حل هذه المشكلة في هذه الآبار [5].

4-1 – بئر البلعاس 101:

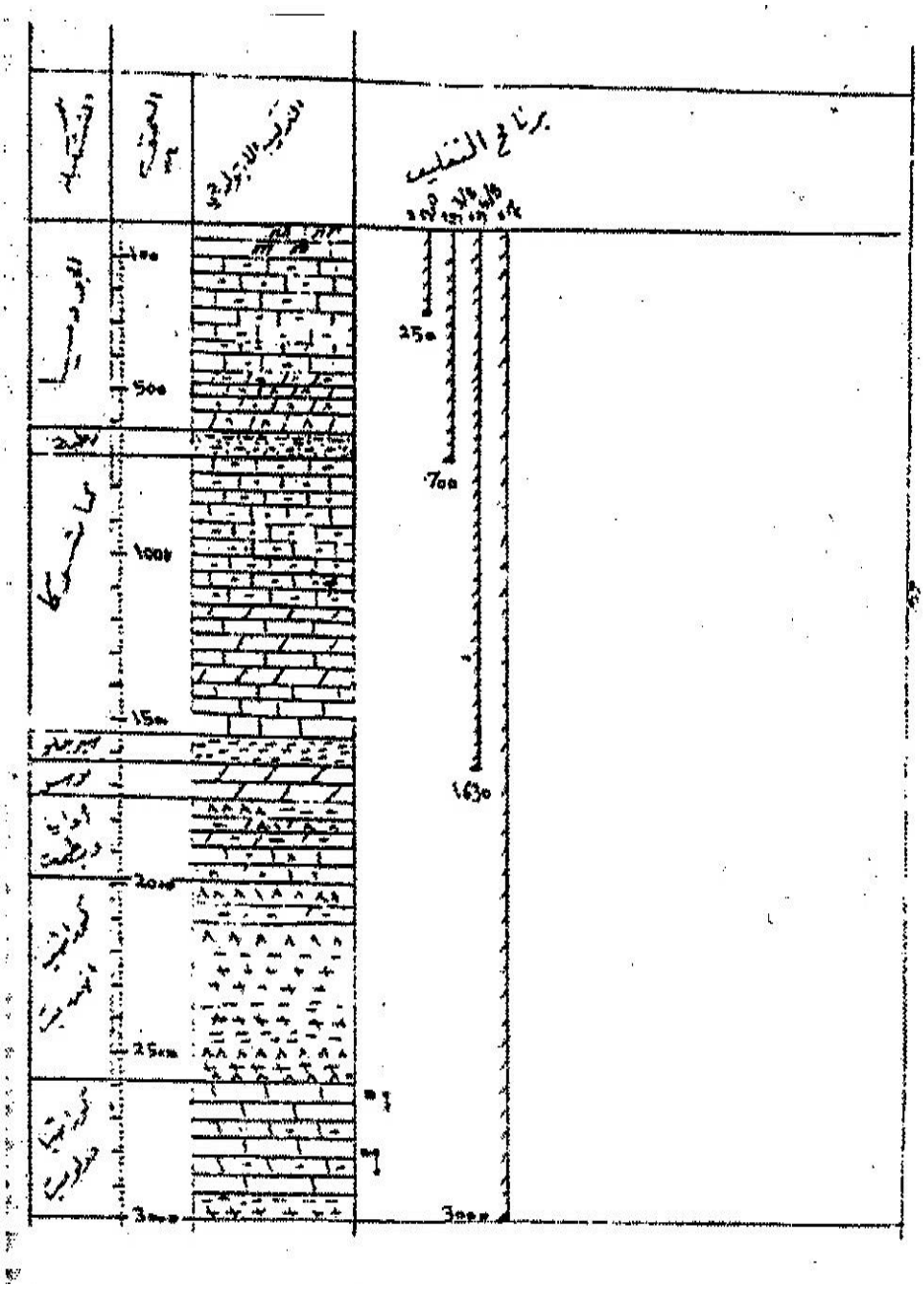
أثناء عملية الحفر لهذه البئر حصل تهريب كلي على عمق 80m وتمت معالجته بإضافة m^3 65 من الطمبون – وهي مادة سادة يستخدم فيها بذر القطن – وبالنتيجة انخفض التهريب إلى m^3/h 3، ومرة أخرى حصل تهريب على العمق m 87 وتمت معالجته بإضافة $150m^3$ دون حصول راجع تبعه صب جسر إسمنتي لزمه ton 10 من الإسمنت وبدون نتيجة فتبعه جسر آخر مماثل m^3 1.5 بحص مع رمل بدون فائدة، لذلك تم تجهيز خلطة من البحص وبذر القطن والإسمنت بكمية $1m^3$ وتعبئتها بأكياس بوزن 2kg وإلقاؤها في البئر ولم يحصل دوران. تبعها m^3 2 من البحص ثم صب جسر إسمنتي ثم تبعه إسقاط $2m^3$ بحص ثم تبعه صب عدة جسور إسمنتية، إلى أن تم اللجوء إلى الحفر الأعمى حتى العمق m 165 وغُلفت البئر بمواسير تغليف (20") وعند متابعة الحفر حصل تهريب كلي مرة أخرى على عمق m 207 تم تخفيضه إلى $2m^3/h$– بعد ضخ m^3 30 من الطمبون، كذلك حصل تهريب على عمق 270m وعولج بنفس الطريقة السابقة.

وفي المجال m 342 – 306 حدث تهريب كلي تمت معالجته بالطمبون دون جدوى تلاه ضخ إسمنت لتشكيل ثلاثة جسور إسمنتية بمجموع ton 22 إسمنت ولكن

دون جدوى واستؤنف الحفر الأعمى حتى العمق 363 m تبعه صب جسر إسمنتي (8 ton إسمنت) ثم جسر آخر (6 ton إسمنت).

وعند العمق 417 m حدث ايضا تهريب وتمت معالجته بضخ $50m^3$ طمبون. وعلى العمق 4535m حدث تهريب كلي لزم لمعالجته $77m^3$ طمبون على مراحل. وعلى العمق 1320m حصل تهريب كلي أثناء الحفر واستمرت هذه المشاكل حتى العمق 1468m وكانت تعالج بنفس الطرق وتستهلك كميات مماثلة من الإسمنت والطمبون وكان الزمن الضائع على معالجة التهريب 25% من زمن حفر مجالات التهريب.

وتنحصر مجالات التهريب ضمن الجوديا، والكامشوكا. ويظهر الشكل (4-1) المقطع الليتولوجي للبئر.[5]



الشكل(4-1) المقطع الليتولوجي لبئر البلعاس-101

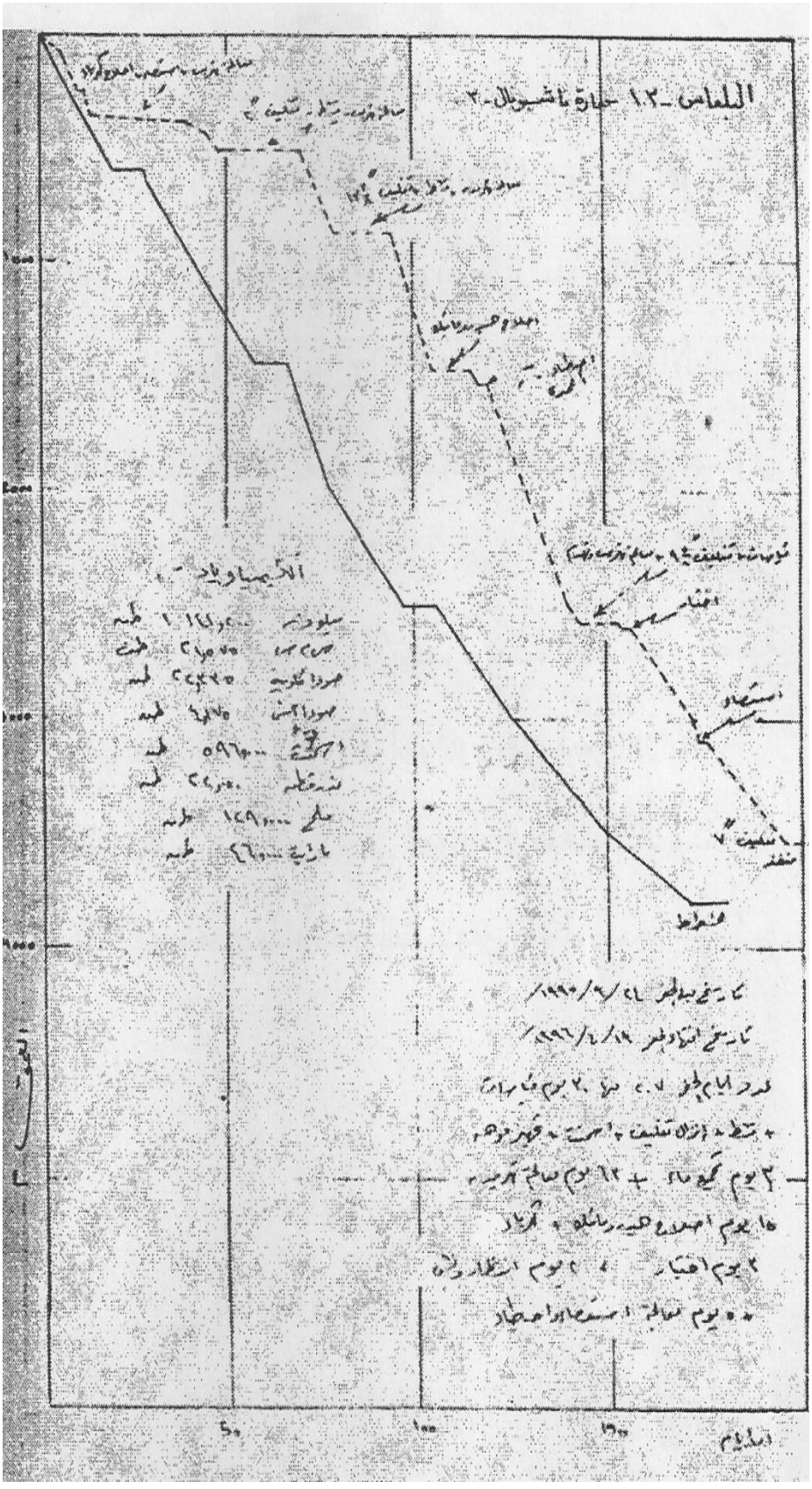
4-1- بئر البلعاس 103:

حصل تهريب كلي على العمق 14m، وتمت معالجته بضخ الإسمنت دون جدوى ثم استؤنف الحفر الأعمى، تلاه صب ثلاثة جسور إسمنتية متتالية كل منها 10 ton إسمنت دون جدوى. تبعه جسر إسمنتي مع بيلون ومازوت، وعلى العمق 172 m حصل تهريب تمت معالجته بالطمبون، وعلى العمق 254 m أعيد إجراء جسر بضخ $1.5\ m^3$

مازوت كمخدة + خلطة (3.5 Ton إسمنت + 4 ton بيلون + 5 m^3 مازوت)، وأعيد تنفيذ جسر الإسمنت والبيلون عدة مرات دون جدوى، وتبعه ضخ طمبون بتركيز عالٍ وصب خمسة جسور إسمنتية كل منها 10 ton إسمنت دون جدوى، تلاه إجراء العديد من الجسور الإسمنتية حتى العمق 330 m تبعه حفر أعمى حتى العمق 457 m ومن ثم متابعة الحفر بالهواء حتى العمق 514 m ، وتم صب جسر على هذا العمق بحجم 20 m^3 (20kg/m^3 كبريتات الألمنيوم كمخدة + 10 ton إسمنت + 2.5 m^3 محلول كبريتات الألمنيوم) دون جدوى وصب جسرين إسمنتيين على نفس العمق دون جدوى، وتمت متابعة الحفر بطريقة الحفر الأعمى حتى العمق 518 m حيث تم صب ثلاثة جسور إسمنتية على هذا العمق وبعدها استمر الحفر بالهواء والفوم حتى العمق 885 m .

والتشكيلات التي حصل فيها التهريب هي الجوديا ، الرطبة، والكامشوكا.[5]

ويبين الشكل (4–2) مخطط عمليات الحفر للبئر بلعاس – 103 .



الشكل(4–2) مخطط حفر بئر البلعاس–103

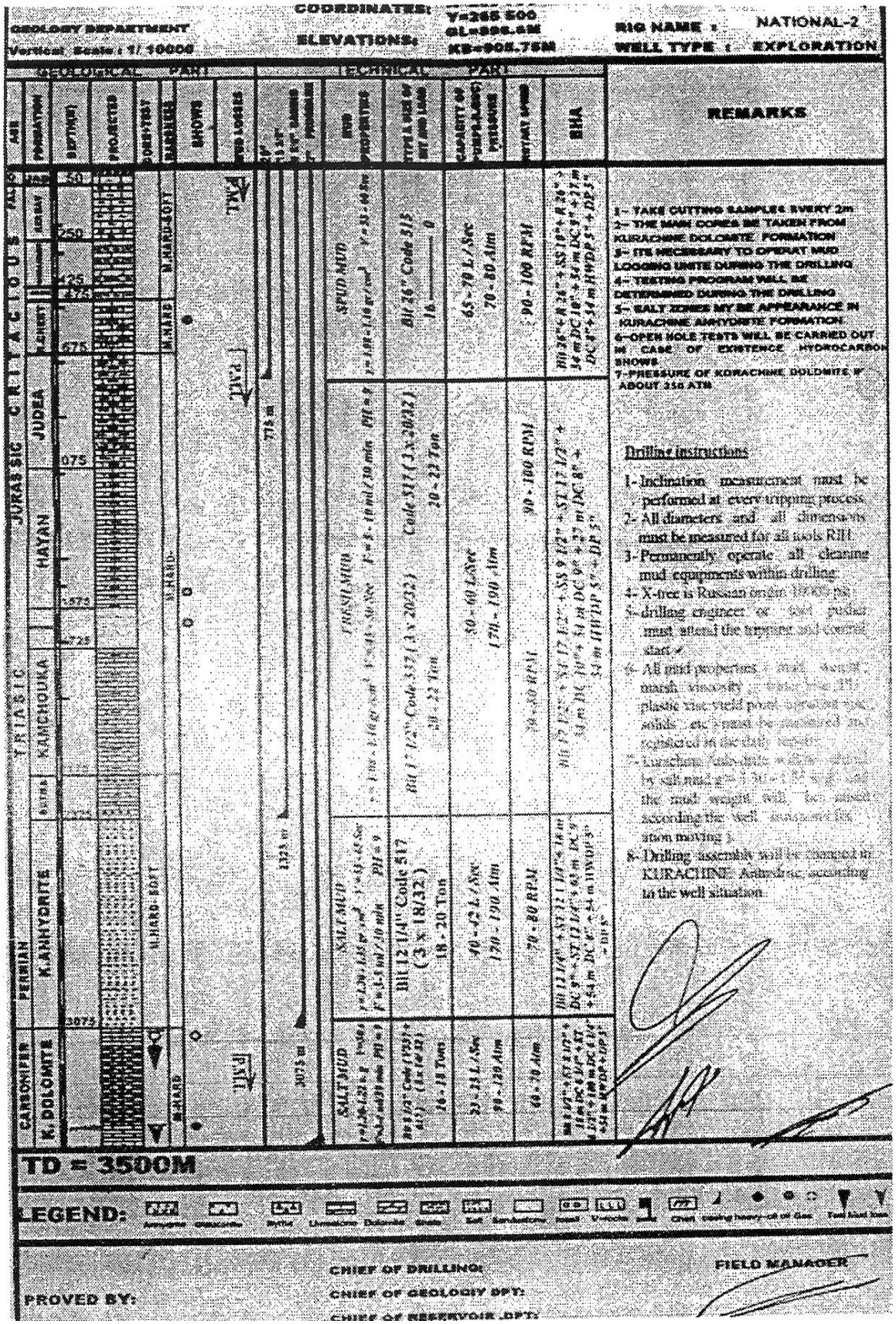
4-3- بئر صدد -1 :

أثناء حفر هذه البئر حدث تهريب جزئي على عمق 1455 m بمعدل 4-5 m^3/h وذلك عند اختراق الطبقة بسائل حفر بوزن نوعي 1.08 gr/cm^3 وبلزوجة 45 sec ، تمت إضافة بزر القطن بمقدار 2.5 ton إلى الطفلة العاملة فانخفض التهريب إلى 1-2 $m^{3/h}$ بشكل تدريجي، واستمر التهريب بهذا المعدل حتى عمق 1476 m، إذ تم صب جسر إسمنتي عند هذا العمق بضخ 15 ton من الإسمنت بوزن نوعي 1.85 gr/cm^3. والنتيجة كانت انخفاض معدل التهريب بشكل قليل.

وعند قشط المجال 1128 m - 2120 حدث تهريب كلي فتمت معالجته برفع المواسير حتى العمق 1500 m وضخ $50m^3$ طمبون وإزاحته بدون راجع ورفعت المواسير حتى العمق 1200 m وانتظار تفاعل الطمبون، ثم أُعيد إنزال المواسير حتى العمق 1550 m ومحاولة إجراء دوران بضخ $20m^3$ طفلة ولكن دون جدوى.

وحدث تهريب كلي على العمق 3350 m ، فتم تحضير 15 m^3 طمبون وبتركيز عالي ثم إنزال المواسير حتى العمق 3186 m ثم تمت إزاحة الطمبون بـ $4m^3$ من الطفلة دون جدوى، فتم ضخ طمبون من جديد عند العمق 3170 m فكانت النتيجة حدوث دوران بعد ضخ $2m^3$ من الطمبون وإزاحتها بـ $30m^3$ طفلة.

ظهرت مجالات التهريب في تشكيلة الحيان، وكامشوكا، والكوراشينا دولوميت. ويبين الشكل (4-3) العمود الليتولوجي للبئر وبرنامج بنائه.[5]



الشكل(4–3) برنامج بناء بئر صدد–1

4-4- بئر صدد 2 :

حدث تهريب كلي لسائل الحفر على العمق m 833 عند حفر المرحلة السطحية ورغم المعالجة بالطمبون استمر التهريب، بعد ذلك تم تغليف وسمنتة هذه المرحلة، وعند اختبار الحجر الإسمنتي لوحظ هبوط شديد للضغط. تمت متابعة الحفر حتى العمق 462m بعد ذلك تم صب جسر إسمنتي، تلاه حقن $6m^3$ من سائل الحفر بضغط أعظمي (25atm). وحصل تهريب كلي عند الأعماق m 530 – 512 عولج بالطمبون في الحالتين.

وفي المجال m 560 – 552 حصل تهريب جزئي تطور إلى تهريب كلي عند العمق m 650 تمت معالجته بضخ ton 20 من الإسمنت بوزن نوعي $1.9grf/cm^3$. وحصل تهريب كلي عند الأعماق m 922 – 913 عولج بالطمبون. وعند العمق 951 حصل تهريب كلي، ولم تفلح كل الإجراءات في إيقافه، لذلك تم اللجوء إلى صب الجسور الإسمنتية، حيث تكرر صب الجسر خمس مرات، ضخ في كل منها ton 20 من الإسمنت بوزن نوعي grf/cm^3 9 دون جدوى، حيث استمر التهريب عند تحسس هذه الجسور أو محاولة الحفر من خلالها، وقد تم تجاوز منطقة التهريب باستخدام الحفر الأعمى ، تلاها عزل هذه المرحلة بالتغليف والسمنتة وفي الجدول (3-1) نبين حالات التهريب وأعماقها وأنواعها عند حفر بئر صدد -2 .[5]

4-5- بئر النبك – 1 :

عند حفر بئر النبك – 1 حصل تهريب كلي في طبقة الجوديا، وتمت المعالجة بإنشاء الجسور الإسمنتية، حيث تكرر إنشاء الجسور 45 مرة دون جدوى، مما اضطر الشركة إلى اللجوء إلى الحفر الأعمى لتجاوز منطقة التهرب ثم عزلها فيما بعد بمواسير التغليف ثم سمنتتها.[5]

نوع التهريب	العمق ، m
كلي	512
كلي	530
كلي	650
جزئي	886-710
كلي	886
كلي	913
كلي	922
كلي	933
كلي	945
كلي	951
جزئي	1068
جزئي	1292
جزئي	1415
كلي	1568-1569
كلي	1570-1575

الجدول(4-1) يبين حالات التهريب وأعماقها وأنواعها عند حفر بئر صدد-2

4-6 - بئر أبو رباح – 1 :

بدأت مشاكل التهريب اعتباراً من العمق 328 m، إذ حصل تهريب كلي لسائل الحفر عند هذا العمق، فتم اللجوء إلى الحفر الأعمى بالماء والهواء لتجاوز المجال الذي حصل فيه التهريب مع القيام بعمليات تجميع المياه وتحضر طفلة بما يزيد عن $50m^3$.

واستمرت عمليات تجميع الماء وإعادة تحضير الطفلة مع الاستمرار في الحفر الأعمى لتجاوز مجال التهريب.

وعند حفر المجال من 566m – 555 تم استخدام الماء مع الهواء والفوم لاختراق هذا المجال، واستغرقت عمليات معالجة التهريب حوالي 17 ساعة عمل كما ورد في التقرير اليومي لعمل الحفارة، ثم تم إنزال مواسير تغليف المرحلة السطحية حتى العمق 650 m.

وعادت مشكلة التهريب الكلي للظهور على العمق 660m ، فتم اللجوء إلى الحفر الأعمى مع إعادة تجميع الماء واستمرار تحضير الطفلة. ودامت هذه العمليات حتى إنزال مواسير تغليف المرحلة الوسطية الأولى على عمق 1770m.

أما التشكيلات التي ظهرت فيها مشكلة التهريب فهي: تشكيلة الجوديا، الحيان، والكامشوكا.[5]

4-7- بئر البريج -1 :

بدأت مشاكل التهريب بالظهور عند حفر المجال 31 m – 24 وكان معدل التهريب 2m^3 / h وتمت معالجته بتحضير طمبون بتركيز 700 kg/m^3 وكانت هذه العملية ناجحة في وقف التهريب.

ثم عاد وظهر التهريب على العمق 36m وتمت معالجته بإضافة بذر القطن إلى تنكات سائل الحفر. استغرقت عملية معالجة التهريب ساعة واحدة. واستمرت مشاكل التهريب الجزئي حتى إتمام المرحلة السطحية، حيث تم إنزال مواسير التغليف حتى العمق 700m .

وحصل تهريب كلي عند اختراق المجال 1250 m – 1200 تمت معالجته بضخ 15m^3 طمبون.

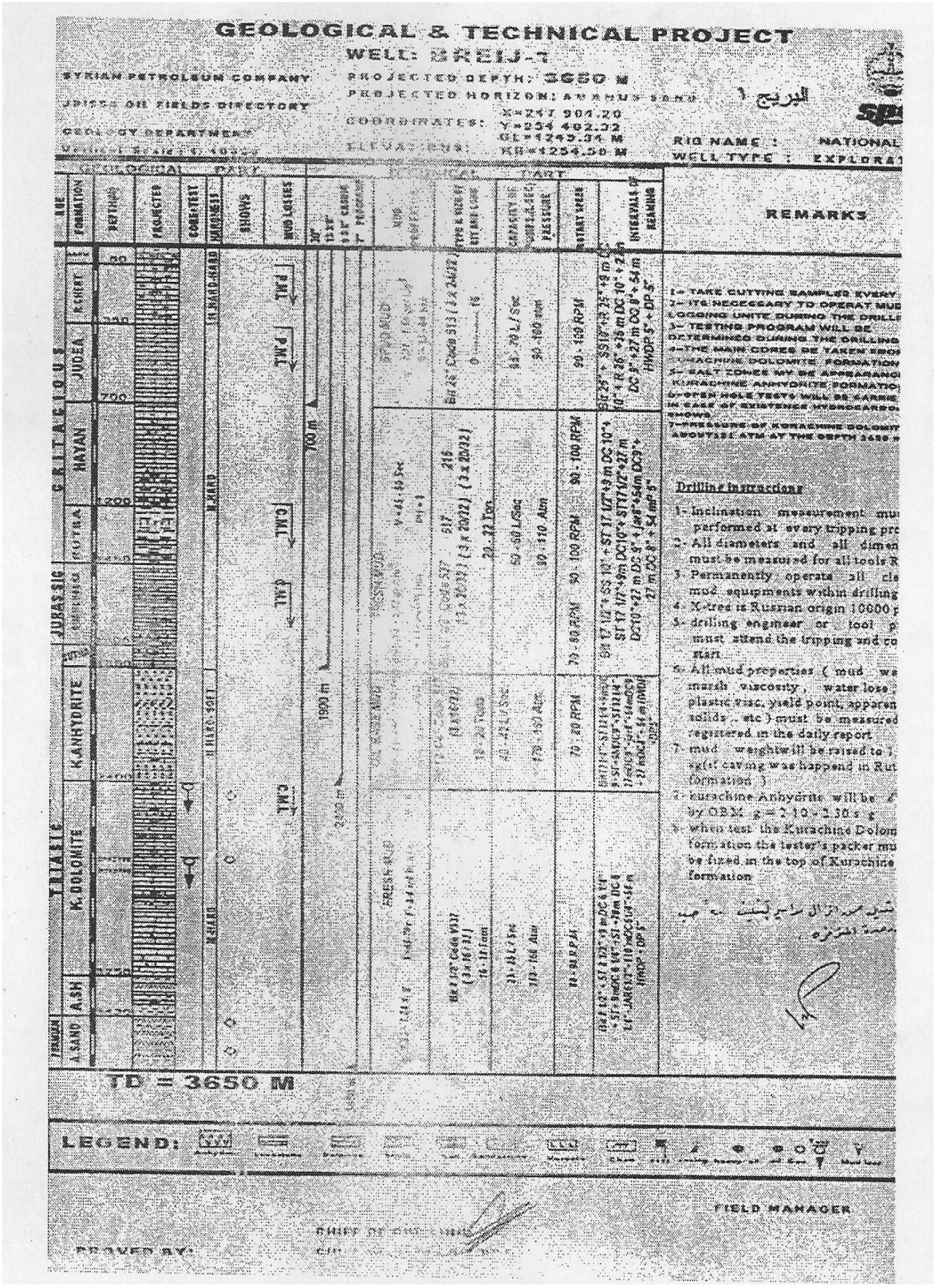
وبعد انتظار تفاعل الطمبون تمت الإزاحة بـ 15 m^3 طفلة ولكن دون أن يحصل دوران، ثم تم تحضير 15m^3 طمبون مركّز وتمت إزاحته بـ 25m^3 من الطمبون

واستؤنفت عملية الحفر، وتم استهلاك 5ton بذر القطن واستغرقت عملية معالجة التهريب 24 ساعة عمل.

ثم عادت مشكلة التهريب على العمق 1650m، وتمت معالجته بضخ طمبون بتركيز عالي ومن ثم صب جسر إسمنتي ومتابعة الحفر، وإنزال مواسير تغليف المرحلة الوسطية الأولى حتى عمق 1900 m .

وعند العمق 2677m حصل تهريب كلي لسائل الحفر ونتج عن ذلك خروج مخدة غازية من خلال المواسير أثناء رفع المواسير وارتفاع الضغط حتى 10 atm وعولج بضخ $15m^3$ طمبون بتركيز عالي والإزاحة بـ $22m^3$ طفلة ومراقبة خروج المخدات من الفراغ الحلقي، ثم تم صب جسر إسمنتي على عمق 2564m، وتم تخفيض التهريب حتى $4m^3/h$. ثم ضخ طمبون بتركيز عالي وإزاحته بالطفلة فحصل دوران وتمت متابعة عملية الحفر، وقد استهلك 800kg من بذر القطن خلال هذه العملية.

حصل التهريب الجزئي في تشكيلة الجوديا، أما التهريب الكلي فقد حصل في كل من: تشكيلة الرطبة، الكامشوكا، والكوراشينا دولوميت، والشكل (4-4) يظهر برنامج بناء بئر البريج-1 .[5].



الشكل(4–4) يبين المقطع الليتولوجي لبئر البريج–1

وفي دراسة أجرتها شركة باروید العالمیة [8]، المتخصصة في تحضير ومعالجة سوائل الحفر أثناء عملها في آبار المنطقة الوسطى، أكدت على النقاط التالية:

1 – إن ضغط الطبقات من السطح وحتى طبقة الكامشوكا هو ضغط سالب، ولا يوازي الضغط الذي يشكله عمود سائل الحفر في البئر.

2 – إن الطبقات في هذه المجالات يغلب فيها وجود الحجر الكلسي المتشقق والحاوي على التكهفات.

3 – إن مسامية الحجر الكلسي هذا وتكهفاته وشقوقه من الصعب إغلاقها بالطرق التقليدية المستخدمة في الحفر الطاحوني.

وبالنظر إلى هذه الحقائق فقد اقترحت الشركة حفر الآبار اللاحقة في هذه المنطقة باستخدام سوائل الحفر المرغوبة.

أمام هذا الواقع – حيث فشلت كل المحاولات لإيقاف التهريب، مع الإمكانيات المادية الكبير التي تهدر في البئر من سوائل حفر وإسمنت ومواد كيميائية مختلفة دون جدوى – كان لابد من استخدام حل أكثر نجاعةً عند مصادفة الطبقات التي تؤدي إلى التهريب أثناء الحفر.

ونحن هنا في هذا المشروع نقترح تطبيق طريقة الحفر باستخدام سوائل الحفر الرغوية (الحفر بالرغوة أو بالفوم). وقد استخدمت هذه الطريقة من قبل شركات عقود الخدمة على بعض الآبار في الحقول السورية، فقامت شركة ماراثون بحفر آبار: جبات – 1 والمدورة، والغور –1 ، والشاعر – 4 ، والفيض – 1 وآبار أخرى باستخدام هذه التقنية، كما قامت شركات أخرى بحفر بعض الآبار [8].

من خلاس استعراض الآبار التي قامت بحفرها شركة ماراثون في حقول المنطقة الوسطى باستخدام الفوم تبين ظهور مجالات مائية في كل من طبقات رماح والجوديا وحيان، مما أدى إلى ارتفاع الضغط في البئر، ولحل المشكلة تطلب الأمر زيادة غزارة السائل الرغوي لتفريغ البئر من السوائل الطبقية المتسربة [8].

وقد كانت هناك محاولات من قبل الشركة السورية للنفط لتطبيق تجربة الحفر بالرغوة، إلاّ أن هذه التجربة لم تكلل بالنجاح.

من خلال تقييم تجربة شركات عقود الخدمة والشركة السورية للنفط في استخدام تقنية الحفر بالرغوة يمكن تسجيل الملاحظات التالية:

1 – إن الحفر بالرغوة لا يزال حكراً على الشركات الأجنبية، ولا تستطيع الشركات الوطنية تنفيذه نظراً لعدم توفر المعرفة الكافية بتقنيات هذه الطريقة والمواد المستخدمة – سيما أن المواد الكيميائية المستخدمة تحمل أسماء تجارية وهي مجهولة التركيب، وبالتالي فإن وضع هذه التقنية في أيدي مهندسينا سيجعل من الممكن تطبيق هذه الطريقة بأيدٍ وطنية بعيداً عن استغلال الشركات الجنبية.

2 – عدم توفر الأجهزة المناسبة لتطبيق هذه الطريقة لدى الشركة الوطنية (حيث يعطي الضغط الموجود ضغطاً أعظمياً مقداره 27 at بينما يلزم ضاغط باستطاعة 100 at عند اختراق الطبقات الحاملة للمياه).

3 – عدم فاعلية بعض المعدات المصنعة محلياً لتطبيق هذه الطريقة.

4 – إن محاولة تطبيق هذه الطريقة وطنياً لم تكن ناجحة، حيث لم يتم التمكن من الحصول على راجع لسائل الحفر بسبب عدم ثباتية الرغوة المستخدمة، وهذا ناتج عن الاختيار غير الصحيح لمواد الرغوة.

الفصل الخامس

دراسة إمكانية التغلب على مشكلة التهريب الكلي لسائل الحفر في حقول المنطقة الوسطى

بالنظر إلى الدراسة التحليلية للآبار المحفورة في حقول المنطقة الوسطى نلاحظ أن المشكلة الأكثر حدوثاً أثناء حفر هذه الآبار هي التهريب الكلي لسائل الحفر في الطبقات. وللتعامل مع هذه المشكلة نقترح استخدام سوائل الحفر الرغوية لحفر هذه الآبار. وقد درست هذه السوائل وتحضيرها وخواصها وتأثير الشروط الطبقية عليها مخبرياً من قبل بعض الباحثين [6]، ونستعرض فيما يلي خلاصة هذه الدراسات التي تبين مخبرياً الجهاز المستخدم في تحضير الرغوة وقياس مؤشراتها المختلفة وتأثير الإضافات المختلفة عليها وصولاً إلى تركيب سائل الحفر الأمثل لاختراق طبقات التهريب الكلي في آبار المنطقة الوسطى، والتي رأينا أنها تقدم الحل الأمثل لمشكلة التهريب الكلي في هذه الحقول.

5-1- جهاز قياس مؤشرات الرغوة (Foam Tester):

الجهاز المستخدم لاختبار سوائل الحفر الرغوية يشبه إلى حد كبير الجهاز المعتمد من قبل معهد البترول الأمريكي [1]، وقد تم تصنيعه محلياً في كلية الهندسة الكيميائية والبترولية بجامعة البعث. يعتمد هذا الجهاز على قياس حجم الرغوة المحمول إلى سطح السائل، ولكن دون حقن الهواء في نموذج البئر، وإنما يتم توليد الرغوة في نموذج خزانات الطفلة وضخ السائل الرغوي عبر نموذج البئر، ليقاس طول عمود الرغوة على مخرج سائل الحفر إلى الهزازات (خزانات الطفلة) عبر فالة يختار قطرها بالتوافق مع غزارة الضخ، بحيث يكون فارق الضغط عند فتحتها قرباً من الصفر. يقيس الجهاز طول عمود

الرغوة الديناميكي H . الذي يعبّر عن وجود الرغوة ومدى ثباتيتها في سائل الحفر [2,10] عند وجوده في حالة دوران، ويتألف هذا الجهاز من الأجزاء التالية [6]:

1 – خزان الطفلة: وهو وعاء بلاستيكي اسطواني سعته 2.5 ليتر ومود بخلاط كهربائي يدور بسرعة rpm 1000– 900 للحفاظ على تجانس مكونات سائل الحفر الموجود فيه.

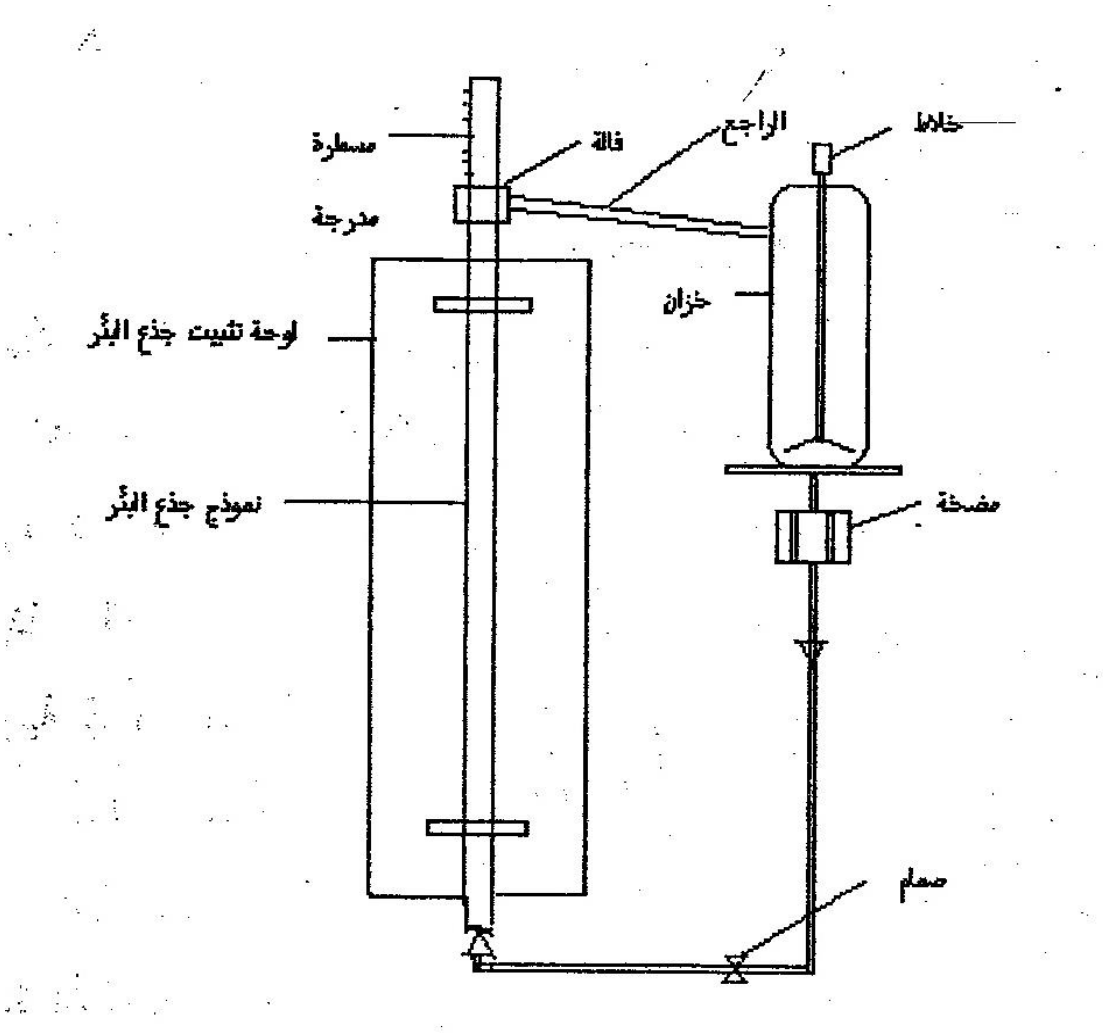
2 – مضخة الطفلة: ذات استطاعة w 150، ولها شفرات بلاستيكية غير حادة وهي مركبة في أسفل الخزان، وتتصل معه بأنبوب سحب، وتقوم بسحب السائل من الخزان وتضخه إلى نموذج البئر.

3 – نموذج جذع البئر: وهو عبارة عن أنبوب زجاجي شفاف طوله 2m وقطره إنش واحد.

4 – مخرج سائل الحفر إلى الهزازات (الخزانات): وهو مزود بفالة لخروج السائل يتم تحديد قطرها تجريبياً بحيث يكون فارق الضغط عند المخرج أكبر قليلاً من الصفر.

5 – عمود قياس ارتفاع مستوى الرغوة: وهو عبارة عن أنبوب مزوج بمسطرة لقياس ارتفاع عمود الرغوة الديناميكي عند وجود دوران لسائل الحفر.

وتربط بين هذه الأجزاء وصلات بلاستيكية ذات أقطار مناسبة وموصولة بشكل محكم بواسطة مواد لاصقة لمنع تسرب سائل الحفر أثناء الدوران، و الشكل (5–1) يبين رسماً تخطيطياً للجهاز.



الشكل(5-1) جهاز قياس مؤشرات الرغوة (Foam Tester).

5-2 مولدات الرغوة:

إن أكثر الطرف فعالية في تخفيف سوائل الحفر العادية مع الحفاظ على وظائفها الأساسية يتم باستخدام مولدات الرغوة بتراكيز معينة في سائل الحفر، والتي تعمل على تثبيت الطور الغازي في الطور السائل لسائل الحفر، وبالتالي تقليل كثافته إلى القيمة التي تتطلبها شروط الحفر [6].

وتستخدم مولدات الرغوة لبعثرة فقاعات الغاز (الهواء) في سائل الحفر، وذلك بهدف التخفيض الحاد في كثافته وتقليل ناقليته الحرارية. وتستخدم لهذا الغرض مخفضات التوتر السطحي Surfactants ، كالمواد المساعدة على الاستحلاب والتبلل وتشكيل الرغوة [7]،

وتوجد هذه المواد على شكل شاردي: موجب Anionie Surfactants، أو سالب Nonionic Surfactants، أو على شكل غير متشرد Surfactants Amphiteric.

تتشرد مخفضات التوتر السطحي الموجبة إلى شوارد عضوية كبيرة موجبة، شوارد لا عضوية بسيطة سالبة، وتتألف عادةً من أملاح الأمينات، أو البولي أمينات الدهينة. كما تتشرد مخفضات التوتر السطحي السالبة إلى شوارد عضوية كبيرة سالبة وشوارد لا عضوية بسيطة موجبة، ويعتبر الصابون مثالاً تقليدياً لهذه المواد، مثل زيتات الصوديم $[CgHCH:CH(CH)COO]^{-}Na^{+}$. أما مخفضات التوتر السطحي غير المتشردة فتتألف من بوليميرات غير قابلة للتشرد مثل فينول أكسيد – 30 إيتيلين أكسيد $C_6H_6-O-(CH_2 \quad CH_2O)_{30}H$. وتؤدي المنشطات السطحية وظائف مشتركة، إذ يمكن أن تكون وسائط استحلاب ومولدات رغوة في آنٍ واحد، كمادة التكسابون $CH_3(CH_2)11OSO_3Na$ وغيرها.

إن اختيار مولدا لرغوة المناسب وطرق تقييم فعاليته تعتبر الأساس في نجاح تطبيق هذه التكنولوجيا في حقولنا [7]، وذلك بفرض توفر التقانات الضرورية الأخرى (كالضواغط ومولدات النتروجين ... إلخ).

وقد تمت دراسة ست مواد مولدة للرغوة معروفة التركيب، مواصفاتها مبينة في الجدول (1-5).

الرمز المخبري	الوزن الجزيئي	التصنيف	الاسم التجاري	التركيب الكيميائي
A	٧٠٤	Nonionic	NPE-6	Sodium nonylphenol ether sulfate
B	٤٩٨	Anionic	NPE-9	Nonylphenol ethoxylate
T	٢٨٨	–	١٢Texapon k	Sodium lauryl sulfate
E	٢٣٢	Anionic	SES-2	ethylhexyl sulfate-٢Sodium
S	–	Anionic	٧٥Servo BAZ	Castor oil sulphonate, Na salts
Z	–	PH =7	منظف سائل	dodecyl benzyl sulfonate +Coco Diethanol Amide (CDEA)

الجدول(5–1) مواصفات المواد المولدة للرغوة المستخدمة[7]

5–3– دراسة تأثير المواد والظروف المختلفة على ثباتية الرغوة [6]:

5–3–1– دراسة تأثير تركيز البنتونايت على ثباتية الرغوة:

تم تحضير عدة سوائل حفر لإجراء التجارب عليها واختبار ثباتية الرغوة، وذلك بهدف اختيار سائل الحفر الأكثر ملاءمة لحل مشكلة التهريب في المراحل السطحية من تراكيب المنطقة الوسطى. لدراسة تأثير تركيز البنتونايت على ثباتية الرغوة في سائل الحفر أجريت التجارب على سوائل حفر بتراكيز مختلفة للبنتونايت (C=10, 15, 20, 25, 30 g/l)، تركيب السوائل المحضرة وخواصها مبينة في الجدول (5–2).

ولبيان تأثير تركيز البنتونايت على ثباتية الرغوة تمت إضافة المواد الرغوية المبينة في الجدول (5–1) لسائل حفر بتركيز 1% لكل من:

مكونات سائل الحفر ، kg/m^3			خواص سائل الحفر			
بنتونايت	Na_2CO_3	NaOH	ρ	μ	F	PH
			kg/m^3	sec	$cm^3/30min$	
١٠	٢	١,٥	١٠٤٤	٤٢	٣٦	٨,٥
١٥	٢	١,٥	١٠٥٧	٤٧	٢٧	٨,٥
٢٠	٢	١,٥	١٠٧٠	٥٥	٢٠	٨,٥
٢٥	٢	١,٥	١٠٨٠	٦٠	١٦	٨,٥

الجدول(5–2) تركيب وخواص سوائل الحفر المحضرة للتجارب

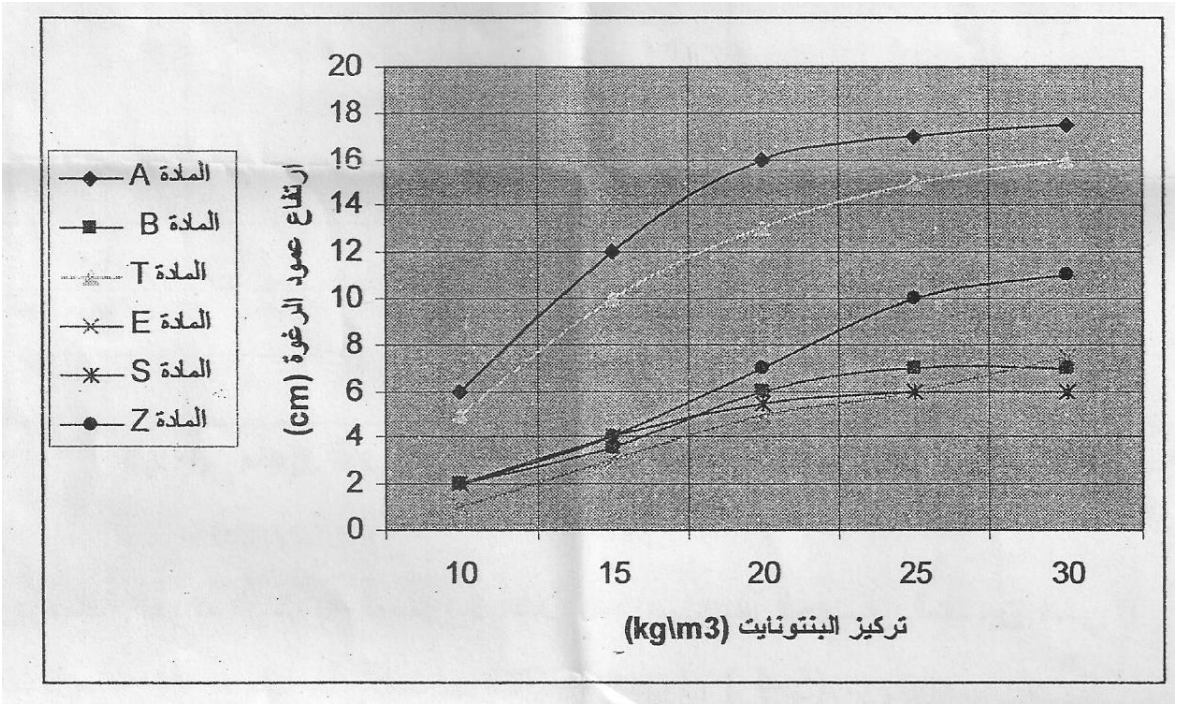
المواد الرغوية، وباستخدام الجهاز المبين في الشكل (5–1) تم الحصول على النتائج التالية، الجدول (5–3).

نوع مولد الرغوة(التركيز ١%)	ارتفاع عمود الرغوة (cm) بالعلاقة مع تركيز البنتونايت (kg/m^3)				
	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠
A	٦	١٢	١٦	١٧	١٧,٥
B	٢	٣,٥	٦	٧	٧
T	٥	١٠	١٣	١٥	١٦
E	1	٣	٥	٦	٧,٥
S	٢	٤	٥,٥	٦	٦
Z	٢	٤	٧	١٠	١١

الجدول(5–3) ارتفاع عمود الرغوة(cm) بالعلاقة مع تركيز البنتونايت(Kg/m^3)

على الشكل (5–2) يظهر بتمثيل هذه النتائج بيانياً. وكما هو واضح فإن زيادة تركيز البنتونايت تؤدي إلى زيادة ارتفاع عمود لرغوة، وبالتالي ثباتيتها حتى تركيز $20kg/m^3$ الأمر الذي يمكن من اعتبار البنتونايت عامل استقرار للرغوة. أن أفضل الماد المولدة

للرغوة من وجهة النظر هذه هي المادة A (NPE-6) والمادة T (التكسابون) يليها المنظف السائل (Z). وبعد هذا التركيز يقل تأثير البنتونايت على ثباتية الرغوة، كما تزداد لزوجة سائل الحفر بحيث يصبح غير قابل للضخ بعد هذا التركيز.



الشكل(5-2) تركيز البنتونايت (kg/m^3)

5-3-2- دراسة تأثير تركيز CMC على ثباتية الرغوة:

يمكن دراسة تأثير تغير تركيز البوليمير على ثبوتية الرغوة بتثبيت تركيز البنتونايت في سائل الحفر (20 gr/l) بينما تم بتغيير تركيز CMC منخفض اللزوجة في المجال (C(CMC) = 1, 2, 3, 4 g/l). تركيب السوائل المحضرة وخواصها مبينة في الجدول (5-4).

مكونات سائل الحفر ، kg/m^3			خواص سائل الحفر			
بنتونايت	Na_2CO_3	NaOH	ρ	μ	F	PH
			kg/m³	sec	cm³/30min	
١٠	٢	١,٥	١٠٤٤	٤٢	٣٦	٨,٥
١٥	٢	١,٥	١٠٥٧	٤٧	٢٧	٨,٥
٢٠	٢	١,٥	١٠٧٠	٥٥	٢٠	٨,٥
٢٥	٢	١,٥	١٠٨٠	٦٠	١٦	٨,٥

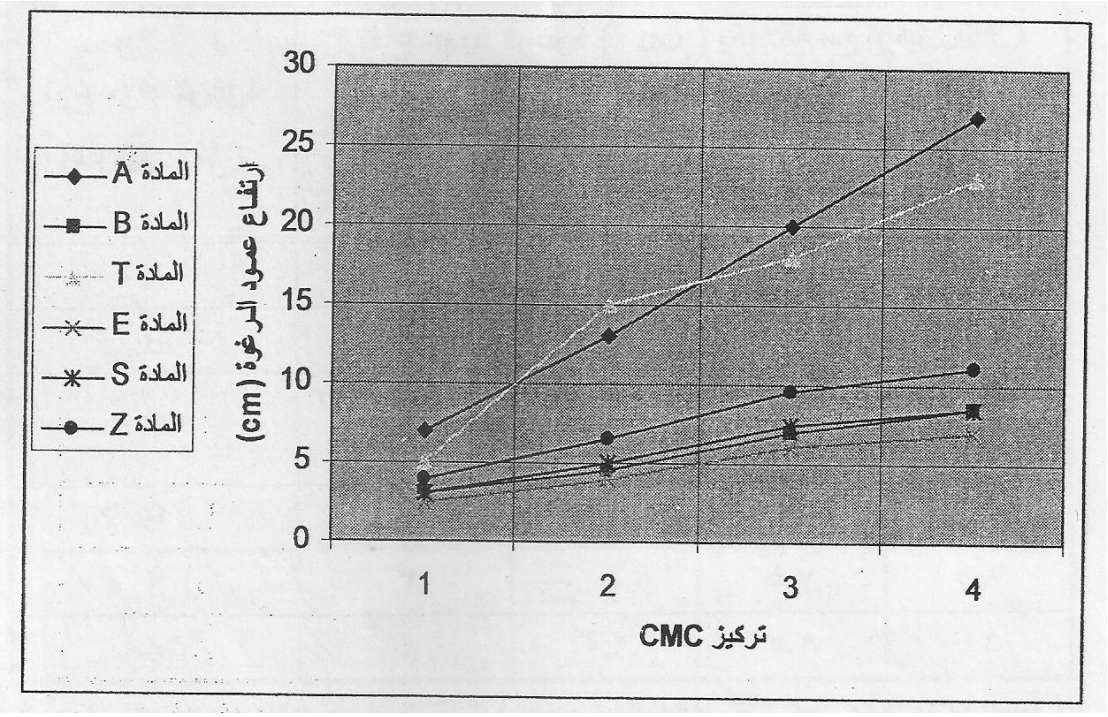
الجدول(5-4): تركيب وخواص سائل الحفر المستخدم في التجارب

وبإضافة المواد الرغوية المذكورة أعلاه، وباستخدام الجهاز المبين في الشكل (5-1) تم الحصول على النتائج التالية، الجدول (5-5):

نوع مولد الرغوة (التركيز ١%)	ارتفاع عمود الرغوة (cm) بالعلاقة مع تركيز CMC (kg/m³)			
	١	٢	٣	٤
A	٧	١٣	٢٠	٢٧
B	٣	٤,٥	٧	٨,٥
T	٥	١٥	١٨	٢٣
E	٢,٥	٤	٦	٧
S	٣	٥	٧,٥	٨,٥
Z	٤	٦,٥	٩,٥	١١

والجدول (5-5) ارتفاع عمود الرغوة(cm) بالعلاقة مع تركيز CMC(kg/m^3)

والشكل(5-3) يبين تغير ارتفاع عمود الرغوة بالعلاقة مع تغير تركيز البوليمير.



الشكل(5-3) تغير ارتفاع عمود الرغوة بالعلاقة مع تركيز CMC

وكما هو ملاحظ فإن زيادة تركيز CMC في سائل الحفر تؤدي إلى زيادة ثباتية الرغوة فيه بالنسبة لجميع مولدات الرغوة، وبشكل أكبر من تأثير البنتونايت بمفرده، الأمر الذي يمكن من اعتبار البوليمير عامل استقرار مهم للرغوة، خصوصاً إذا استعمل مع البنتونايت. ويلاحظ أيضاً أن أفضل المواد المولدة للرغوة بوجود CMC هي المادة A (NPE-6) والمادة T (التكسابون) يليها المنظف السائل (Z).

5-3-3- تأثير نوع مولد الرغوة وتركيزه على ثباتية سائل الحفر الرغوي:

من أجل دراسة تأثير نوع مولد الرغوة وتركيزه على ثباتية سائل الحفر الرغوي وخواصه المختلفة تمت إضافة المادة المولدة للرغوة بتراكيز مختلفة 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 1.5% لسوائل حفر محضرة من kg/m^3 20 بنتونايت وبإضافة 3% CMC . نتائج التجارب مبينة في الجدول (5-6).

يتضح من هذه النتائج ما يلي:

1 – تزداد فاعلية مولد الرغوة بزيادة تركيزه بالنسبة لجميع مولدات الرغوة المستخدمة باستثناء المادة E (SES–2) حيث لوحظ ثباتية ضعيفة للرغوة عند جميع التراكيز المستخدمة.

رموز المواد	تراكيز المواد المولدة للرغوة % حجماً				
	٠,٢٥	٠,٥٠	٠,٧٥	١,٠٠	١,٥٠
	ارتفاع عمود الرغوة H,cm	H,cm	H,cm	H,cm	H,cm
A	٢,٥	٨,٥	١٤,٨	٢٠	٢٥
B	٣	٤,٥	٥,٥	٧	٨
T	٦,٥	١١	١٥	١٨	١٩
E	٤	٥	٥	٦	٦
S	٣	٤,٥	٥	٧,٥	٨
Z	٥,٥	٧	٨	٩,٥	١١

الجدول(5–6): تأثير تركيز مولد الرغوة في سائل الحفر على ارتفاع عمود الرغوة.

2 – إن أفضل ثبوتية للرغوة كانت عند استخدام المواد A (NPE–6) ، T(تكسابون) يليها المنظف السائل Z.

5–3–4– دراسة تأثير مولدات الرغوة على خواص السوائل الرغوية الأكثر ثبوتيّة:

هذه المجموعة من التجارب نفذت على سوائل الحفر الرغوية الأكثر ثبوتية، وذلك بنتيجة التجارب السابقة، وهي التالية:

1 – سائل حفر محضر من kb/m^3 20بنتونايت و 3% CMC + NPE–6 (1% حجماً).

2 – سائل حفر محضر من kb/m^3 20بنتونايت و 3% CMC + تكسابون (1% حجماً).

3 – سائل حفر محضر من 20 kb/m^3بنتونايت و 3% CMC + منظف سائل (1% حجماً).

وذلك بالمقارنة مع نموذج سائل الحفر غير الرغوي. نتائج التجارب مبينة في الجدول (5–7)، والتي يمكن استنتاج ما يلي منها:

1 – إن إدخال مولدات الرغوة في تركيب سوائل الحفر يؤدي إلى الحصول على سوائل بكثافات منخفضة مقارنةً بسوائل الحفر العادية، حيث انخفضت إلى 750 kg/m^3عند استخدام NP–6 و 740 kg/m^3 عند استخدام التكسابون ، و 755 kg/m^3 عند استخدام المنظف السائل، بحيث أن زيادة نسبة هذه المواد عن 1% تؤدي إلى انخفاض كبير في الوزن النوعي لسائل الحفر مما يعرض جدران البئر في التوضعات القليلة الثبوتية إلى خطر التهدم

نوع مولد الرغوة	ρ	μ	μ_P	التوتر الديناميكي للقص τ_D	قوة الهلام	F	PH
	kg/m^3	sec	CP	$Lb/100ft^2$	$\tau_{10sec}/\tau_{10min}$	$cm^3/30min$	
سائل حفر بدون مولد رغوة	١٠٧٠	٦٠	١٥	٥٠	4.5/62	١٦	٨,٥
سائل حفر+NPE-6	٧٥٠	٧٥	٢٦	٥٦	6.2/73	٧	٩
سائل حفر+ تكسابون	٧٤٠	٨٠	٤٠	٤٠	5.4/67	٧	٩,٥
سائل حفر+ منظف سائل	٧٥٥	٧١	١٩	٢٧	3.1/31	٨	٨,٥

الجدول(5–7): تأثير المواد الرغوية على خواص سوائل الحفر.

يؤدي دخول الطور الغازي في سوائل الحفر إلى ارتفاع كبير في اللزوجة النسبية لهذه السوائل، بحيث أن زيادة نسبة مولدات الرغوة عن 1% قد يؤدي إلى صعوبة ضخ سائل الحفر واحتمال تشقق الطبقات الضعيفة.

3 – إن مقارنة الخواص التدفقية ومؤشرات معادلة بنغهام للسوائل الأكثر مناسبة لاختراق مجالات التهريب الكلي أظهرت ازدياد اللزوجة الظاهرية إلى قيم عالية

عند إضافة التكسابون و NPE-6 بالمقارنة مع المنظف السائل، مما يساعد هذه السوائل على القدرة على رفع فتاتات بحجوم أكبر، كما هو الحال في المراحل السطحية.

4 - إن مقارنة قوة الهلام لهذه النماذج (مع التكسابون و NPE-6) أظهرت وجود قوة هلام مناسبة لتعليق نواتج الحفر ذات الحجم الكبير، وأن الحسابات أظهرت إمكانية معاودة الدوران بعد التوقف بسهولة. ويبين الجدول (5-7) أن السائل الرغوي المحضر بإضافة المنظف السائل لا يمكن اقتراحه للاستخدام من أجل اختراق مجالات التهريب الكلي وذلك بسبب:

- اللزوجة الظاهرة لهذا السائل منخفضة (قدرة ضعيفة على حمل الفتاتات أثناء الجريان).
- قوة الهلام منخفضة (قدرة ضعيفة على تعليق الفتاتات أثناء التوقف عن الدوران).
- إضافة إلى أنه أعطى رغوة أقل ثبوتية بالمقارنة مع السائلين المحضرين بإضافة التكسابون و NPE-6 .

النتائج والمقترحات

بنتيجة هذه الدراسة توصلنا إلى النتائج التالية:

1- تعتبر مشكلة تهريب سائل الحفر في الطبقات أثناء الحفر من أهم المشاكل التي تعترض عملية الحفر في حقول المنطقة الوسطى، والتي تؤدي بدورها إلى عرقلة عملية الحفر ، وتمنع أحياناً متابعة عملية الحفر، وتتطلب هدر إمكانيات مادية كبيرة لمعالجة هذه المشكلة دون الحصول على نتائج مجدية.

2 - إن ارتفاع نسبة الزمن الضائع على معالجة مشكلة التهريب في الحقول السورية إلى 80% تشير إلى عدم فعالية الطرق المتبعة حتى الآن لمعالجة هذه المشكلة، الأمر الذي يستدعي استخدام طرق أخرى أكثر فعالية.

2 - بيَّنت الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية وتجارب الحفر في آبار المنطقة الوسطى أن المقطع الليتولوجي في الطبقات السطحية يتصف بأنه متماسك ومتشقق متكهف، وذو مسامية ونفوذية عاليتين، وبضغط طبقي سلبي، وهذه الشروط تبرر ضرورة استخدام طريقة الحفر بالرغوة وتمكن من تنفيذها بنجاح.

3 - إن عدم توفر المعرفة الكافية لكوادرنا الوطنية بتقنيات وتكنولوجيا الحفر بالرغوة، واحتكار الشركات الأجنبية لهذه التجربة، يشكل السبب الرئيسي لارتفاع الزمن الضائع على معالجة مشكلة التهريب، وبالتالي ارتفاع تكاليف الحفر في آبار المنطقة الوسطى، فالمحاولات التي قامت بها الشركة الوطنية لتطبيق هذه الطريقة لم تكن ناجحة، حيث لم يتم التمكن من الحصول على راجع لسائل الحفر بسبب عدم ثباتية الرغوة المستخدمة، وهذا ناتج عن الاختيار غير الصحيح لمولد الرغوة، يضاف هذا السبب إلى عدم فعالية المعدات اللازمة لتطبيق هذه الطرق وطنياً.

4 – بالعودة إلى الدراسات المخبرية نقترح استخدام سائل حفر رغوي بالتركيب التالي لاستخدامه في حفر مجالات التهريب الكلي في المراحل السطحية من تراكيب المنطقة الوسطى: $20\ kg/m^3$ بنتونايت + 3% CMC + تكسابون (1% حجماً) + Na_2CO_3 ($2\ kg/m^3$) + NaOH ($1.5\ kg/m^2$) ، حيث أعطى هذا التركيب ثباتية عالية للرغوة، وزون نوعي منخفض ($740\ kg/m^3$)، وثباتية عالية تجاه المياه الطبقية.

المراجع العلمية

أ – باللغة الانكليزية:

1. API RP 46^{60} Copyright 1966.
2. Arco, M. J. Arnold Wong 3M Canada. "A New Technology for Reducing the Density of Drilling Fluids". 3M Specialty Materials 2003.
3. Leading Badge Advantage International ITD. "Introduction to Under balanced Drilling" 2002.

ب – باللغة العربية:

4- الأحمد، علي معين ، تركيب وخواص سوائل الحفر الآبار النفطية ، منشورات الشركة السورية للنفط، 1983.

5- تقارير الحفر في مديرية حقول الجبسة .

6-خضور محمد ، سليمان مسرور، استخدام سوائل الحفر الرغوية لحل مشكلة التهريب الكلي لسائل الحفر في تركيب صدد، مجلة جامعة البعث ،المجلد31 ،العدد15.

7- خضور محمد ، مرهج أحمد ، محاضرات في هندسة الحفر -4 ، منشورات جامعة البعث.

8- سوائل الحفر المخففة ومجالات استخدامها ، مشروع تخرج بإشراف د.أحمد مرهج ، د. محمد خضور، 2003-2004.

9-مرهج ، أحمد محمد ، سوائل الحفر ، منشورات جامعة البعث .

10- نصور ، طاهر حسن ، هندسة الحفر -3 ، منشورات جامعة البعث،1991-1992.