الجمهورية العربية السورية
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول



معالجة اندفاع الآبار بطريقة الحفار

دراسة أعدت لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إشراف الدكتور

عدنان ابراهيم بارودي

إعداد الطلاب

منير ناجي أبو السل أحمد عبد الحميد الموسى

العام الدراسي 2025

فهرس البحث

مقدمة **1**

الفصل النظري

الفصل الأول: الاندفاع أسبابه وطرق تلافيه:

1-1- تعريف الاندفاع..... 5

1-2- الآثار السلبية للاندفاعات 6

1-3- أسباب دخول الموائع الطبقية للبئر 6

1-3-1- ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر المعاكس على الطبقة غير كافٍ ... 6

1-3-2- ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر المعاكس على الطبقة ضمن الحدود العادية و مع هذا يحدث تدفق ($P_m>P_f$) 9

1-4- تلوث سائل الحفر بالغازات..... 10

1-4-1- طرق دخول الغازات إلى سائل الحفر 10

1-4-2- أشكال تواجد الغازات في سائل الحفر 10

1-4-3- هجرة الغاز 11

1-5- طرق تلافي التدفق الطبقي..... 12

1-6- أمثلة حقلية على بعض مشاكل الاندفاع في حقول الشركة السورية للنفط 14

1-6-1- مشكلة اندفاع بئر أبو رباح (1) .....
..... 14

1-6-2- مشكلة بئر أبو رباح (4) أفقي 17

1-6-3- بئر شرقي الخراطة (118) 18

1-7- أمثلة عن بعض الاندفاعات في العالم 19

1-7-1- اندفاع بئر 24 في حقل Naft Shahr في إيران 19

1-7-2- اندفاع بئر 457 في حقل Schoonebeek 22

1-7-3- بئر Ixtoc 1 29

الفصل الثاني: مؤشرات حصول الركلة:

مقدمة

2-1- مؤشرات حصول الركلة المبكرة 32
2-1-1-الزيادة في معدل الاختراق 33
2-1-2- زيادة العزم والشدة 33
2-1-3- الانخفاض في كثافة الغضار.....34
2-1-4- الزيادة في حجم الفتاتات المحفورة و شكلها.....34
2-1-5- تغيرات خواص سائل الحفر.....35
2-1-6- انخفاض ضغط الضخ للمضخات.....36
2-1-7- زيادة الغاز القادم من الطبقة في سائل الحفر.....37
2-1-8- التغيرات في درجة حرارة سائل الحفر الراجع.....38
2-1-9- الانخفاض في قيمة العامل D-Exponent 40
2-2- مؤشرات الركلة الإيجابية.....41
2-2-1- تمييز الركلة خلال عملية الحفر.....42
2-2-2- تمييز الركلة خلال عمليات الرفع و الإنزال لتشكيلة الحفر.....43
2-2-3- سلوك الركلة: مقارنة بين سوائل الحفر ذات الأساس النفطي و المائي.....44

الفصل الثالث: أجهزة و منظومة موانع الاندفاع(BOP)

3-1- معدات و تجهيزات فوهة البئر.....49
3-2- أجهزة موانع الاندفاع(BOPS).....49
3-3- أنواع موائع الاندفاع(Blow out preventer Type).....51
3-3-1- مانع الاندفاع الحقلي (BOP Annular).....52
3-3-1-1- نظام حركة المكبس عند فتح و إغلاق الموانع الحلقية.....53
3-3-1-2- المواصفات التصميمية لوحدات مانعات التسرب الحلقية.....55
3-3-1-3- آلية إغلاق مانع الاندفاع الحلقي.....57
3-3-1-4- مميزات و عيوب موانع الاندفاع الحلقية 59
3-3-2- مانع الاندفاع المكبسي(Ram Preventers).....60
3-3-2-1- آلية فتح و إغلاق مانع الاندفاع المكبسي.....62
3-4- تجهيزات منظومة موانع الاندفاع.....65
3-4-1- وصلة موانع الاندفاع (BOP SPOOLS).....65
3-4-2- وصلة مواسير التغليف (Choke and kill lines).....65

3-4-3- خطوط القتل و الخنق (Choke and Kill Lines)..... 66
3-4-4- مجموعة شبكة صمامات الخانق (Choke Manifold)..... 67
3-4-5- صمام تنظيم الضغط (Chokes)..... 68
3-5- المحول (Diverter)..... 69
3-6- موانع الاندفاع الداخلية(Internal Blow Out Preventers)..... 70
3-7- وحدة التغذية الهيدروليكية (أسطوانات تجميع الموائع Accumulators)..... 71

قسم العملي

الفصل الرابع

خطوات تطبيق طريقة الحفار..... 74
النتائج..... 90
المقترحات..... 91
المراجع العلمية..... 93

مقدمـــــة

بســـبب ازدياد الطلب على النفط و الغاز بشـــكل كبير في العالم اســـتدعى ذلك زيادة عمليات البحث عن هذه المواد و ذلك من أجل توفير و تأمين متطلبات الصـناعة و الحياة اليومية وسـد حاجة السـوق المتزايدة حيث يعتبر النفط و الغاز الشـريان الرئيسـي من أجل العمليات الصـــناعية الحالية و من هذا المبدأ تم الانطلاق حيث تم حفر الآبار النفطية و الغازية و تطورت أساليبها و طرقها مع مرور الوقت، تصادف عمليات حفر الآبار النفطية و الغازية العديد من المشاكل و منها استعصـاء تشكيلة الحفر و التهريب الكلي أو الجزئي لســائل الحفر و تهدم جدران البئر و أخطرها اندفاع الموائع النفطية و بالتالي يترتب عليها ارتفاع الكلفة الاقتصـادية و زيادة في زمن إنجاز البئر و تنقسم هذه المشاكل بعضـها ينتج عن الطريقة المتبعة في عملية الحفر و العناصر المستخدمة في ذلك أو مشاكل ناتجة عن الشـــروط الطبقية و محتويات الطبقة المخترقة أثناء عملية الحفر و طبيعة هذه المحتويات و كما ذكرنا إن من أبرز و أخطر المشـــاكل التي تواجه عند حفر الآبار النفطية و الغازية هي اندفاع الموائع النفطية التي تتسبب في خسائر مادية و بشرية و اقتصادية كبيرة إضافة إلى الكلفة الزائدة للســـيطرة على هذه المشـــكلة و من هنا تأتي أهمية الإحاطة الكافية و الوافية في إجراءات و أســاليب السـيطرة على الآبار النفطية و الغازية و الإلمام بمؤشـرات الاندفاعات المختلفة إضـــافة إلى معرفة المعدات و الأدوات التي تســـاهم في الســـيطرة و تلافي مثل هذه الاندفاعات كموائع الاندفاع التي تعتبر بمثابة الحصـــن لضـــمان الســـلامة للعاملين في وحدات الحفر.

و في بحثنا هذا تناولنا الفصول التالية:

الفصل الأول مشكلة الاندفاعات الطبقية و الأسباب التي تؤدي لحدوثها و طرق تلافيها و بعض الأمثلة الحقلية عن مشاكل الاندفاع محلياً عالمياً.

الفصـل الثاني مؤشـرات خصـول الركلة (الرفسـة) المبكرة و مؤشـرات الركلة الإيجابية و كيفية تمييز الركلة خلال عملية الحفر و ســـلوك الركلة المختلف بين ســـائل الحفر ذات الأساس النفطي و المائي.

الفصـل الثالث دراسـة تصـميمية لموائع الاندفاع أجزائها و مكوناتها و آلية فتحها و إغلاقها يدوياً و هيدروليكياً إضافة إلى ملحقاتها.

الفصل الرابع شرح طريقة السيطرة على الآبار النفطية بطريقة الحفار و خطواتها مع إجراء الحسابات العملية و ترتيب خطوات هذه الطريقة من خلال مثال حقيقي .

القسم

النظري

الفصل الأول

الاندفاع أسبابه و طرق تلافيه

الفصل الأول

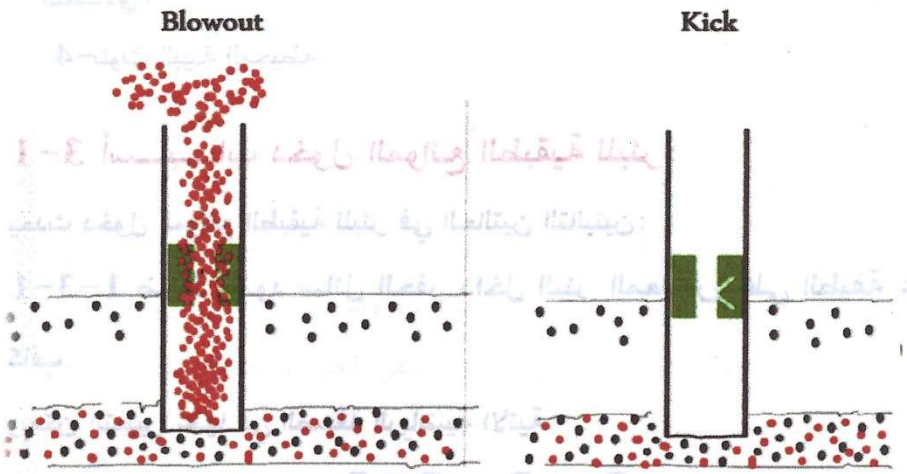
الاندفاع أسبابه و طرق تلافيه

1-1- تعريف الاندفاع:

هو عملية انتقال غير مرغوب فيها للموائع الطبقية (ماء، نفط، غاز) من المجال المفتوح للبئر إلى داخل البئر و ذلك بسبب كون الضغط الطبقي أكبر من الضغط داخل البئر.

الاندفاعات لا تحدث بشكل مفاجئ، بل تنمو بشكل تدريجي، أثناء حفر الطبقات الخازنة للمواد الهيدروكربونية ذات الضغوط الكبيرة، و في حال كان الضغط الذي يشكله عمود سائل الحفر غير كافٍ و أقل من الضغط الطبقي يدخل جزء من محتويات الطبقة لداخل البئر يسمى تتسرب في البداية أو يطلق عليه الرفسة (kicking)، وعند ملاحظة أية مؤشر من مؤشرات حدوث دخول الموائع الطبقية يمكن السيطرة على البئر من خلال إغلاق موانع الاندفاع، و اتخاذ الإجراءات التكنولوجية الخاصة بمعالجة العوامل التي أدت إلى انخفاض ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر.

و إذا لم يلاحظ أي مؤشر يتطور الأمر إلى نقصان مستمر في الوزن النوعي لسائل الحفر و استمرار دخول الموائع الطبقية إلى درجة تصبح البئر خارج السيطرة، عندئذٍ يقال أن البئر بدأت بالاندفاع(blowing out). أي قذف كل محتويات البئر خارجاً و استبدالها بمحتويات الطبقة بحيث يصبح البئر جزءاً من الطبقة.



الشكل(1-1) يوضح الفرق بين الركلة الرفسة والاندفاع

أما تدفق المياه الطبقية فهو أسهل التدفقات الطبقة وأقلها كلفة كونها محصورة فقط في زمن الاندفاع وليس له مضـــاعفات وهو يحدث عند فتح طبقة مائية تحت ضـــغط مرتفع ويكون الحل برفع مجموعة مواســـير الحفر إلى منطقة الأمان وفتح البئر وتوجيهه خارج الخزانات إلى أن ينخفض الضـغط من تلقاء نفسـه وتوقف تدفق المياه الذي يسـتغرق زمناً يتعلق بحجم الطبقة المائية وضغطها.

1-2- الآثار السلبية للاندفاعات:

1- تلف جهاز الحفر.

2- المخاطر الكبيرة على العناصر البشرية.

3- ضياع كبير في الطاقة الطبقية للمكمن إلى الحد الذي يجعل استثماره غير اقتصادي.

4- تلوث البيئة المحيطة.

1-3- أسباب دخول الموائع الطبقية للبئر:

يحدث دخول الموائع الطبقية للبئر في الحالتين التاليتين:

1-3-1- ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر المعاكس على الطبقة غير كافٍ.

ويمكن التعبير عنها في الصيغة الرياضية الآتية:

$$P_m + P_{hd} + P_o < P_f$$

P_m: الضغط داخل البئر

(ضغط عمود سائل الحفر)

P_{hd}: الضغط الحركي لسائل الحفر في الفراغ الحلقي

P_o: الضغط على السطح

P_f: الضغط الطبقي

معدل دخول الموائع الطبقية للبئر في هذه الحالة يعتمد على ســـماكة الطبقة و نفوذيتها، فرق الضغط P_f-P_m ، طبيعة الموائع الطبقية وقطر البئر.

إن تحليل العلاقة السابقة يبين لنا أسباب حدوث التدفق:

أ. الضغط على السطح P_o أثناء الحفر العادي يساوي الضغط الجوي ولكن أحياناً يستخدم ضغط ما على الفوهة عند الحفر بالتعادل أو تحت التعادل أو عند استخدام سوائل مهواة.

ب. P_m: الضغط داخل البئر (ضغط عمود سائل الحفر)

يمكن أن ينخفض بحالتين هما:

1- تناقص الوزن النوعي لسائل الحفر وينتج عن:

- التمديد الزائد أو اســـتخدام المحاليل المختلفة (لإنقاص اللزوجة وتركيز الجزء الصلب).
- الاستحلاب عند إضافة زيت الديزل على السائل وعدم إصلاح الوزن النوعي (تحويل سائل الحفر إلى مستحلب بإضافة زيت الديزل على السائل)
- استخدام حمامات نفطية في الفراغ الحلقي لحل استعصاء مجموعة مواسير الحفر.
- الدخول المتتالي للموائع الطبقية منخفضة الكثافة.

2- تناقص ارتفاع عمود سائل الحفر في البئر ينتج عن:

☒ تهريب سائل الحفر في الطبقة.

☒ إهمال تعبئة البئر أثناء الرفع.

جـ. الضغط الحركي لسائل الحفر P_{hd} والذي يؤمن حركة السائل في البئر يساهم مع P_m في جعل الضـــغط مقابل الطبقة القابلة محتوياتها للتدفق باتجاه البئر أكبر من الضـــغط الطبقي (أثناء حركة الســـائل في البئر)، ولكن أثناء التوقف عن الدوران ورفع المواسـير إلى السـطح فإن تأثير الضـغط يزول مما قد يجعل الضـغط داخل البئر أقل من الضغط الطبقي.

1-4- الضغط في الفراغ الحلقي يمكن حسابه بالعلاقة:

$$P_{hd} = \frac{48\boldsymbol{\eta}\, \boldsymbol{VL}}{(D_b - D^2)} + \frac{6\theta L}{(D_b - D)} \quad \text{.....} \quad (1_4)$$

$\boldsymbol{\eta}$: اللزوجة البلاستيكية لسائل الحفر.

θ: التوتر الديناميكي للقص.

V: سرعة صعود سائل الحفر في الفراغ الحلقي.

D_b: قطر البئر.

L: طول مواسير الحفر.

يحدث التسرب أيضاً لأسباب مختلفة نبين فيما يلي بعضاً منها:

أثناء الرفع رغم أن $P_f=P_m$ يتحرك سائل الحفر باتجاه الأسفل ليشغل المكان الذي كانت تشغله ماسورة الحفر مما يتسبب في انخفاض Pm بسبب تناقص عمود سائل الحفر H (هذا إذا لم يجري تعبئة البئر) وقد يصبح $P_f > P_m$ فتندفع دفقة من المائع الطبقي إلى البئر وتتكرر هذه الحالة عند رفع كل شوط من مواسير الحفر، ودرجة انخفاض الضغط تعتمد على (سرعة وتسارع الرفع، ولزوجة سائل الحفر، عمق البئر وعكساً ومقطع الفراغ الحلقي) ويتضاعف تأثير هذا الفعل عندما يكون رأس الحفر ملبد وفتحاته مغلقة وعندما نجهز مجموعة مواسير الحفر بجلب مخروطية للتقليل من احتكاكها مع مواسير التغليف ومع جدران البئر وهذا ما يسمى بظاهرة (الشفط Swab).

1-3-2- ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر المعاكس على الطبقة ضمن الحدود العادية ومع هذا يحدث تدفق ($P_f<P_m$):

من المعلوم أن الموائع الطبقية (وخصوصاً الغازات) يمكنها التدفق باتجاه البئر حتى لو كان ضغطها أقل من ضغط البئر فهي تتسرب من القسم المحفور من الطبقة أو التي يمكن أن تنهار من جدران البئر مقابل الطبقة الخازنة بل ومن الطبقة ذاتها.

إن القتاتات الصخرية الناتجة عن الحفر في الطبقة الخازنة (أو تلك الناتجة عن دوران البئر مقابل الطبقة المنتجة) تصعد مع سائل الحفر، وكلما ابتعدت عن القاع انخفض الضغط عليها فتتمدد الغازات داخلها ثم تخرج بشكل فقاعات مقللة من الوزن النوعي للسائل، كمية الغازات هذه تتناسب وسرعة الحفر.

مع أن كثافة سائل الحفر على السطح تنخفض بشكل ملحوظ بسبب انحلال الغازات القادمة من نواتج الحفر إلا أنها في الأعماق تقترب من الكثافة الأولية بسبب انضغاط الغازات. وبالنتيجة فإن انحلال الغازات التي تخرج من نواتج الحفر لا يعتبر تدفقاً ولا يمكن إيقافه بزيادة كثافة سائل الحفر وليس له مخاطر تذكر.

تتدفق الغازات من الطبقة إلى البئر المخترقة بفعل عوامل فيزيائية وفيزيوكيميائية مختلفة أهمها خاصية الانتشار نتيجة الفرق في التركيز، إذ أن الغازات ونتيجة الفرق في تركيزها في الطبقة وداخل البئر تنتشر خلال كعكة الحفر إذ كان البئر في وضعية التوقف عن الضخ فإنها تبقى على سطح جدران البئر بشكل سلسلة من الفقاعات التي تتحرك عند بدأ حركة السائل وتتحرك باتجاه السطح وبالنتيجة فإن التدفق في حال كان الضغط المعاكس على الطبقة كافياً ليس له مخاطر تذكر شريطة تحديدها والتعامل معها بشكل مناسب (فصلها على السطح عند ملاحظة زيادة تركيزها).

1-5- تلوث سائل الحفر بالغازات:

يعتبر تدفق الغازات أثناء الحفر من أكثر الصعوبات انتشاراً وخطورة للأسباب التالية:

- ✓ سرعة اختراق الطبقات الغازية كبيرة.
- ✓ قدرتها العالية للتمدد كلما اقتربت من السطح.
- ✓ سرعتها الحركية كبيرة نظراً لكثافتها المنخفضة قياساً مع كثافة سائل الحفر.
- ✓ رفعها للضغط عند رأس المواسير.
- ✓ سرعة اشتعالها كبيرة.

عند اقتراب الغازات من السطح فإنها تتمدد لتزيد بذلك معدل خروج سائل الحفر من البئر ومقللة من وزنه النوعي وبالتالي من الضغط المعاكس على طبقة الغاز معطية الفرصة لزيادة تدفقها وتتحول بسرعة إلى اندفاع.

1-5-1- طرق دخول الغازات إلى سائل الحفر:

- التدفق نتيجة الفرق في الضغط $P_f - P_m$.
- الانتشار نتيجة الفرق في التركيز ما بين الطبقة والبئر.
- من القناتات التي يقطعها رأس الحفر على القاع أو تلك التي تأتي من الجدران نتيجة التهدم.

1-5-2- أشكال تواجد الغازات في سائل الحفر:

- غازات منحلة في السائل وتعتمد كميتها على الضغط والحرارة (T،P) فهي تزداد مع تزايد الضغط P (العمق) وبالتالي فهي تخرج من السائل كلما اقتربت من السطح.
- غازات مدمصة على سطح الحبيبات الصلبة وهي تزداد مع ارتفاع الكتلة الجزيئية لها، وكذلك فإنها تتمدد كلما اقتربت من السطح لتزيد حجم الحبيبات الصلبة وبالتالي لزوجة سائل الحفر.
- غازات حرة (بشكل فقاعات أو تجمعات غازية) والتي أيضاً تتمدد كلما اتجهت إلى

السطح مقللة الوزن النوعي لسائل الحفر.

وفي تصنيفٍ آخر:

- Connection gas (الغاز الذي يدخل إلى البئر عند إضافة ماسورة حفر).
- Swab gas (الغاز الذي يدخل إلى البئر عند رفع المواسير).
- Formation gas(غاز الطبقة).

كثافة الغاز تتعلق بمكوناته، انضغاطيته، درجة حرارته، وبإهمال تأثير المكونات والحرارة يمكن تطبيق قانون بويل وماريوت لحساب حجم الغاز المتسرب إلى البئر

$$V2 \times P2 = V1 \times P1$$

وفي حالة عدم إهمال الحرارة يصبح القانون:

$$\frac{V2 \times P2}{T2} = \frac{V1 \times P1}{T1}$$

مثال:

P_1= 90 psi T_1= 20°C

V_2= 12 bbl. V_1= 12 bbl. T_2=80°C

P_2= $\frac{P1 \times V1 \times T2}{T1 \times V2}$ = 90X12(80 + 273)/ (20+273) X12=108 psi

1-5-3- هجرة الغاز:

عندما تكون البئر مغلقة فإن الغاز ينتقل إلى الأعلى ويلاحظ تزايد ثابت في ضغط الإغلاق ضمن مواسير الحفر SICP وبما أن الغاز لا يمكنه التمدد بسبب إغلاق البئر فإنه يحافظ على ضغطه الأصلي (ضغط الطبقة) أثناء انتقاله إلى الأعلى وهذا بسبب:

- زيادة الضغط في البئر وبجميع الاتجاهات (SICP،SITP).
- ارتفاع الضغط في حذاء مواسير التغليف.
- ارتفاع الضغط على قاع البئر في الوقت الذي يبقى فيه ضغط الغاز ذاته دون تغيير (ارتفاع الضغط ناتج عن انخفاض ضغط عمود سائل الحفر السكوني كلما

اقتربنا من السطح مع المحافظة عل ضغط الغاز ثابت) ومن أجل تقليل الضغط الذي ينقله الغاز إلى الأعلى (في حالة الإغلاق لفترة طويلة) ينصح بتنفيس جزء من الضغط عن طريق القالة (choke)، وهذا يتم إجراؤه مع المحافظة على (SIDP) ثابت القيمة ومساوية لقيمتها الأصلية (أو أعلى قليلاً).

تمدد حجم الغاز:

عندما ينتقل الغاز بالفراغ الحلقي وعند إجراء تنفيس الغاز فإن هذا سوف يؤدي إلى انخفاض الضغط وبالتالي زيادة الحجم.

مثال:

فقاعة غاز حجمها 1 برميل تحت ضغط 5000 psi سوق يصبح حجمها 2 برميل عند تخفيض الضغط إلى 2500 psi

$$V2 \times P2 = V1 \times P1$$

$$V_2 = \frac{V1 \times P1}{P2}$$

$$V_2 = \frac{5000}{2500} = 2bbl ، 5000 \text{ X } 1 = 2500 \text{ X } V_2$$

حيث:

$V1$: الحجم الأصلي للغاز.

$P1$: الضغط الأصلي للغاز.

$P2$: ضغط الغاز الجديد.

$V2$: حجم الغاز الجديد عن الضغط $P2$.

1-6- طرق تلافي التدفق الطبقي:

إن تلافي التدفق الطبقي يبدأ من تحديد المسببات والبداية بتحديد دقيق للضغط الطبقي (وهو عنصر طبيعي لا يمكن التحكم به) قبل البدء بالحفر أو أثناء إنجاز البئر إذاً اعتماداً عليه يتم تحديد الضغط المناسب داخل البئر وبالتالي خصائص سائل الحفر على الشكل

الآتي:

1- يحدد الوزن النوعي سائل الحفر بحيث يؤمن ضغط معاكس أصغري على الطبقة منطلقين من ضرورة تأمين الشروط اللازمة للوصول إلى سرعة حفر عظمى ففي الآبار الإنتاجية و عند اختراق طبقات متماسكة غير خازنة يفضل الحفر بالتعادل ($P_f=P_m$)، بل أحياناً نستخدم سائل الحفر بوزن نوعي منخفض يحقق ضغط داخل البئر أقل من الضغط الطبقي حيث أنه عند مرور قاع البئر و حمله لنواتج الحفر يؤمن تحقيق التعادل، أما في الآبار الاستكشافية أو عند اختراق الطبقات ذات النفوذية المرتفعة أو تلك المحتمل احتواؤها على الغاز أو على نسب مرتفعة من G/O فيجب استخدام ضغط معاكس كاف للتمكن من الحفر بدرجة أمان كبيرة.

2- يجب استخدام سوائل بخصائص حركية بقيم دنيا (Z_0، θ،$\boldsymbol{\eta}$) و بما يؤمن رفع الفتاتات إلى السطح.

3- تعبئة البئر باستمرار أثناء الرفع مع قياس حجم السائل الذي تم ضخه.

4- قياس حجم السائل الخارج أثناء الإنزال ومقارنته مع ذلك الذي تم ضخه أثناء الرفع.

5- يجب مراقبة البئر بشكل مستمر (خصوصاً عند اختراق الطبقات الخازنة والنفوذية) كي نكتشف بسرعة حدوث التدفق أو التهريب من أجل التمكن من المحافظة على البئر مليئة كي تسمح بمراقبة سائل الحفر عند فوهة البئر أثناء وعند ملاحظة وجود فقاعات

على السطح يجب البدء بالضخ بسرعة وتنظيف السائل من الغازات.

6- ينصح برفع المواسير ببطء لتجنب هبوط الضغط خصوصاً عند استخدام سائل لزج وفراغ حلقي كبير ومعالجة التهريب بسرعة.

7- تجنب رفع المواسير ورأس الحفر ملبد وذلك لزيادة عدد دورات الطاحون مع استمرار الضخ ووقف الحفر قبل البدء بالحفر (لإزالة اللبادة عن رأس الحفر).

8- مراقبة مستمرة للسائل وخصوصاً من حيث ذكر طبيعة الغازات فيه وكذلك الملوحة.

9- إجراء دورة كاملة لسائل الحفر قبل البدء بالرفع (مع توقف رأس الحفر عن العمل على القاع) عند اختراق الطبقات الغازية لتنظيفه من الغازات.

10- استخدام معدل ضخ معتدل بعد الإنزال (خصوصاً إذا كانت فترة التوقف كبيرة). واستبعاد السائل الملوث بالغازات.

11- ينصح بزيادة الوزن النوعي للسائل فوق المجال النفطي عند وجود طبقة غاز مفتوحة على البئر.

12- تحضير سائل حفر احتياط بخصائص مشابهة للسائل المستخدم في البئر عند وجود احتمال للتهريب أو التدفق مع ضرورة تأمين مواد إضافية لتحضير سائل الحفر.

1-7- أمثلة حقيقية على بعض مشاكل الاندفاع في حقول الشركة السورية للنفط:

لقد حدثت مشاكل تسرب أثناء حفر المراحل الإنتاجية (وخاصة الحاملة للغاز) في آبار الشركة السورية للنفط، وحدثت أيضاً مشكلة اندفاع في بئر أبو رباح (1).

وفيما يلي نستعرض هذه المشاكل:

1-7-1- مشكلة اندفاع بئر أبو رباح (1):

وهي تعد من أخطر المشاكل التي حدثت أثناء الحفر في حقل أبو رباح الغازي في مديرية حقول الجبسة (الشركة السورية للنفط)، والتي أدت إلى خسائر اقتصادية كبيرة نتيجة انخفاض الضغط الطبقي في حقل أبو رباح الغازي.

وبئر أبو رباح (1) هو أحد آبار المنطقة الوسطى حيث يقسم المقطع الليتولوجي إلى ثلاث مجالات:

المجال الأول: سطحي، ويتضمن تشكيلات الجوديا ورماح شيرت والحيان والرطبة.

تكثر في هذا المجال نطاقات التهريب، وفي أكثر الأحيان يصعب حفره إلا بسوائل حفر رغوية.

المجال الثاني: ويتضمن تشكيلة الكوراشينا أنهدريت، وهو عبارة عن تناوبات من الملح والغضار الزاحف، ولا يمكن حفره إلا بتغليف مجالات التهريب السابقة، وبسائل حفر ملحي مشبع.

المجال الثالث: المجال الخازن، وهو طبقة الكوراشينا دولوميت الحاملة للغاز، ويحصل تهريب لسائل الحفر في حال زيادة الوزن النوعي لسائل الحفر عن ($1.35\ gr_f/cm^3$).

تم إنزال مواسير تغليف (7") وعزل تشكيلة الكوراشينا انهدريت

(مجالات زحف الغضار) وإنزال تشكيلة حفر مكونة من:

Bit 5" 7/8 + DC 4" 3/7 * 196 m + DP 3" 1/2 * 2192m

وحفر تشكيلة الكوراشينا دولوميت بسائل حفر مشبع بالملح بالمواصفات التالية:

- الوزن النوعي: ($1.22gr_f/cm^3$)
- اللزوجة البلاستيكية: 8 cp
- فاقد الرشح: $4cm^3$/ 30 min
- درجة الحموضة: 9

وأثناء الحفر على العمق (2486m) تم رفع تشكيلة الحفر مع الإملاء المستمر للبئر للتعويض عن حجم مجموعات المواسير المرفوعة ورفع رأس الحفر وتبديله وبعد إنزال الأعمدة على العمق (85m) حدث اندفاع للغاز والأعمدة معلقة بجهاز الرفع ومستندة على الماسكات، علماً أن موانع الاندفاع المركبة هي أعمى + مواسير 3،"5.

وبلغت فترة توقف سائل الحفر عن الدوران منذ لحظة إيقاف الحفر ورفع تشكيلة الحفر وحتى حصول الاندفاع (h18).

وبعد حصول الاندفاع تم اتخاذ الإجراءات التالية:

1- إطفاء مولدات الكهرباء.

2- إغلاق موانع الاندفاع ولم يتوقف الاندفاع حيث بقي يخرج من الفراغ الحلقي كون لقم مانع الاندفاع (3" 1/2) غير مناسبة للأعمدة (3/74 ") ويخرج من داخل الأعمدة.

3- فك وترحيل خزانات المازوت ومحركات الحفر.

4- إجراء أعمال وتجهيزات لسحب البرج.

5- مراقبة وضع البئر على رأس الحفر وتخفيض الضغط من (1800 psi) حتى (1700 psi).

6- استبعاد معدات الحفارة.

7- التحضير لعملية قص للأعمدة باستخدام الرمل مع الماء من قبل طاقم أمريكي متخصص، حيث فشلت المحاولة الأولى ونجحت الثانية.

8- بعد قص الأعمدة تم سحب برج الحفر عن موقع البئر.

9- تحرير الأعمدة الممسوكة بواسطة فتح مانع الاندفاع الماسك للأعمدة وتم قذفها في الجو لعدة أمتار وسقطت بالقرب من فوهة البئر.

10- تم قتل البئر بتطبيق ضغط معاكس (at250) وحقن ماء مالح بحجم ($55m^3$) وإغلاق البئر ومتابعة مراقبة استقراره.

11- مراقبة وضع البئر حتى استقراره، وتعبئته بماء مشبع بالملح بوزن نوعي ($1.22gr_f/cm^3$).

12- صب جسر إسمنتي وتركيب مانع اندفاع نوع عام وإنزال تشكيلة الحفر وإجراء دوران لسائل الحفر وطرد المخدات الغازية، كان زمن معالجة المشكلة (52 يوماً) والخسائر

المادية كانت كبيرة جداً.

1-7-2- مشكلة بئر أبو رباح (4) أفقي:

تم حفر الطبقة الخازنة (الكوراشينا دولوميت) بسائل حفر مشبع بالملح بالمواصفات التالية:

- ✓ الوزن النوعي: ($1.20gr_f/cm^3$).
- ✓ اللزوجة البلاستيكية: 8 cp.
- ✓ فاقد الرشح: $8cm^3$/ 30 min.
- ✓ درجة الحموضة: 10.

وتشكيلة حفر مكونة من:

Bit 8" 1/2+ DC 6" 1/4* 190m + DP 4" 1/2 *2192m

أثناء حفر المجال (2449/2458m) حدث تباطؤ في عملية الحفر نتيجة استهلاك رأس الحفر، فتم رفع تشكيلة الحفر، وأثناء إجراء عملية الرفع تعطلت السرعة الثالثة والرابعة وكان هناك صعوبة في عملية فك المواسير واستغرقت عملية الرفع حوالي (13.5 ساعة) مع الإملاء المستمر للبئر بسائل الحفر للتعويض عن حجم مجموعات المواسير المرفوعة فتم تبديل رأس الحفر وأثناء بدء الإنزال لوحظ تدفق قوي لسائل الحفر، فتم إغلاق مانع الاندفاع الأعمى وتحويل البئر إلى حفرة

وكان الضغط في رأس البئر (3300 psi).

وعملية المعالجة كانت كما يلي :

1- تجهيز ماء مشبع بالملح بوزن نوعي ($1.25gr_f/cm^3$).

2- اختبار خطوط الحقن بضغط (350 at).

3- ضخ ($100m^3$) من السائل المحضر بضغط (240 at).

4- وبعد ثلاث ساعات تم تنفيس البئر ولم يحصل تدفق.

5- ضخ ($1m^3$) كل ساعة.

6- تم تكرار العملية السابقة ست عشرة مرة لوحظ تناقص الضغط حتى (350 psi).

7- ضخ ($10m^3$) من الماء المشبع بالملح ومراقبة الضغط لوحظ ارتفاع في الضغط حت (550 psi).

8- إغلاق البئر.

9- تحضير ماء مشبع بالملح بوزن نوعي ($1.22gr_f/cm^3$) مع سائل حفر ذو لزوجة عالية (طمبون) وإعادة قتل البئر، ومراقبة الضغط.

10- لم ينخفض الضغط.

11- ضخ ماء مشبع بالملح بوزن نوعي ($1.22gr_f/cm^3$).

12- مراقبة الضغط وبعد ست ساعات انخفض الضغط على رأس البئر إلى الصفر.

13- متابعة مراقبة الضغط مع تنفيس وإجراء محاولة لإملاء البئر للتأكد من عدم وجود الغاز.

14- عند التأكد من عدم وجود الغاز تم تحضير سائل حفر مشبع بالملح بوزن نوعي ($1.22gr_f/cm^3$) بكمية ($280m^3$).

15- إملاء البئر كل (8) ساعات، مع إجراء تنفيس للضغط.

16- تكرار العملية السابقة حتى الانتهاء من قتل البئر بشكل كامل.

استغرقت عملية المعالجة (15) يوماً.

1-6-3- بئر شرقي الخراطة (118):

الطبقة المنتجة: تم حفر هذه الطبقة بشائل حفر ذو أساس مائي.

بالمواصفات التالية:

- الوزن النوعي: ($1.13gr_f/cm^3$).
- اللزوجة البلاستيكية: 10 cp.
- فاقد الرشح: $7cm^3$/ 30 min.
- درجة الحموضة: 9.

بعد تبديل رأس الحفر وأثناء إنزال تشكيلة الحفر حدث دخول للغاز الطبقي وتشكل مخدات غازية أعاقت إنزال تشكيلة الحفر، وانخفض الوزن النوعي لسائل الحفر من ($1.13gr_f/cm^3$) إلى ($1.07gr_f/cm^3$)، تم إيقاف إنزال تشكيلة الحفر وإجراء دوران لسائل الحفر وتشغيل فواصل الغاز وطرح المقاطع المغوزة وتحضير سائل الحفر جديد بدلاً من السائل الملوث، واستغرقت عملية المعالجة يومان.

1-8- أمثلة عن بعض الاندفاعات في العالم:

فيما يلي نورد أمثلة عن مشاكل اندفاع الآبار النفطية والغازية في مناطق مختلفة حول العالم:

1-8-1- اندفاع بئر 24 في حقل Naft Shahr في إيران:

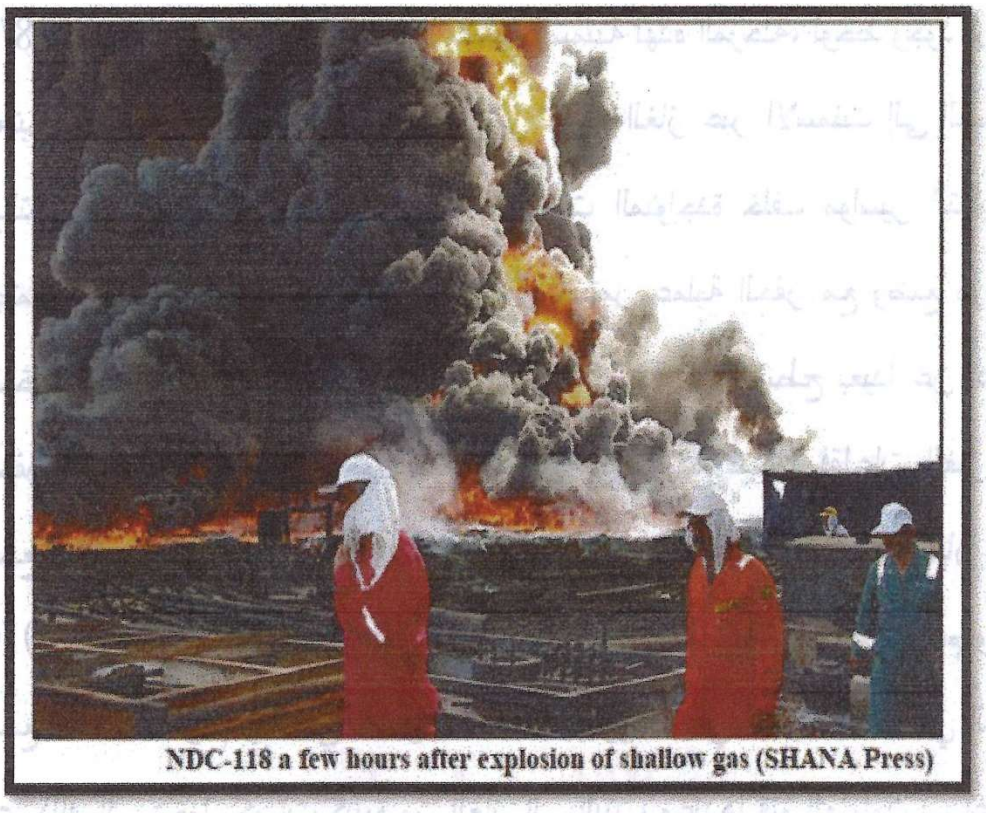
لمحة عن الحقل:

يقع حقل Naft Shahr في القسم الغربي لإيران على الحدود العراقية الإيرانية، تم تقدير كمية النفط القابلة للاستخراج في الجانب الإيراني ب 692 مليون برميل بالإضافة إلى وجود قبعة غازية متوضعة أعلى النفط ضمن الطبقة الخازنة.

تفاصيل الاندفاع:

في عام 2010 تم البدء بعملية حفر البئر 24، تم إنزال مواسير التغليف السطحية 188/5 إنش إلى عمق 145m و سمنتتها، و أنزلت مواسير التغليف للمرحلة الوسطية 138/3 إنش إلى عمق 556m، و بعد عملية السمنتة لهذه المرحلة، لوحظ وجود تركيز

معتبر من الغاز على السطح و هذا يدل على تسرب الغاز عبر الإسمنت إلى السطح، و بالتالي تشكل ممرات ضيقة في كتلة الإسمنت المتواجدة خلف مواسير التغليف، اجتمع القائمون على عملية الحفر و قرروا أن تستمر عملية الحفر مع وضع مروحة ضخمة تقوم بتوجيه الكميات القليلة من الغاز المتسربة إلى السطح بعيداً عن عمال الحفر و المحركات الكهربائية، تم استئناف عملية الحفر مع صعود فقاعات الغاز مع راجع سائل الحفر إلى السطح، وعند الوصول إلى العمق 615m في 29 أيار عام 2010 و أثناء الحفر بقطر 124/1 إنش، حدث تهريب كلي لسائل الحفر(عدم وجود راجع لسائل الحفر) و بالتالي خسارة الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل في البئر، أدى ذلك إلى دخول كميات كبيرة من الغاز إلى البئر، وعندها قام العاملون بإغلاق مانع الاندفاع للسيطرة على البئر، مع استمرار تدفق الغاز إلى البئر زاد الضغط داخل البئر و أدى ذلك إلى إحداث شقوق في الإسمنت المتواجد خلف مواسير التغليف للمرحلة السابقة، و تشكلت مسارات ضمن الإسمنت تسرب منها الغاز بكميات كبيرة إلى السطح، و انتشر بالمنطقة المحيطة بالبئر، و عندما وصلت شرارة من المحركات العاملة إلى الغاز المتسرب، حدث انفجار كبير بلهب نار وصل إلى ارتفاع 70m عن سطح الأرض و اشتعلت النيران تقريباً في كافة المعدات الموجودة حول البئر، خلف هذا الحادث المأساوي خسائر بالأرواح حيث قتل أربعة عمال و أصيب 12 آخرون، استمرت النيران مشتعلة حتى تم السيطرة على البئر بعد مرور 38 يوم من خروجه عن السيطرة و تعتبر هذه الفترة قياسية للسيطرة على مثل هذا النوع من الاندفاعات.



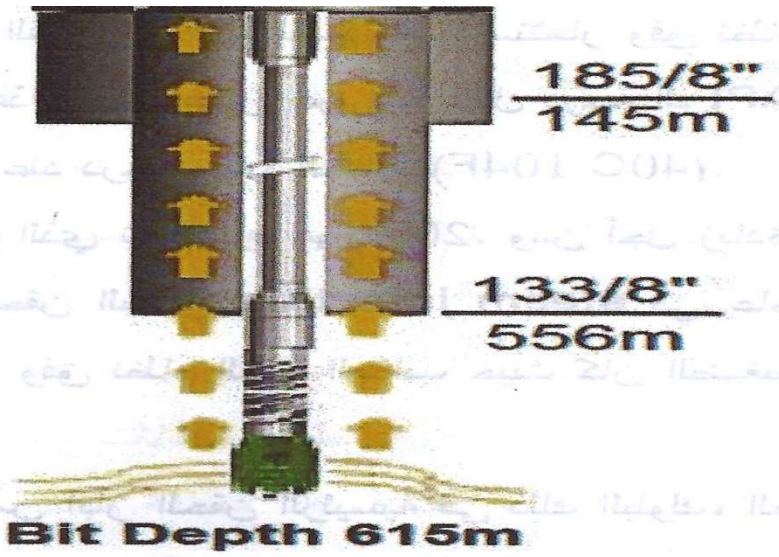
NDC-118 a few hours after explosion of shallow gas (SHANA Press)

الشكل(1-2) فشل السيطرة ع الاندفاع



Fire covered location and scattered a black cloud of smoke on the region (SHANA Press)

الشكل(1-3) الأضرار و التلوث الناجمة عن الاندفاع



الشكل(4-1) مخطط البئر

1-8-2- اندفاع بئر 457 في حقل Schoonebeek:

لمحة عن الحقل:

يقع حقل Schoonebeek شمال شرق هولندا على الحدود مع ألمانيا، اكتشف الحقل علم 1943 ووضع بالإنتاج عام 1947، ينتج الحقل من تشكيلة Bentheim sandstone المتوضعة في عصر الكريتاسي بسماكة من 10 إلى 35m.

كمية النفط البدائية المتواجدة في هذا الخزان تقدر بـ 1 مليار برميل وبهذه الكمية يكون هذا الحقل أكبر حقل نفطي بري في أوروبا الغربية، يضرب هذا الحقل فالق يقسم الخزان إلى قسمين مختلفين كما في الشكل (1-5)

- قسم شمال شرق الفالق وفي هذا القسم يتم الاستثمار بالاعتماد على نظام الدفع المائي
- قسم جنوب غرب الفالق في هذا القسم يتم الاستثمار وفق نظام الغاز المذاب

النفط الذي ينتج من هذا الحقل عبارة عن نفط ثقيل درجة الـ API تساوي 25 ويمتلك لزوجة كبيرة 150cp عند درجة حرارة خزان (104F 40C).

عامل المردود النهائي الذي تم تقديره هو 20% ومن أجل زيادة قيمة عامل المردود

النهائي بدأت عملية حقن البخار steam injection في عام 1975 في البلوك الجنوبي الذي يستثمر وفق نظام الغاز المذاب حيث كان الضغط الطبقي فيه حوالي 35bar.

بئر 457 كان واحد من آبار الحقن الرئيسية في ذلك البلوك، العمق الكلي للبئر هو 976m أنزلت فيه مواسير تغليف انتاجية 98/5 انش حتى عمق 942m وأيضاً مواسير linear 7in تحوي على ثقوب حتى عمق 975m.

تفاصيل الاندفاع:

بدأت أعمال الصيانة لهذا البئر في 2 تشرين الثاني عام 1976 و قبل البدء بإخراج تشكيلة مواسير الحقن من البئر قاموا بمحاولات عديدة لملء البئر بالماء الحار بشكل كامل و لكن لاحظوا انخفاض مستوى السائل في البئر لأنه شكل ضغط هيدروستاتيكي في البئر أكبر من ضغط الطبقة ثم تم تجهيز فوهة البئر بمانع اندفاع حلقي 6 in annular blowout preventer (5000 psi) بعدها تم تحرير الباكر و البدء بعملية سحب مواسير الحقن من البئر أثناء هذه العملية تم ضخ المياه الحارة إلى البئر، في يوم السبت 6 تشرين الثاني عام 1976 تم إخراج تشكيلة مواسير الحقن من البئر بشكل كامل و لأن طاقم الصيانة في الحقل لا يعملون عادة في عطلة نهاية الأسبوع فقد تم التوقف عن العمل في البئر، تم إنزال أنبوب قتل في البئر بطول 20m و قطر 5 انش مجهز بصمام في نهايته العليا و تم إغلاق مانع الاندفاع الحلقي عليه كما في الشكل (1-6)، في هذه المرحلة كان الضغط على رأس البئر معدوم الشكل (1-6)، في هذه المرحلة كان الضغط على رأس البئر معدوم الشكل (1-6) تصف حالة البئر عندما ترك من أجل عطلة نهاية الأسبوع.

خلال عطلة نهاية الأسبوع بدأ الضغط بالتزايد على مواسير التغليف 98/5 انش هذا أدى إلى دفع أنبوب القتل المغلق من الأعلى بواسطة صمام إلى الأعلى من خلال مانع الاندفاع الحلقي و من ثم بدأ البخار و الغاز و النفط و الماء و الحبيبات الصلبة بالهروب

إلى السطح بشكل خارج عن السيطرة، معدلات التدفق العالية سببت التآكل الميكانيكي السريع لأنبوب القتل و BOP عند منطقة التسرب أدى ذلك إلى إخراج أنبوب القتل من البئر و بالتالي عند الساعة 6:15m في 8 تشرين الثاني عام 1976 كميات كبيرة من الغاز و البخار و المياه الحارة و النفط و الحبيبات الصلبة اندفعت من البئر.

وصل ارتفاع المائع المندفع من البئر إلى حوالي 70m كما في الشكل (1-7) التي تظهر غيمة سوداء باتجاه الرياح خلف الغلاية boiler وهي عبارة عن قطرات النفط والماء والحبيبات الصلبة والتي تساقطت على المراعي المتواجدة بجوار البئر وانتشر النفط إلى مسافة أبعد لتتساقط قطرات النفط على القرية المجاورة للحقل، بعد مضي عدة ساعات غيرت الرياح من اتجاه مسارها قليلاً أدى ذلك إلى حرف مسار المائع المندفع ليتساقط على مناطق أخرى مزيداً بذلك مساحة التلوث.

في يوم 9 تشرين الثاني (اليوم الثاني من الاندفاع) معدل الاندفاع بدأ بالتناقص وارتفاع المائع المندفع فوق البئر انخفض ليصل إلى حوالي 35m كما في الشكل(1-8).

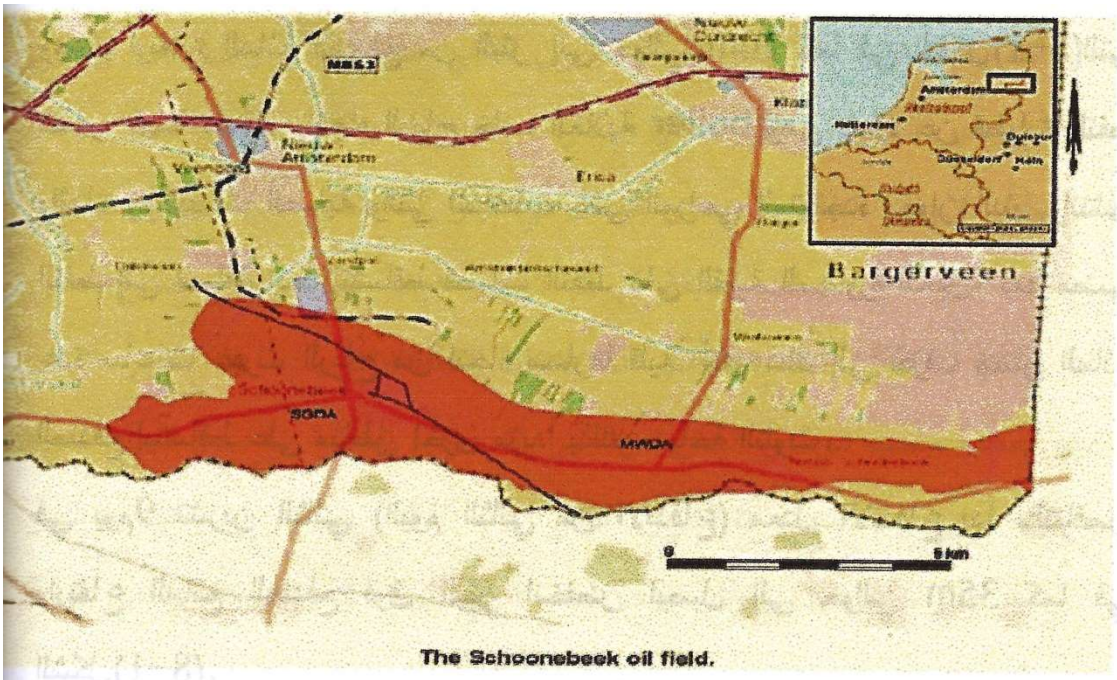
الضغط على رأس التغليف انخفض من 4 إلى 2bar ودرجة الحرارة على رأس التغليف انخفضت أيضاً من 120^0C إلى 100^0C ولأن الرياح لا تزال تهب من الجنوب فكانت كل الحبيبات الصلبة والقطرات السائلة تتساقط على المناطق الواقعة شمال البئر.

لذلك تمكن الطاقم من الوصول إلى البئر من دون أي عائق من جهة الجنوب ووصلوا خط القتل مع المضخات وقاموا بضخ سائل القتل إلى البئر وبعد عدة محاولات تم السيطرة على البئر بعد حوالي 41 ساعة من بداية الاندفاع.

ملاحظات ما بعد الاندفاع:

كانت سماكة الطبقة المتشكلة من الماء والنفط والحبيبات الصلبة تتراوح من 6 إلى 20cm في موقع البئر وبين 1،5 إلى 6cm في المراعي القريبة من البئر وتصل إلى 1،5cm في الأجزاء الأكثر تضرراً في القرية القريبة من الحقل.

عموماً إن المنطقة الملوثة تم تقديرها بمثلث مساحته 24 كم مربع.



The Schoonebeek oil field.

الشكل(1-5)

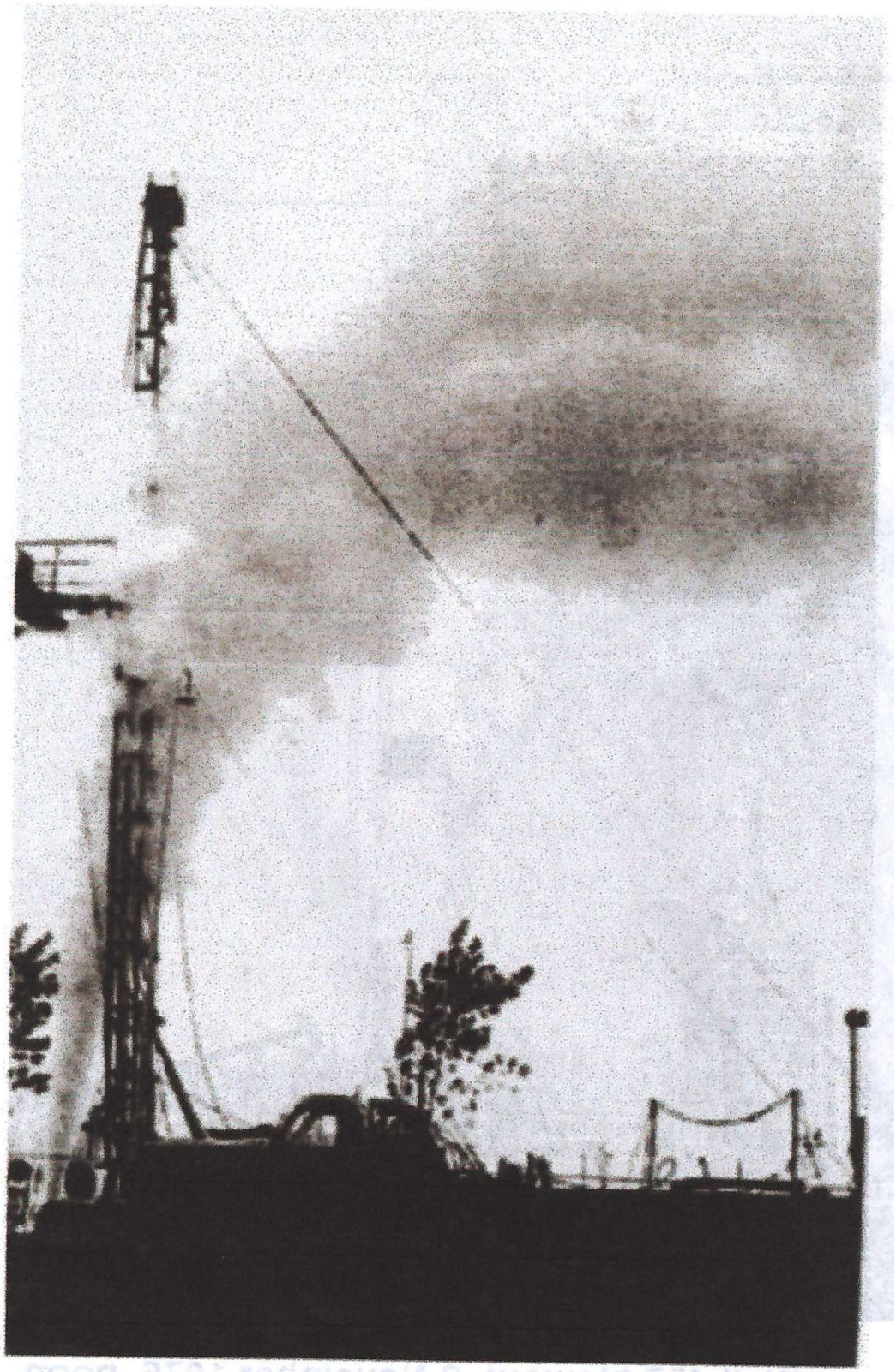
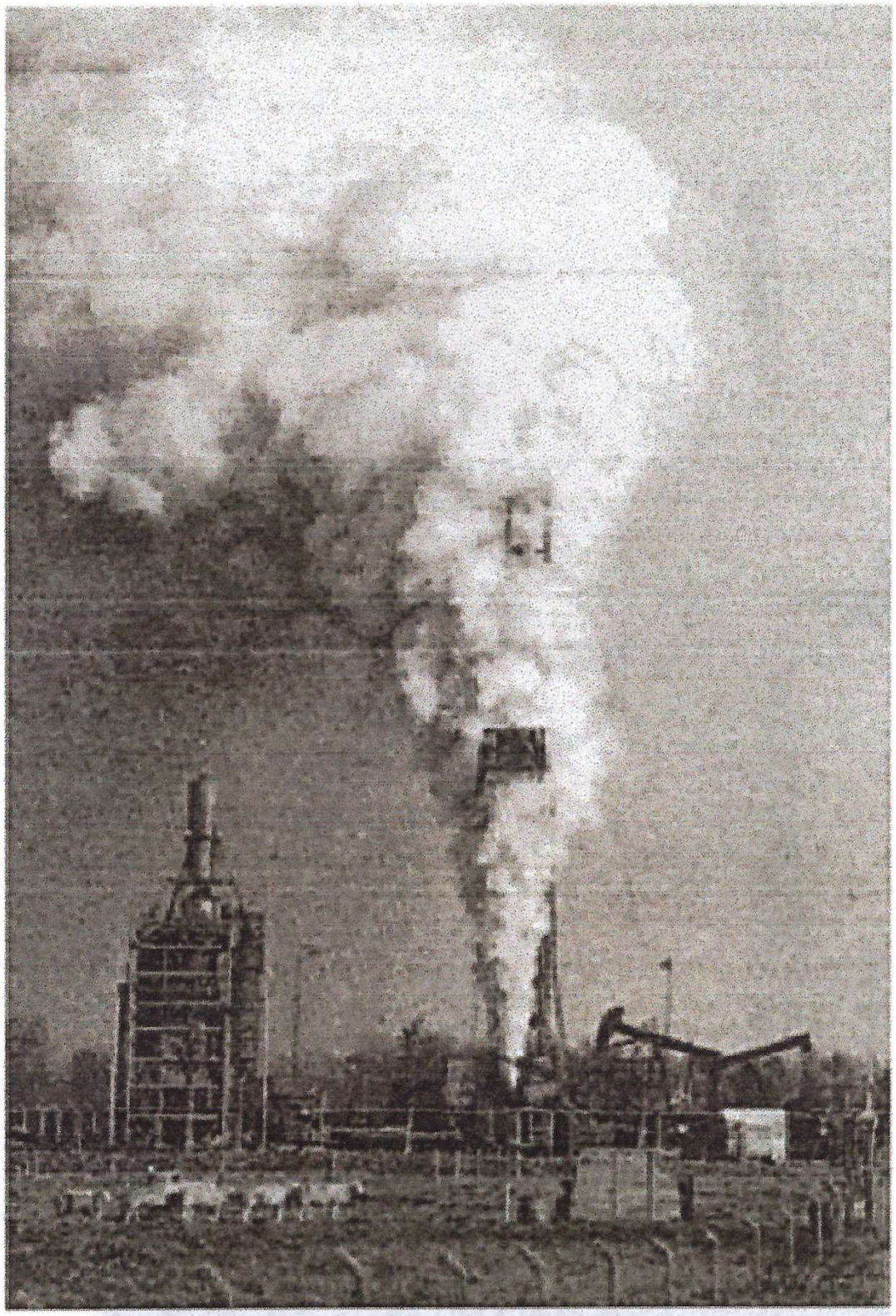


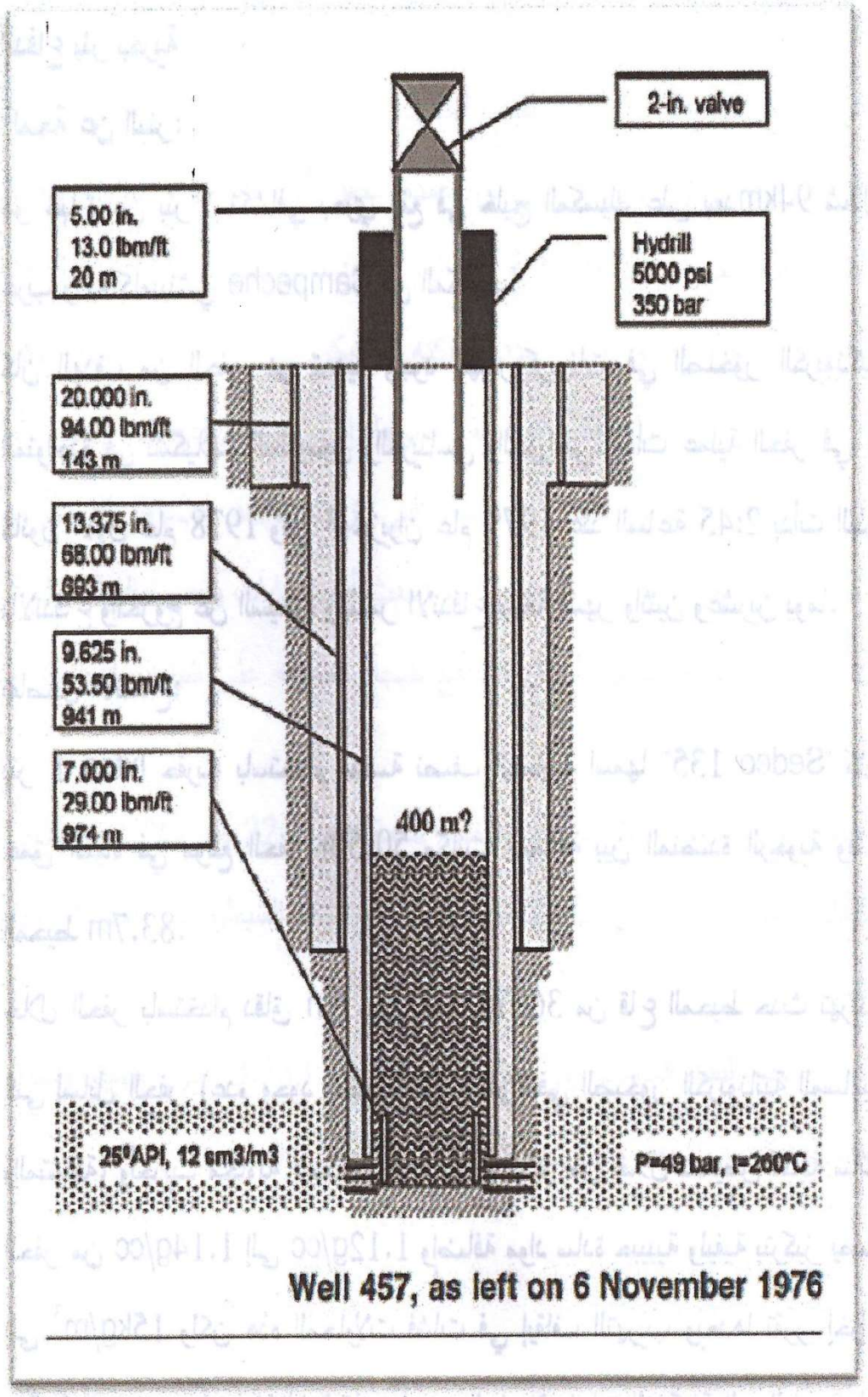
Fig. 5—Well 457 blowout, 9 November 1976.

الشكل(1-6)



Well 457 blowout, 8 November 1976, noon.

الشكل(1-7)


2-in. valve
5.00 in.
13.0 lbm/ft
20 m
Hydrill
5000 psi
350 bar
20.000 in.
94.00 lbm/ft
143 m
13.375 in.
68.00 lbm/ft
693 m
9.625 in.
53.50 lbm/ft
941 m
7.000 in.
29.00 lbm/ft
974 m
400 m?
25°API, 12 sm3/m3
P=49 bar, t=200°C
Well 457, as left on 6 November 1976

الشكل(1-8)

1-8-3- بئر Ixtoc 1:

اندفاع بئر بحرية:

لمحة عن البئر:

هو عبارة عن بئر استكشافي بحري يقع في خليج المكسيك على بعد 94km شمال غرب ولاية كامبيتشي Campeche في المكسيك.

كان الهدف من الحفر هو تحديد وجود الهيدروكربونات في الصخور الكربوناتية المتواجدة في تشكيلات الباليوسين و الكريتاسي و الجوراسي. بدأت عملية الحفر في 1 كانون الأول عام 1978 و في 3 حزيران عام 1979 عند الساعة 2:45 بدأت البئر بالاندفاع و الخروج عن السيطرة و استمر الاندفاع تسعة أشهر و اثنين و عشرين يوماً.

تفاصيل الاندفاع:

بئر Ixtoc 1 حفرت باستخدام منصة نصف انغماريه اسمها "Sedco 135" كان عمق المياه في موقع الحفر 5m،50 و كانت المسافة بين المنضدة الرحوية و قاع المحيط 7m،83.

خلال الحفر باستخدام دقاق 6 in على عمق 3627m من قاع المحيط حدث تهريب كلي لسائل الحفر (عدم وجود راجع لسائل الحفر) في الصخور الكربوناتية المسامية و المتشققة، و أجريت محاولات لاستعادة دورة سائل الحفر من خلال تخفيض كثافة سائل الحفر من 14g/cc،1 إلى 12g/cc،1 و إضافة مواد سادة حبيبية و ليفية بتركيز يصل إلى $15kg/m^3$ و لكن هذه المحاولات فشلت في إيقاف التهريب و بعدها تقرر إخراج تشكيلة الحفر من البئر لإزالة الدقاق و أعمدة الحفر ثم إعادة التشكيلة إلى البئر بنهاية مفتوحة من مواسير الحفر و محاولة إغلاق منطقة التهريب عن طريق ضخ سدادات مكونة من الإسمنت فقط.

في 2 حزيران عند السعة 22:00 بدأت عملية رفع التشكيلة من البئر و في 3 حزيران

عام 1979 عند الساعة 2:45 عندما أصبحت أعمدة الحفر (4 3/4 in) مقابل مانع الاندفاع و تم تثبيت الجزء العلوي من أعمدة الحفر على المنضدة الرحوية بواسطة slips بدأ الغاز و النفط بالاندفاع من البئر قاموا العمال بإغلاق مانع الاندفاع القاص من أجل إغلاق البئر المندفعة و لكنه لم يتمكن من قص سماكة الجدار الكبيرة لأعمدة الحفر و بالتالي تفاقم المشكلة و تحولها إلى كارثة، بعدها تم إعطاء أمر للعاملين على المنصة بإخلاء المنصة التي تركت تواجه مصيرها المحتم و هو الاحتراق و الانهيار، تم إخلاء 70 عامل و لم تحدث أي إصابات و بعد حوالي 10 إلى 15 دقيقة من الاندفاع اشتعل السائل المندفع نتيجة حصوله على شرارة من المحركات العاملة على المنصة.

استمر تدفق النفط و الغاز إلى مياه الخليج تسعة أشهر و 22 يوم خلال هذه الفترة تم القيام بعمليات عديدة من أجل السيطرة على البئر ثم تم السيطرة على البئر في نهاية المطاف.

قدرت كمية النفط المتسربة إلى مياه المحيط بحدود 3،333 مليون برميل و اعتبرت هذه الحادثة من أسوأ حوادث تسرب النفط إلى المياه في العالم.

الفصل الثاني

مؤشرات حصول الركلة (Kick)

مقدمة:

إن ملاحظة مؤشرات حدوث الركلة من الأمور الهامة التي تساهم في معالجة أسباب حدوثها بالتالي تحديد أسلوب المعالجة لمنع حدوث الاندفاع (blowout)، ويمكن أن نميز نوعين من المؤشرات:

- مؤشرات مبكرة.
- مؤشرات الركلة الإيجابية.

2-1- مؤشرات حصول الركلة المبكرة:

إن ملاحظة مؤشرات حصول الكيك أثناء الحفر أو أثناء الرفع و الإنزال، يعتبر أمراً بالغ الأهمية بالنسبة لأمن البئر و يساهم بشكل كبير من معالجة هذه المؤشرات، و معرفة أسباب حدوثها، بالتالي اتخاذ الإجراءات التكنولوجية لمعالجة هذه المؤشرات و إبقاء البئر تحت السيطرة و منع حصول تدفق الموائع الطبقية باتجاه السطح، و تلافي إغلاق البئر.

إن الإشارات المتعددة التي تم تسجيلها كمؤشرات تحذير مبكرة ليست ثابتة في جميع الحالات، لكن من الممكن أن يتم استعمال هذه المؤشرات بشكل إجمالي كمؤشر واحد و الذي قد لا يوفر بشكل دقيق تحذير الدخول إلى حالة الحفر تحت التوازن(الحصول على حالة الحفر تحت التوازن).

على الرغم من أن سلسلة الإشارات قد تتغير بين الآبار، لكن مؤشرات حصول الاندفاع المبكرة يمكن تصنيفها كما يلي:

1- الزيادة في معدل الاختراق.

2- زيادة عزم الدوران و جهد الشد

3- الانخفاض في كثافة الغضار.

4- تغيرات خواص سائل الحفر.

5- الزيادة في حجم و شكل القتاتات المحفورة.

6- زيادة الأجسام المعدنية و الغاز القادم من الوصلات.

7- زيادة درجة حرارة سائل الحفر الراجع.

8- الانخفاض في قيمة العامل D-Exponent.

2-1-1- الزيادة في معدل الاختراق:

عند الحفر باستعمال معدل حفر ثابت، في حال استهلاك رأس الحفر يتم ملاحظة ميل طبيعي لانخفاض معدل الحفر و هذا الأمر الواجب حصوله، في حال انخفاض فرق الضغط التفاضلي بين ضغط سائل الحفر الهيدروستاتيكي و الضغط الطبقي، فإن الزيادة في معدل الاختراق تحصل في حال تقليل تأثير سحب الفتاتات إلى الأسفل، و زيادة القوة التي تعمل على رفع الفتاتات إلى الأعلى.

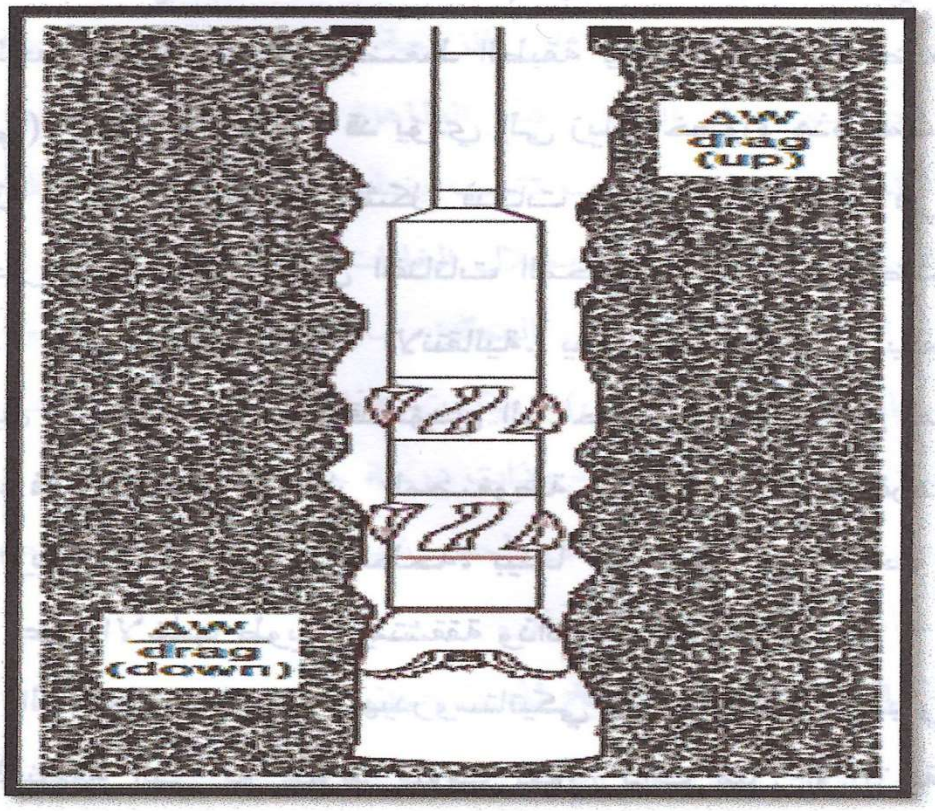
إن الزيادة الإجمالية و الثابتة في معدل الاختراق هي عادة مؤشر مؤكد على الوصول إلى منطقة انتقالية و قد تم اختراقها، و أن الزيادة في معدل الاختراق قد تعني أنه تم الدخول في طبقة تتمتع بضغط فوق الطبيعي و بالتالي الوصول إلى حالة الحفر تحت التوازن (الضغط الطبقي أكبر من ضغط عمود سائل الحفر) أي دخول كميات من الموائع الطبقية (نفط ، غاز) إلى داخل البئر تساعد في عملية رفع الفتاتات.

2-1-2- زيادة العزم و الشدة:

عادة يتم ملاحظة الزيادة في جهد الشد و عزم الدوران عند الحفر ضمن الطبقات الغضارية في حالة الضغط الزائد بسبب عدم قدرة ضغط عمود سائل الحفر على منع طبقات الغضار من الانتفاخ باتجاه البئر.

كلا جهد الشد و عزم الوران ليسا مؤشرين مباشرين و مؤشرين نوعيين على الضغط الزائد، و هما أيضاً مؤشرين على عدم الاستقرار و مشاكل ميكانيكية أخرى، و كلاهما يميلان عادة كدلالة على وصول الحفر إلى منطقة انتقالية، يجب تسجيل مخططات عزم الشد نحو الأسفل و عزم الشد نحو الأعلى بالإضافة إلى العزم الوسطي عند كل وصلة، هذه

الميول أو النزعات تكون ذات قيمة هامة عند القيام بمقارنة مع تغيرات النزعات أو الميول الأخرى.



شكل (2-1)

2-1-3- الانخفاض في كثافة الغضار:

بشكل طبيعي، فإن كثافة الغضار تزداد مع العمق لكن تنخفض الكثافة عند حفر الطبقات ذات الضغط فوق الضغط الطبيعي، بمكن تحديد كثافة الفتاتات المحفورة على السطح و بالتالي الحصول منها على مخطط الكثافة بالعلاقة مع العمق، يمكن إنشاء خط ميل طبيعي و التقسيمات سوف تشير إلى التغيرات في ضغط المسامات.

2-1-4- الزيادة في حجم الفتاتات المحفورة و شكلها:

عند حفر الطبقات الانتقالية أو طبقات الغضار ذات الضغط فوق الضغط الطبيعي (طبقات الغضار الرملي و التداخلات الرملية) فإن الغضار ينهار و يسقط ضمن البئر بسبب حالة الحفر تحت التوازن (ضغط الطبقة يكون أكبر من ضغط سائل الحفر

الهيدروستاتيكي)، إن التبلل بالماء قد يؤدي زيادة خطورة هذه المشكلة لاحقاً.

يمكن الحصول على التغيرات في شكل فتاتات الغضار المحفورة في حال الحصول على حالة الحفر تحت التوازن، إن الفتاتات المحفورة عادة تكون أضخم و من الممكن أن تكون حادة و زاوية في المنطقة الانتقالية. يتزامن ملء القاع بالفتاتات مع تغير الميل، إن الميل أو النزعة الشديدة قد تؤدي إلى حصول تغيرات في علاقة الضغط.

بشكل طبيعي، فإن طبقات الغضار المضغوطة ينتج عنها عند حفرها فتاتات صغيرة و حواف مدورة و بشكل عام تكون مسطحة، بينما عند حفر طبقة ذات ضغط زائد فإن الفتاتات تكون على الأغلب طويلة و متشققة و ذات حواف حادة.

بينما ينخفض الضغط التفاضلي الهيدروستاتيكي بين الضغط الطبقي و ضغط سائل الحفر، فإن المنطقة التي تم حفرها سوف تكون ذات ميل أو نزعة أكبر للانهيار و السقوط على القاع.

من الممكن أن يؤدي هذا الأمر إلى تمدد الغضار مسبباً بالتالي تصدع جدران البئر، يجب مراقبة التغيرات في شكل الفتاتات المحفورة و حمولة الفتاتات المحفورة فوق المناخل الهزازة على السطح.

2-1-5- تغيرات خواص سائل الحفر:

إن زيادة الماء أو الكلوريد (أو أحياناً الكالسيوم) ضمن سائل الحفر الذي يتم تدويره من الأسفل عادة تشير إلى أن مائع الطبقة قد دخل البئر إن الزيادة الطفيفة للكلوريد أو الكالسيوم يمكن أن تكون دليلاً على دخول المياه الطبقية (إذا لم يكن هناك طبقة ملحية أو تداخلات ملحية).

في أنواع محددة من سائل الحفر، فإن اللزوجة شوف تزداد عند دخول الماء المالح إلى البئر و امتزاجه مع سائل الحفر. هذه الظاهرة تسمى بالدمج، بدءاً من مجموعات صغيرة تسمى الشوائب. هذه الشوائب تتسبب بزيادة اللزوجة و القدرة على التهلم، ويمكن أن ترتفع

لزوجة سائل الحفر بسبب انحلال الغازات فيه.

في أنواع سائل الحفر الأخرى، من الممكن ملاحظة انخفاض لزوجة سائل الحفر الناتجة عن المياه (انخفاض الوزن)، و يكون هذا الأمر حقيقياً عند استخدام سوائل حفر ذات أساس مائي مشبعة بالملح و ذات درجة حموضة قليلة.

و يحدث انخفاض الوزن النوعي لسائل الحفر نتيجة دخول الموائع الطبقية، مما يؤدي إلى انخفاض معامل الطفو لسائل الحفر.

2-1-6- انخفاض ضغط الضخ للمضخات:

انخفاض ضغط الضخ حتى مع زيادة تردد المضخات بسبب انخفاض الوزن النوعي لسائل الحفر في الفراغ الحلقي، عند حدوث رفسة البئر فإن الموائع المختلفة كالماء الطبقي المالح و النفط و الغاز تدخل إلى حفرة البئر و تختلط مع سائل الحفر الموجود في البئر. هذا الاختلاط ينتج عنه سائل جديد بلزوجة و كثافة أقل، مما يؤدي إلى انخفاض الضغط الضائع بالجريان في الفراغ الحلقي. الضغط الضائع الكلي أثناء جريان السائل يبدو على السطح الآن أقل مما هو عليه قبل رفسة البئر. تناقص ضغط التدوير واضح جداً عندما يدخل الغاز إلى حفرة البئر، حيث يتمتع الغاز بكثافة أقل من كثافة سائل الحفر. عندما تدخل الموائع الأخف إلى حفر البئر فإن ضغط التدوير يتناقص بسبب تأثير ظاهرة U-tubing الناتجة عن فروق الكثافة بين سائل الحفر الثقيل داخل مجموعة مواسير الحفر و الموائع الأخف في الفراغ الحلقي، تناقص ضغط الضخ يترافق أيضاً مع تزايد سرعة الضخ، حيث أن نفس استطاعة المضخات المتوفرة تستخدم لتدوير نفس الحجم من السائل المقابل للتناقص في ضيافات الضغط بالجريان. من الواضح إذن أن هذا المؤشر لرفسة البئر سوف يؤدي إلى الاندفاع إذا توقف الضخ.

2-1-7- زيادة الغاز القادم من الطبقة في سائل الحفر:

يجب مراقبة سائل الحفر الراجع من أجل التلوث بموائع الطبقة. يتم إجراء هذا الأمر بتسجيل مستمر لكثافة سائل الحفر الراجع و المراقبة الدقيقة لمستويات الغاز في سائل الحفر الراجع.

الغاز الداخل إلى سائل الحفر بذاته يشير إلى أن البئر تتدفق (ربما قد يدخل الغاز ضمن الفتاتات المحفورة). لكن على كل حال، يجب التعامل معه على أساس تحذير مبكر لكيك (ركلة) محتملة.

لذلك يجب مراقبة مستويات الحفرة بحذر في حال تم الكشف عن مستويات غاز هامة ضمن سائل الحفر. الجزء الأساسي من ترجمة مستوى الغاز في سائل الحفر هو فهم شروط دخول الغاز إلى سائل الحفر بالأساس، يمكن أن يدخل الغاز إلى سائل الحفر لسبب أو أكثر من الأسباب التالية:

a) حفر طبقة حاوية على الغاز حتى في حالة الحفر فوق التوازن بشكل كافي.
b) التخفيض التدريجي في الضغط الهيدروستاتيكي لسائل الحفر الناتج عن المسح عند حركة الأنبوب في البئر.
c) الضغط الطبقي الذي يكون ذو قيمة أكبر من ضغط عمود سائل الحفر.

عند حفر طبقات مسامية حاوية على الغاز، فإن كمية محددة من الغاز سوف تدخل ضمن الفتاتات ضمن سائل الحفر الراجع، الغاز الداخل إلى سائل الحفر، ما لم يتم إبقاؤه تحت ضغط أكبر من ضغط الفقاعة الخاص به إلا في المحاليل ذات الأساس النفطي فإنه سوف يتمدد بمجرد إجراء عملية الدوران لسائل الحفر الحاوي على الغاز، مسبباً دخول الغاز إلى الفتاتات المحفورة ضمن التدفق.

سوف يحصل تأثير الغاز الداخل إلى الفتاتات المحفورة بسبب هذه الآلية، حتى في حال حفر الطبقة بطريقة الحفر تحت التوازن، حيث أن زيادة الوزن النوعي لسائل الحفر لن

تمنع حدوث هذا التأثير.

يجب ملاحظة أن الغاز المحفور سوف يكون دليلاً فقط في الوقت المأخوذ لإجراء دوران لرفع الفتاتات المحفورة من الطبقة.

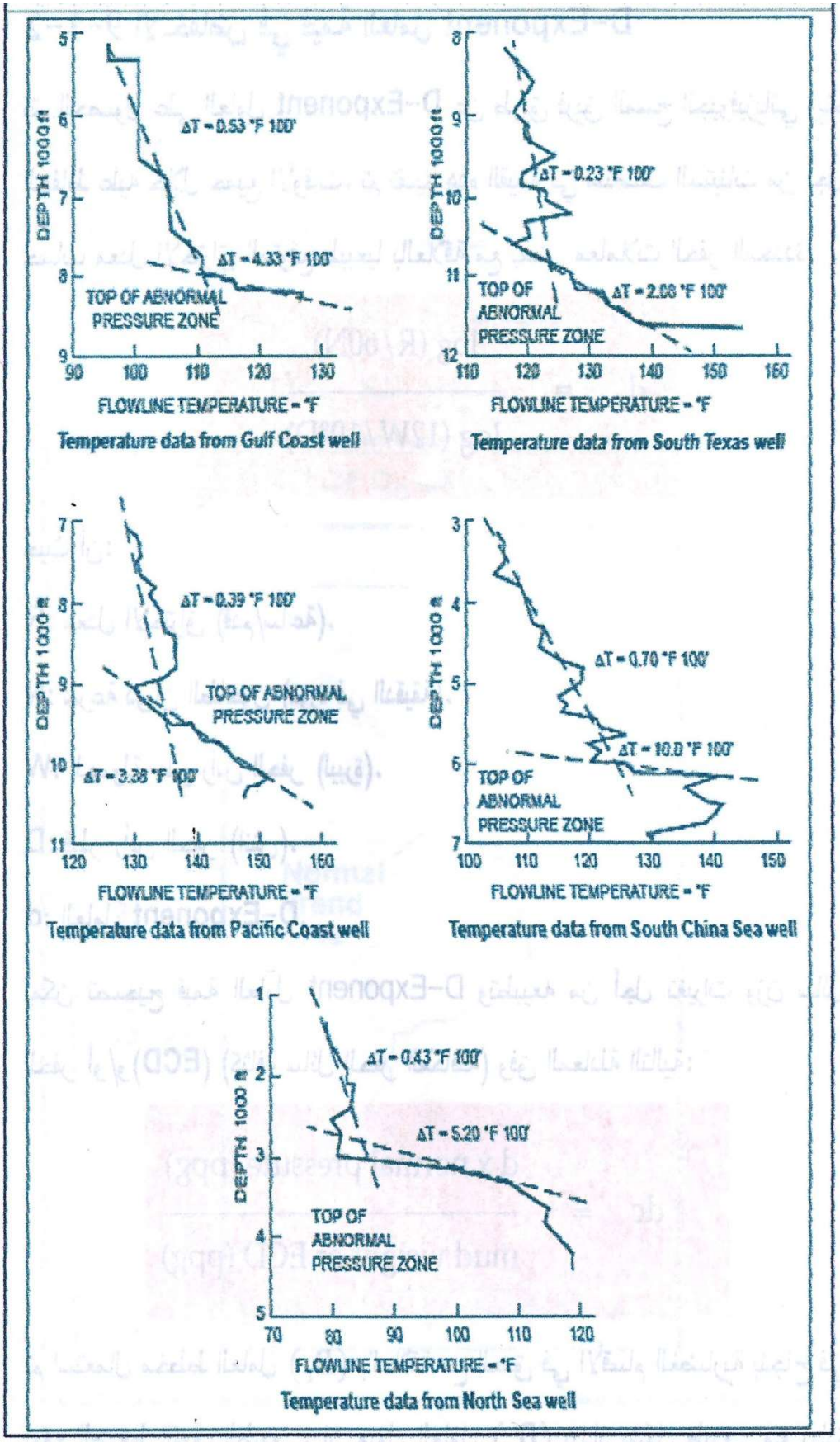
2-1-8- التغيرات في درجة حرارة سائل الحفر الراجع:

سوف تأخذ درجة الحرارة زيادة حادة بشكل طبيعي في المنطقة الانتقالية، معدل الدوران الزمن المنقضي منذ بداية الرفع و الإنزال، حجم سائل الحفر سوف تؤثر كلها على ميول درجة حرارة سائل الحفر الراجع.

إن تدرج درجة الحرارة في الطبقات ذات الضغط فوق الضغط الطبيعي يكون بشكل طبيعي أكبر من الطبقات الطبيعية، ينخفض تدرج درجة الحرارة قبل اختراق منطقة التقاطع، و لذلك يتم الحصول على الاختلافات التي يتم تعليمها و التي يمكنها أن تعطي مؤشرات مبكرة على الضغوط الفوق الطبيعية.

هذا الإجراء يكون عادة عبارة عن عملية قياس على السطح، حيث يكون مائلاً للتأثر بالعوامل العاملة.

الشكل (2-2) يوضح العلاقة بين تزايد درجة الحرارة مع اختراق الطبقة ذات ضغط فوق ضغط طبيعي.



الشكل (2-2) معطيات درجة حرارة تدفق سائل الحفر

2-1-9- الانخفاض في قيمة العامل D-Exponent:

يتم الحصول على العامل D-Exponent عن طريق فريق المسح الجيوفيزيائي و يتم الحفاظ عليه خلال جميع الأوقات، تم تقديم هذه القيمة في منتصف الستينات من أجل حساب معدل الاختراق المتوقع طبيعياً بالعلاقة مع بعض معاملات الحفر المحددة.

$$d = \frac{\log\left(\frac{R}{60N}\right)}{\log\left(\frac{12W}{10^6 D}\right)} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}1\text{-}9)$$

حيث أن:

R: معدل الاختراق (قدم / ساعة)

N: سرعة دوران الطاحون (دورة في الدقيقة)

W: الحمولة على رأس الحفر (ليبرة)

D: قطر رأس الحفر (انش)

d: العامل D-Exponent

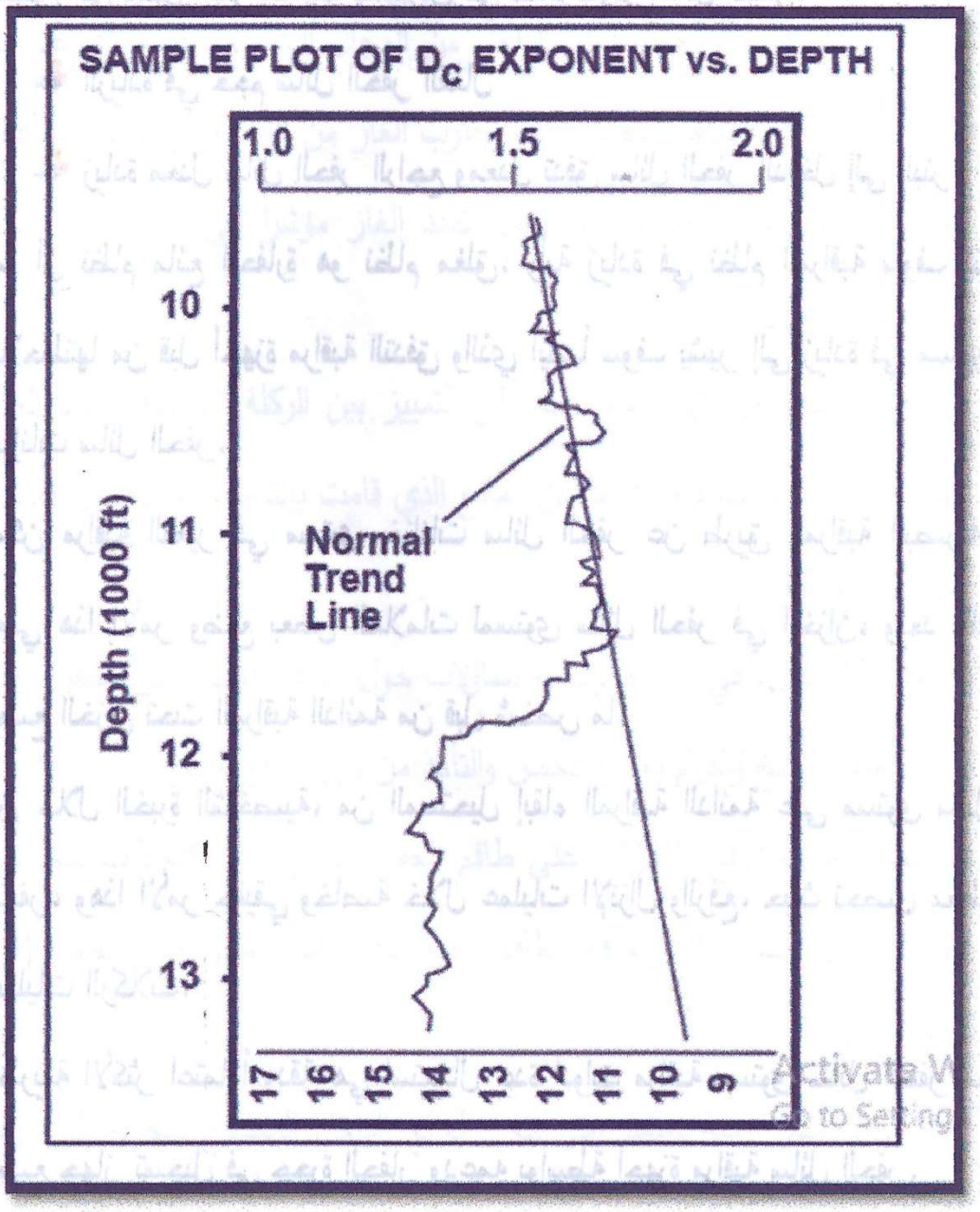
يمكن تصحيح قيمة العامل D-Exponent و تطبيعه من أجل تغيرات وزن سائل الحفر أو (ECD) (كثافة سائل الحفر المكافئة) وفق المعادلة التالية:

$$dc = \frac{d \times normal\ pressure\ (\ ppg\ )}{mid\ weight\ or\ ECD\ (\ ppg\ )}$$

تم استعمال مخطط العامل D_c بالعلاقة مع العمق في الأقسام الغضارية بنجاح في توقع الضغط الفوق الطبيعي، إن ميول العامل D_c تزداد بشكل طبيعي مع زيادة العمق، لكن في المناطق الانتقالية، فإن قيمتها تنخفض إلى قيم أقل من القيم المتوقعة.

إن الشركات الخاصة بمراقبة و تسجيل مواصفات سائل الحفر تمتلك نماذج أو متغيرات و التي تحاول الوصول إلى الحالة الطبيعية من أجل المعاملات الأخرى (مثل مقدار الحمولة على رأس الحفر، و الإجهاد على رأس الحفر، و صلابة الصخر).

توضيح لمخطط المعامل (D_c) موضح في الشكل (2-3).



الشكل(2-3)

2-2- مؤشرات الركلة الإيجابية:

تحصل الركلة عندما يكون الضغط الهيدروستاتيكي لعمود سائل الحفر ضمن البئر أقل من الضغط الهيدروستاتيكي للطبقة، إن الركلة هي مؤشر إيجابي على أن مائع الطبقة يدخل البئر و ثانياً يجب البدء بالتحكم بالبئر.

2-2-1- تمييز الركلة خلال عملية الحفر:

التدفق إلى داخل البئر يتسبب بتغييرين في نظام تدوير سائل الحفر:

- الزيادة في حجم سائل الحفر الفعال.
- زيادة معدل سائل الحفر الراجع و معدل تدفق سائل الحفر الداخل إلى البئر.

بما أن نظام مائع الحفارة هو نظام مغلق، و أية زيادة في نظام المراقبة سوف تتم ملاحظتها من قبل أجهزة مراقبة التدفق و الذي أيضاً سوف يشير إلى زيادة في مستوى خزانات سائل الحفر.

يمكن مراقبة التغير في مستوى خزانات سائل الحفر عن طريق المراقبة البصرية، يعني هذا الأمر وضع بعض العلامات لمستوى سائل الحفر في الخزان، و بعد ذلك وضع الخزان تحت المراقبة الدائمة من قبل شخص ما.

من خلال الخبرة الشخصية، من المستحيل إبقاء المراقبة الدائمة على مستوى سائل الحفر، و هذا الأمر حقيقي و خاصة خلال عمليات الإنزال و الرفع، حيث تحصل معظم عمليات الركلات.

الطريقة الأكثر اعتماداً و دقة هي استعمال عدة أدوات مراقبة مستوى سائل الحفر مع وضع جهاز تسجيل في حجرة الحفار و دعمه بواسطة أجهزة مراقبة سائل الحفر.

هذه العملية تسمح بمراقبة ثابتة لمستوى سائل الحفر من قبل الحفار، خلال عمليتي الرفع و الإنزال و الحفر، التواصل الجيد بين طاقم العمل أمر أساسي على الحفارة، يجب على الحفارين أن ينسقوا مع الطاقم الميكانيكي في حال قام الطاقم الميكانيكي بعمل أية تغييرات لمستوى سائل الحفر في الحفرة.

في حال قام الطاقم الميكانيكي بإضافة حجم إلى سائل الحفر، يجب عليهم أيضاً إخبار الحفار عندما يتوقفون عن إضافة الحجم.

عند حفر طبقة حاوية على الغاز، سوف يتم ملاحظة زيادة قليلة في مستوى سائل الحفر

في البئر، بسبب حجم الغاز الداخل من المجال الذي تم حفره. لكن على كل حال فإن هذه الحالة سوف تحصل عندما يقترب الغاز من السطح، و بسبب تمدد الغاز الذي يتم حفره و ليس بالضرورة أن يكون تمدد الغاز مؤشراً إلى أن البئر في حالة الحفر تحت التوازن.

زمن زيادة الحجم في البئر عامل مهم في التمييز بين الركلة الحقيقية و تمدد الغاز. و أيضاً فإن البئر سوف تأخذ قسماً من المائع الذي قامت بإنتاجه، بعد وصول فقاعات الغاز إلى السطح.

لكن على كل حال، في حال وجود أية تساؤلات حول أسباب إجهاد رأس الحفر، يجب إيقاف عملية الضخ و القيام بعملية فحص و التأكد من وجود تدفق للبئر.

عند القيام بعميلة الرفع و الإنزال، على طاقم الحفر التمييز بين ركلة ذات الحجم (5) براميل أو أقل، خلال الحفر، فإن طاقم الحفر قادر على تمييز ركلة بحجم (10) براميل أو أقل.

إن حجم أو شدة الركلة يعتمد على حجم المائع الداخل المسموح بدخوله إلى البئر، و الذي يعتمد على درجة الحالة تحت التوازن، نفوذية الطبقة، و الزمن اللازم لطاقم البئر لمعرفة بأن البئر سوف تقوم بحالة الركل.

2-2-2- تمييز الركلة خلال عمليات الرفع و الإنزال لتشكيلة الحفر:

إن التدفق إلى داخل البئر يتسبب بملء البئر بشكل غير مناسب، في حال حصول هذا الأمر يجب القيام بعملية مراقبة للتدفق.

- ❖ في حال كون اختبار التدفق إيجابياً، في تلك الحالة يجب إغلاق البئر.
- ❖ في حال كون اختبار التدفق سلبياً، فإن تشكيلة الحفر يجب أن يتم إنزالها إلى الأسفل من أجل إجراء عملية الدوران في القاع.

الخزانات التي تستعمل أثناء عمليات الرفع و الإنزال تعتبر الطريقة الأكثر أماناً و اعتماداً لمراقبة حجم سائل الحفر خلال الرفع و الإنزال، ينصح بملء مستمر للبئر عند القيام

بعمليات الرفع و الإنزال.

عند القيام بعمليات الرفع و الإنزال ضمن البئر، يجب استعمال خزانات الرفع و الإنزال من أجل ضمان أن تأخذ كمية سائل الحفر المزاحة الصحيحة مكانها.

حركة الحفارة مع اهتزاز جهاز الحفر يجعلان من الصعب تمييز مؤشرات الركلة خلال القيام بعمليات الحفر أو الإنزال و الرفع، من أجل هذه الأسباب فإنه يتم تركيب أجهزة مراقبة حجم المائع الإضافي في خزانات سائل الحفر من أجل تعويض الحجم الناقص الناتج عن حركة الحفارة.

ينصح من أجل وحدات الحفر التي تتعرض للاهتزاز بإجراء اختبارات للتدفق على خزانات الإنزال والرفع، مع تشغيل مضخة ملء سائل الحفر من أجل إلغاء أية حركة ممكنة للحفارة.

2-2-3- سلوك الركلة: مقارنة بين سوائل الحفر ذات الأساس النفطي و المائي:

بسبب درجة الحرارة و الضغط العاليين، فإن ركلة صغيرة يمكن أن تتسبب بمشكلة في التحكم بالبئر عند التعامل مع السوائل ذات الأساس النفطي، محاليل الغاز يكنها أن تذاب و تصبح قابلة للامتزاج، السبب وراء هذا الأمر هو أن الغاز يبقى محلولاً حتى الوصول إلى نقطة الفقاعة، بنفس الطريقة التي يتم بها إحراق الغاز في الشعلة يبقى قسم من الغاز في حالته السائلة حتى تخفيض الضغط.

بسبب انحلالية أنواع محددة من الغازات في أنواع محددة من سوائل الحفر، الميثان ينحل في سوائل الحفر ذات الأساس النفطي، و غاز كبريتيد الهيدروجين ينحل في السوائل ذات الأساس المائي.

هذه الحقائق تجعل الأمر صعوبة لاكتشاف الركلة، التعويض الكبير من الغاز الداخل إلى البئر قد يقوم بتغيير مستوى السائل في البئر بشكل قليل في حال انحلال الغاز في سائل الحفر، و بعد ذلك يتم تدوير التعويض ضمن عمود سائل الحفر، حتى انخفاض الضغط

الهيدروستاتيكي عند أعلى مستوى للغاز إلى نقطة محددة بعد ذلك و عند الوصول إلى نقطة الفقاعة يبدأ الغاز بالانفصال عن السائل.

الكشف عن الركلة عن طريق ملاحظة خط التدفق يمكن أن يكون صعباً جداً حتى عندما تكون الركلة قريبة جداً من السطح و تتوسع بسرعة بشكل أكثر.

في الشكل (2-4-a) ثلاثة براميل من سائل الحفر قد دخلت إلى الطبقة عند عمق (10،000) قدم لكن لا نلاحظ أي زيادة في البئر خلال الحفر حتى القيام بعملية تدوير للغاز إلى عمق (2600) قدم، حيث يتمدد الغاز بسرعة و يوجد في هذه الحالة خطر حقيقي من الاندفاع حيث تندفع كمية كافية من سائل الحفر لتجعل البئر بأكملها في حالة الحفر تحت التوازن.

هذه المشكلة أسهل اكتشافاً في حالة سوائل الحفر ذات الأساس المائي، بسبب أن الحجم الأصلي للغاز سوف يتمدد بشكل أكبر من الحالة السابقة عند انخفاض الضغط أنظر انظر الشكل (2-4-b).

المشكلة عند استخدام سوائل الحفر ذات الأساس النفطي هي أنه عندما تحصل الركلة و تدخل إلى البئر فإنه من المستحيل معرفة أعلى مستوى للغاز، تحت هذه الشروط من الحكمة القيام بإيقاف عملية الحفر، و إيقاف المضخات و إيقاف عمل البئر.

يمكن بعد ذلك تدوير الغاز ضمن الصمام الخانق بطريقة آمنة باستخدام التدوير الأولي لطريقة الحفار، بعض الخبراء ينصحون بأنه يجب تدوير الغاز عند عمق (2500) قدم. تشغيل مانع الاندفاع قبل إغلاق البئر و تدوير الغاز عبر الصمام، لربما تكون الحالة حيث تكون نقطة الفقاعة عند قيمة أقل إلا في حال كانت الطبقة معروفة، حتى مع ذلك فإن الإجراء الأولي قد يأخذ وقتاً أطول.

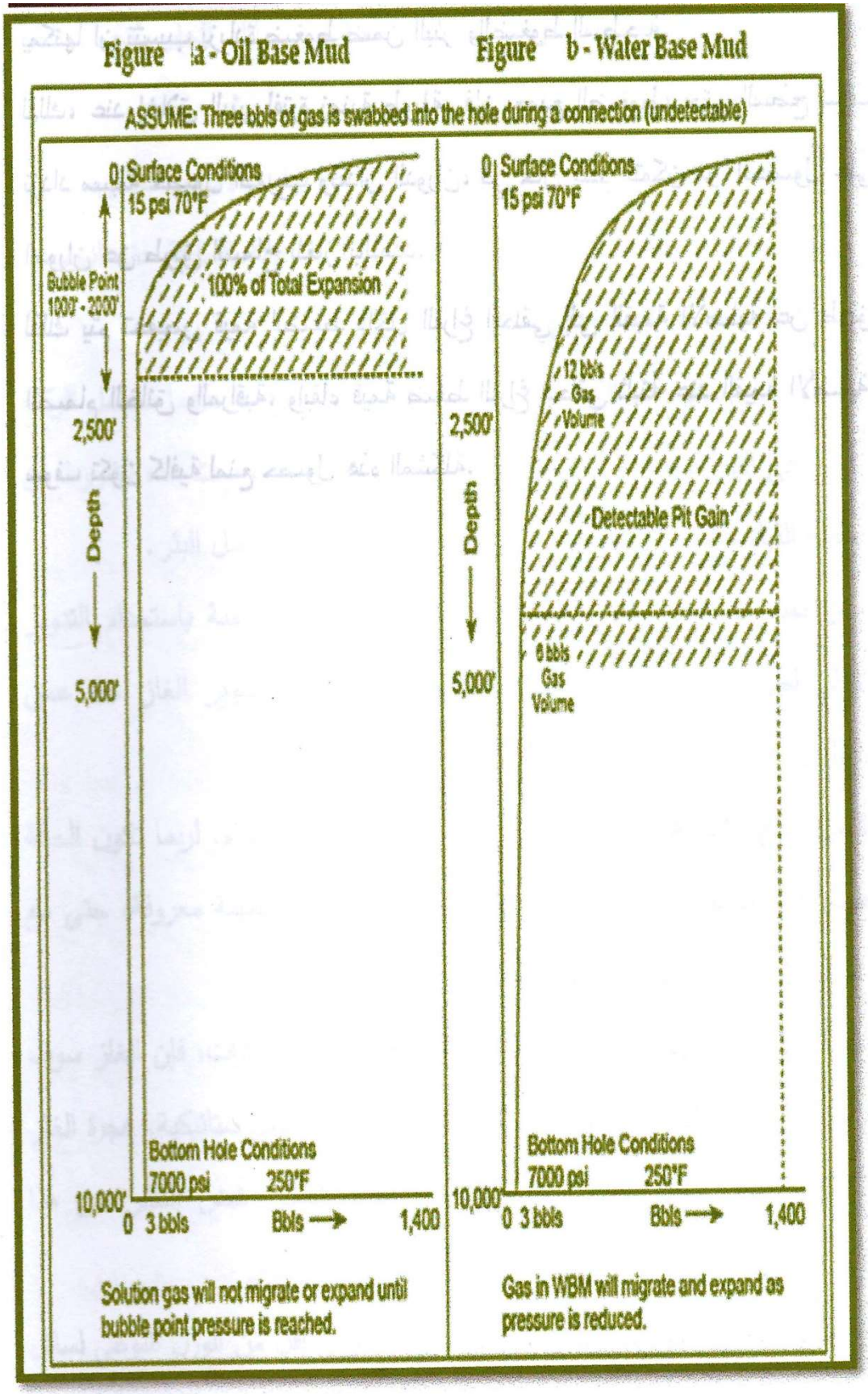
عندما يتم إغلاق البئر في حال حصول الركلة الحاوية على غازات، فإن الغاز سوف يهاجر إلى أعلى البئر حتى ولو لم يكن مسموحاً للبئر أن تبقى ستاتيكي، هجرة الغاز

يمكن أن تسبب تعقيداً خلال عملية التحكم، حيث لا يمكن غض النظر عن هذا الأمر.

إن فقاعات الغاز تطفوا إلى أعلى البئر لأن وزنها النوعي أقل من الوزن النوعي لسائل الحفر، عندما ترتفع فقاعات الغاز فإنها تتمدد أو في حال عدم السماح لها بالتمدد يمكنها أن تتسبب بزيادة ضغوط ضمن البئر و الضغوط السطحية.

لذلك، عند إغلاق البئر لفترة زمنية طويلة، فإن جميع الضغوط، حتى السطح سوف تزداد مسببة حصول التهريب و فقدان الدوران، في حال عدم التمكن من الحصول على الدوران عن طريق السماح للغاز بالتمدد.

لذلك يتم تخفيض قيمة الضغط داخل الفراغ الحلقي إلى القيمة الأصلية عن طريق الصمام الخانق و المراقبة، و إبقاء قيمة ضغط الفراغ الحلقي ثابتة عند القيمة الأصلية، سوف تكون كافية لمنع حصول هذه المشكلة.


Figure a - Oil Base Mud
Figure b - Water Base Mud
ASSUME: Three bbls of gas is swabbed into the hole during a connection (undetectable)
0
Surface Conditions
15 psi 70°F
Bubble Point
1000' - 2000'
100% of Total Expansion
2,500'
Depth
5,000'
Bottom Hole Conditions
7000 psi 250°F
10,000'
0 3 bbls
Bbls
1,400
Solution gas will not migrate or expand until bubble point pressure is reached.
0
Surface Conditions
15 psi 70°F
12 bbls
Gas
Volume
2,500'
Depth
Detectable Pit Gain
6 bbls
Gas
Volume
5,000'
Bottom Hole Conditions
7000 psi 250°F
10,000'
0 3 bbls
Bbls
1,400
Gas in WBM will migrate and expand as pressure is reduced.

الشكل (2-4)

الفصل الثالث

أجهزة و منظومة موانع الاندفاع (BOP)

3-1- معدات و تجهيزات فوهة البئر:

تعتبر عملية تجهيز فوهة البئر من العمليات الحيوية و الأساسية بالنسبة لحياة البئر النفطية أو الغازية منذ بداية عمليات الحفر و حتى الانتهاء منه و تشكل جزءاً أساسياً من هيكل بناء البئر و تتألف معدات فوهة البئر مما يلي:

1. رأسيات مواسير التغليف بعدد يساوي مراحل التغليف.
2. موانع الاندفاع (أفقية – عمودية).
3. صمامات هيدروليكية و ميكانيكية
4. مجموعة التحكم بموانع الاندفاع.
5. خطوط التوصيل.

و يجب أن تتمتع هذه المعدات بالمواصفات التالية:

i. أن يكون ارتفاع مجموعة تجهيزات فوهة البئر أقل ما يمكن.
ii. تطابق قياسات ربط الفلنجات رأسيات مواسير التغليف و موانع الاندفاع.
iii. ضمان جاهزيتها الدائمة للعمل و تحملها لجميع الضغوط المتوقعة أثناء الحفر.
iv. تطابق المواصفات الفنية لمعدات فوهة البئر مع مواصفات مواسير التغليف و قياساتها.

حيث يتمثل الهدف الأساسي من معدات فوهة البئر بربط مراحل التغليف المختلفة من أجل:

a) مراقبة الفراغ الحلقي بين مواسير التغليف و داخل البئر.
b) السيطرة على اندفاع الموائع من البئر عند حدوث مشكلة أثناء عمليات الحفر.

3-2- أجهزة موانع الاندفاع (BOPS):

كما ذكرنا سابقاً أن اندفاع الموائع الطبقية قد تؤدي إلى حوادث خطيرة و إلى تلوث البيئة المحيطة و ضياع كبير في طاقة المكمن و قد تؤذي العاملين في وحدة الحفر بالإضافة

إلى الجهود و التكاليف العالية للسيطرة عليها لذلك تم استخدام أجهزة موانع الاندفاع للسيطرة على الاندفاعات الطبقية و تركب هذه الأجهزة بين فوهة البئر و منصة الحفر بعد تغليف المرحلة السطحية مباشرة.

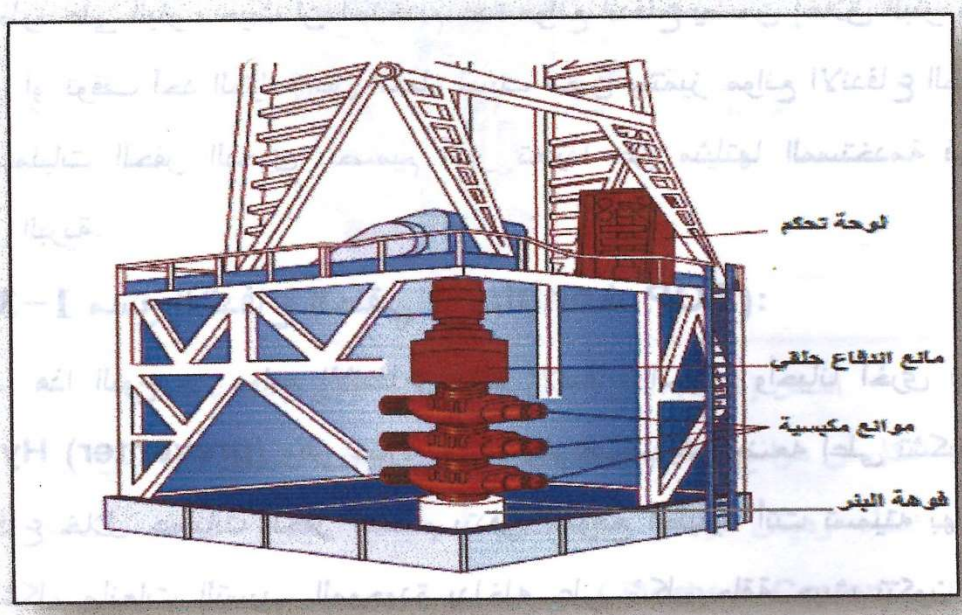
و عليه فإن أجهزة موانع الاندفاع (Blow out Preventers): هي صمامات ضخمة تستخدم مع المعدات و التقنيات الأخرى لإغلاق البئر و السيطرة على الاندفاعات الطبقية كما تسمح لطاقم الحفر بالسيطرة على الرفسات التي قد تحدث (kicks) قبل أن تتحول إلى اندفاعات كارثية.

تستخدم موانع الاندفاع من أجل:

1. تأمين الإغلاق التام و المحكم للبئر لتلافي اندفاع خليط السوائل و الغازات عند انخفاض الضغط الهيدروستاتيكي داخل البئر إلى ما دون الضغط الطبقي.
2. السيطرة و التحكم بالآبار النفطية و الغازية، أثناء عمليات الحفر و اختبار الآبار أو معالجتها.

حيث يجب أن تسمح تصاميم أجهزة موانع الاندفاع بما يلي:

- القيام بعمليات الضخ و إجراء دوران مغلق لسائل الحفر داخل البئر.
- الإغلاق المحكم لفوهة البئر.
- السيطرة على الموائع المتدفقة.
- تحريك و تدوير و سحب مواسير الحفر و توصيلاتها، و مواسير التغليف و أقفالها و يجب أن تتوافق قياسات مانع الاندفاع (قطر فتحته و قطر أجهزة ربطه مع البئر و ضغطه العامل و الضغط العامل لأجهزة التحكم به) مع أقطار الدقاقات و أقطار مواسير الحفر و التغليف.



الشكل (3–1) يوضح مكان تركيب موانع الاندفاع بين فوهة البئر ومنصة الحفر

3–3– أنواع موانع الاندفاع (Blow out Preventer Type):

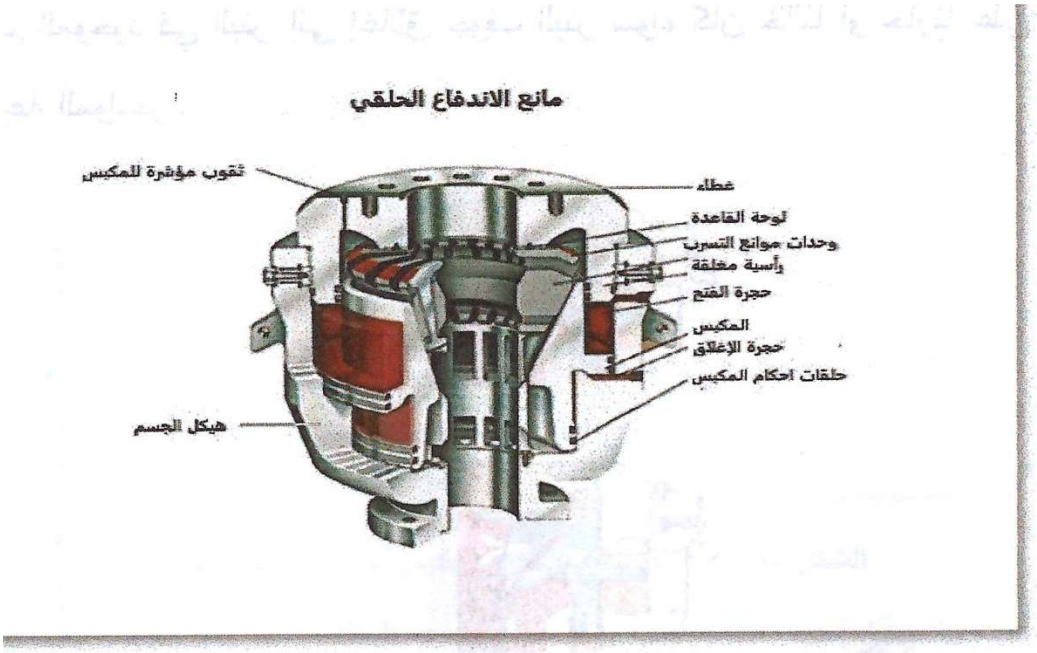
يوجد بشكل عام نوعان من أجهزة موانع الاندفاع المستخدمة في وحدات الحفر هما:

- مانع الاندفاع الحلقي (Annular blow out Preventer).
- مانع الاندفاع المكبسي(Ram blow out Preventer).

حيث أنه لا يتم استخدام نوع واحد من موانع الاندفاع على البئر و يستخدم عادة عدة موانع اندفاع متواضعة فوق بعضها البعض مكونة ما يسمى بتشكيلة موانع الاندفاع (BOP STACK) بحيث توفر المزيد من الأمان و المرونة خلال عمليات التحكم و السيطرة على البئر، حيث أن استخدام عدة موانع اندفاع يضمن إغلاق البئر في حال تعطل أو توقف أحد الموانع عن العمل لسبب معين و تتميز موانع الاندفاع المستخدمة في عمليات الحفر البحري بتصميم أكثر تعقيداً عن مثيلتها المستخدمة في أبراج الحفر البحرية.

3-3-1- مانع الاندفاع الحلقي (BOP Annular):

يعرف هذا النوع من موانع الاندفاع بمانع الاندفاع الحلقي و أحياناً أخرى بالهيدريل (Preventer Hydril) و هو عبارة عن صمام ضخم يتم وضعه أعلى تشكيلة موانع الاندفاع خلال عمليات الحفر للتحكم بتدفق الموائع الطبقية أتت تسميته بهذا الاسم من شكل مانعات التسرب الموجودة بداخله على شكل حلقة حيث تتكون مانعات التسرب في هذا النوع من كتلة حلقية مصنوعة من الكاوتشوك المسلح بقضبان خارجية صلبة تلتف على المحيط الداخلي لمانع الاندفاع.



الشكل (3-2) الأجزاء الرئيسية المكونة لمانع الاندفاع الحلقي

يوضح الشكل أن موانع الاندفاع الحلقية تتكون بشكل أساسي مما يلي:

1. غطاء و هيكل فولاذي ذي شكل أسطواني متدرج الأقطار لمانع الاندفاع الحلقي (Body & Cover).
2. وحدات تسرب مطاطية دائرية تتميز بالمرونة العالية و التصميم المتين حيث تتواضع هذه الحلقات ضمن قنوات محفورة في معدن الجسم (Grooves).

3. مكبس هيدروليكي على شكل مخروط مقطوع (Piston) لضغط مانعات التسرب المطاطية باتجاه السطح الخارجي لمواسير الحفر بإحكام.

3-3-1-1- نظام حركة المكبس عند فتح و إغلاق الموانع الحلقية:

لإغلاق فوهة البئر أو الفراغ الحلقي يتم حقن مائع التشغيل من الجزء السفلي من التجويف تحت المكبس (حجرة الإغلاق) فيتحرك المكبس نحو الأعلى داخل قميص، دافعاً حشوة مرنة (حلقة مطاطية مدعمة بأصابع فولاذية) يؤدي تشوهها والتصاقها بالجسم الموجود في البئر إلى إغلاق جوف البئر سواءً كان خالياً أو حاوياً على عمود مجموعة المواسير.



الشكل(3-3) يوضح وضعية المكبس وإغلاق المانع الحلقي

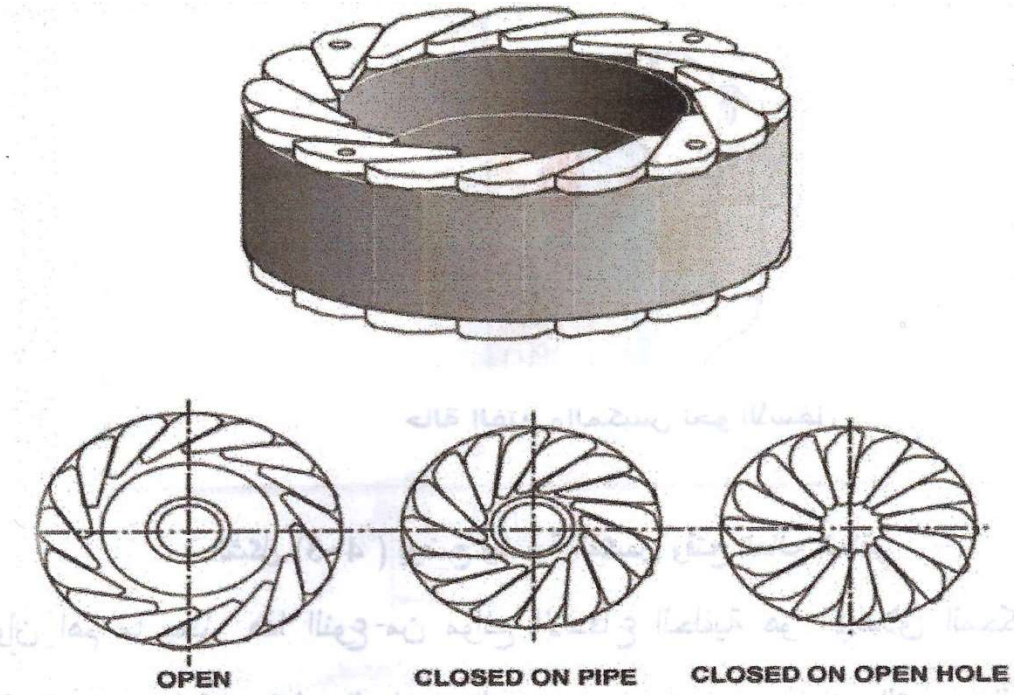
لإعادة فتح فوهة البئر أو الفراغ الحلقي، يتم حقن مائع التشغيل من الجزء العلوي من التجويف فوق المكبس (حجرة الفتح)، مما يؤدي إلى تحريك المكبس باتجاه الأسفل ليعيده إلى وضعه الأولي، و بالتالي تعود الحلقة المطاطية إلى شكلها الأساسي بتأثير

مرونة المطاط و يبين الشكل الآتي وضع المكبس في حالة الفتح:



الشكل (3-4) يوضح وضعية المكبس وفتح المانع الحلقي

و إن أهم ما يميز هذا النوع من موانع الاندفاع الحلقية هو الإغلاق المحكم حول المواسير مهما كان قطر المواسير المستخدم بفضل وجود موانع التسرب المطاطية (Packing elements) بالإضافة لإمكانية رفع و إنزال و تدوير المواسير ضمن البئر (بالرغم من أن الفراغ الحلقي مغلق و مضغوط) على الرغم من أن هذه العمليات تقلل من زمن العمل التصميمي المحدد لمانع الاندفاع، كما يجب تفقد و فحص الحلقات المطاطية بشكل دوري و التأكد من سلامتها و تبديلها عند الحاجة. يوفر مانع الاندفاع الحلقي إغلاق محكم للفراغ الحلقي و ذلك عند الضغوط العالية (2000-5000 psi) و عادة ما يتم إغلاق هذا المانع أولاً كخطوة أولى عند إغلاق البئر.



الشكل (3- 5) يبين كيفية إغلاق موانع التسرب حول المواسير والقاع المفتوحة

3-3-1-2- المواصفات التصميمية لوحدات مانعات التسرب الحلقية:

إن وحدات مانعات التسرب (Packing element) لها عدة أنواع طبقا لضغوط التشغيل و درجات الحرارة التشغيلية حيث نستطيع أن نميز الأنواع التالية:

A. مانعات مصنوعة من المطاط الطبيعي (Natural Rubber): تستخدم هذه المانعات عند استخدام سوائل حفر ذات أساس مائي و عند درجات حرارة تشغيلية تتراوح ما بين $35C^{O}$ إلى $107C^{O}$ تتميز هذه المانعات بالموثوقية العالية و ذات عمر طويل رمزه التعريفي هو R أو بالرمز NR و ذو لون أسود لحافة المطاط.

B. مانعات تسرب نتريل (مصنوعة من المطاط الطبيعي المضاف إليه مواد صنعية) و المعروف باسم (Nitrile rubber) تستخدم هذه المانعات لدى استخدام سوائل حفر ذات أساس نفطي و عند درجات حرارة متراوحة ما بين $7C^{O}$ إلى $88C^{O}$ رمزه التعريفي هو NRP مع لون أحمر عند حافة المطاط.

C. مانعات التسرب النيوبرين (مصنوعة من المطاط الصناعي) تستخدم هذه

المانعات لدى استعمال سوائل ذات أساس نفطي و عند درجات حرارة متراوحة ما بين $35C^{O}$ إلى $77C^{O}$ تتميز هذه المانعات بعمر أطول من مانعات التسرب المصنوعة من المطاط العادي (NR) و ذات مرونة أفضل عند درجات حرارة منخفضة من مانعات (NRP) و الرمز التعريفي لهذه المانعات هو (CR) و ذو لون أخضر عند حافة المطاط.

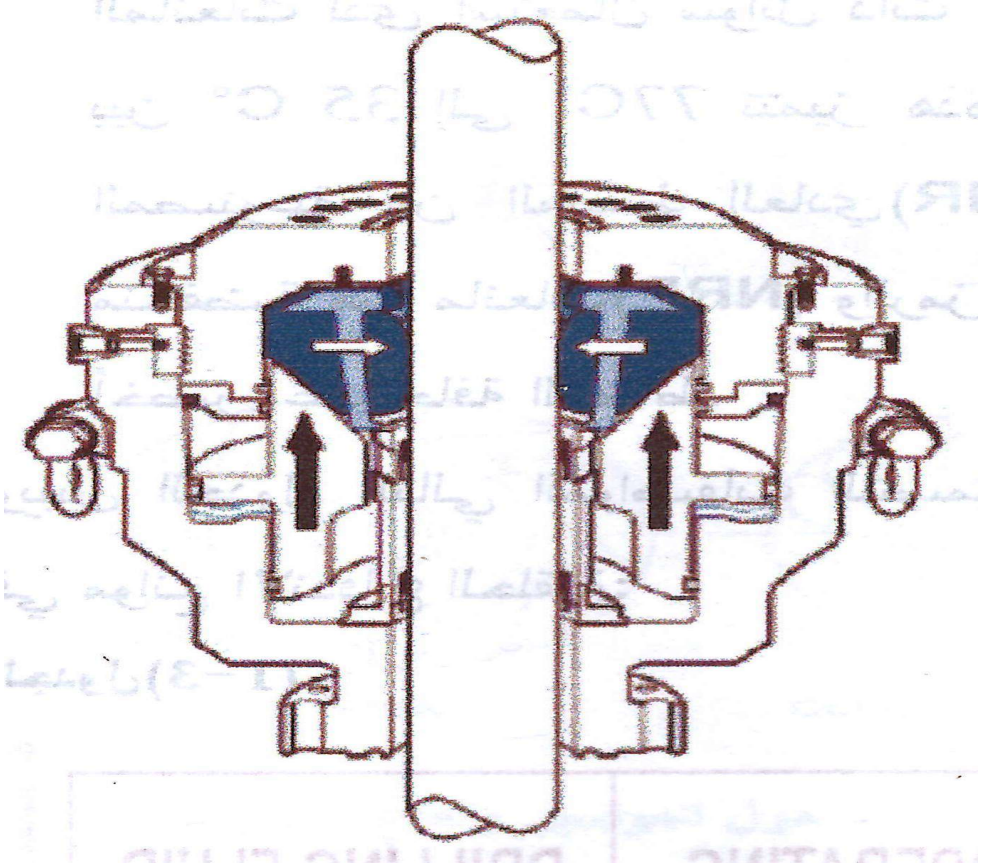
و يبين الجدول التالي المواصفات التصميمية لمانعات التسرب المطاطية المستخدمة في موانع الاندفاع الحلقية:

الجدول(3-1)

PACKING UNIT TYPE	IDENTIFICATION		OPERATING TEMP RANGE	DRILLING FLUID COMPATIBILITY
	Colour	Code		
NATURAL RUBBER	Black	NR	-30°F - 225°F	Waterbase Fluid
NITRILE RUBBER	Red	NBR Band	20°F - 190°F	Oil base/Oil Additive Fluid
NEOPRENE RUBBER	Green Band	CR	-30°F - 170°F	Oil Base Fluid

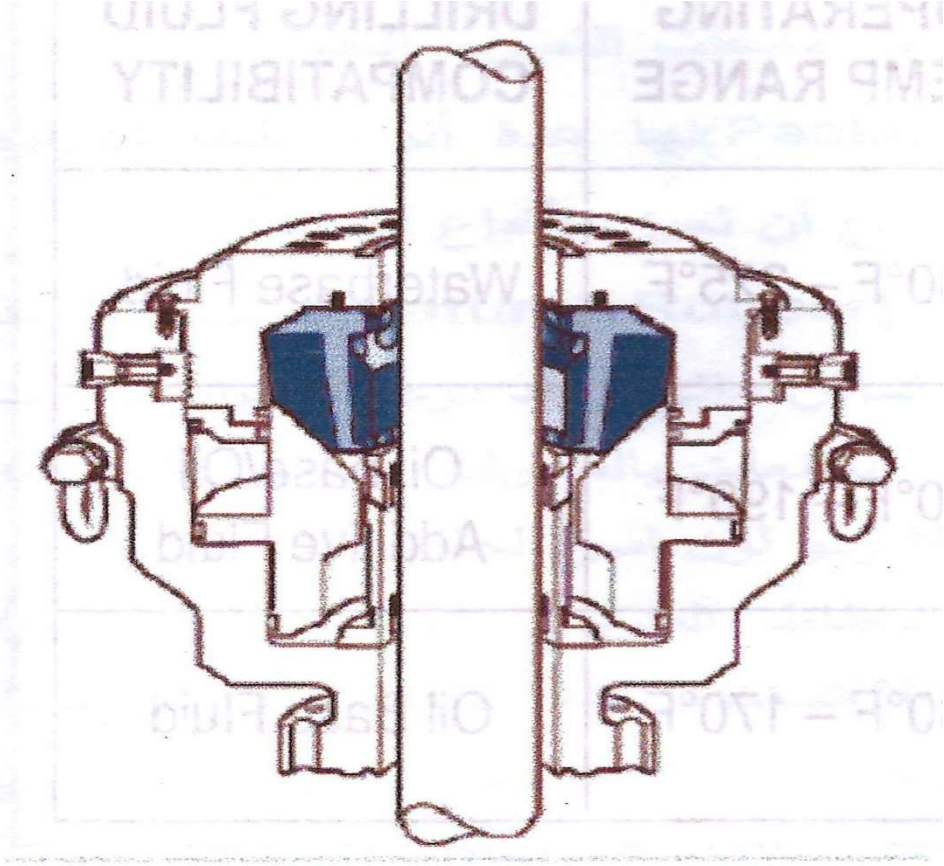
3-3-1-3- آلية إغلاق مانع الاندفاع الحلقي:

- ✓ يتم إغلاق المانع من خلال تطبيق ضغط هيدروليكي ضمن حجرة إغلاق المانع (closing chamber) و هذا بسبب حركة المكبس إلى الأعلى الذي يضغط بدوره على وحدة موانع التسرب المسلحة بقضبان معدنية باتجاه مواسير الحفر و بالتالي إحكام إغلاق الفراغ الحلقي. حيث يتم التحكم بضغط الإغلاق من خلال صمام تحكم خاص بمانع الاندفاع الحلقي.

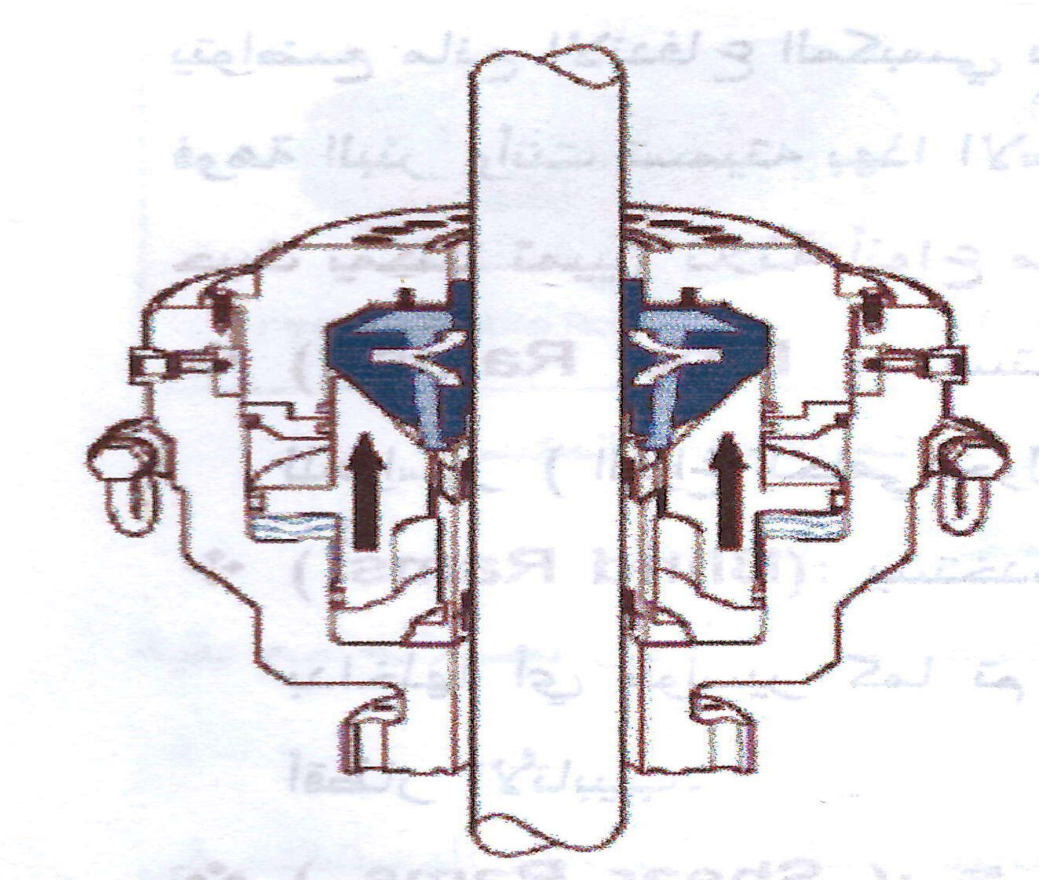


- ✓ يقوم مانع الاندفاع الحلقي بإحكام إغلاق الفراغ الحلقي بين مواسير الحفر و تشكيلة مانع الاندفاع، فخلال عملية الحفر و الأعمال الاعتيادية على البئر يكون مانع الاندفاع الحلقي مفتوحاً من خلال المحافظة على المكبس الضاغط (contractor piston) إلى الأسفل، وبالتالي تكون جميع عناصر البئر متصلة مع بعضها البعض و تدفق موائع الحفر عبر الفراغ الحلقي أعظمي. و تتم المحافظة على وضعية الفتح هذه من خلال تطبيق ضغط هيدروليكي ضمن حجرة

فتح مانع الاندفاع (opening chamber) و هذا بدوره يضمن تحكم جيد بالمكبس خلال الحفر و يقلل من الاجهاد الناتج عن الاهتزاز (الارتجاج).



- ✓ يتم الحفاظ على حالة الانضغاط المطبقة على موانع التسرب على كامل منطقة الإغلاق بحيث تؤمن عملية إغلاق محكمة و متينة من الناحية العملية من أجل أي قياس لقطر مواسير الحفر و وصلات المواسير عند أعلى قيمة لضغط العمل و من خلال تطبيق ضغط ضمن حجرة الفتح يتحرك المكبس إلى الأسفل ليعود إلى وضعية الفتح الكامل للفراغ الحلقي نتيجة عودة الموائع المطاطية لوضعها الأولي و ذلك يعود لخاصية المرونة التي تتمتع بها هذه الموائع المطاطية.



3-3-1-4- مميزات و عيوب موانع الاندفاع الحلقية:

تتميز الموائع الحلقية بالميزات و الإيجابيات التالية:

i. حكم فتحة البئر بغض النظر عن مقاس الماسورة داخل فتحة البئر.

ii. تصميم قوي و متين و لا يحتاج إلى الكثير من أعمال الصيانة.

iii. حجمه صغير يتيح استخدامه مع العديد من أجهزة الحفر.

كما لموانع الاندفاع الحلقية عدد من العيوب و التي من أبرزها:

1. كلما قل مقاس الماسورة داخل البئر كلما قل احكامه حولها.

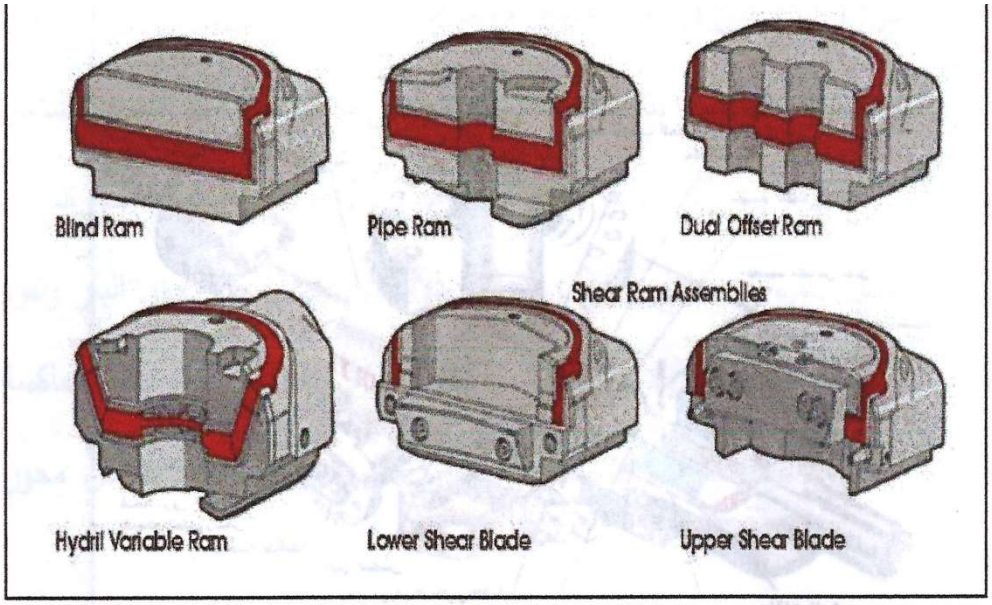
2. مرحلة واحدة فقط من مانع التسريب عند فشلها في العمل يفشل مانع التسريب ككل.

3-3-2- مانع الاندفاع المكبسي (Ram Preventers):

يتوضع مانع الاندفاع المكبسي بشكل أفقي ضمن تشكيلة موانع الاندفاع المركبة على فوهة البئر و أتت تسميته بهذا الاسم نتيجة وجود زوج من اللقم التي تؤمن آلية الإغلاق.

حيث يمكننا تمييز ثلاثة أنواع من موانع الاندفاع هذه تبعاً لنوع اللقم المستخدمة:

- (Pipe Rams): يستخدم هذا النوع لإحكام الإغلاق حول قطر محدد للمواسير (الفراغ الحلقي حول المواسير).
- (Blind Rams): يستخدم هذا النوع لإحكام إغلاق تجويف البئر التي لا يوجد بداخلها أي مواسير كما تم استخدام لقم متغيرة للإغلاق حول مجال معين من أقطار الأنابيب.
- (shear Rams): تشبه في تصميمها (Blind Rams) و لكنها تتميز بإمكانية الإغلاق بوجود مواسير الحفر حيث تقوم بقطع جدار المواسير و الإغلاق و يستخدم هذا النوع في حالات الطوارئ كملاذ أخير في حال لم تنجح عملية إغلاق البئر بالأنواع الأخرى و عادة ما يتم إنزال عدد من اللقم أسفل هذا النوع من أجل إبقاء الماسورة المقطوعة معلقة برأس الحفر.



الشكل(3- 6) يوضح أنواع اللقم المستخدمة في موانع الاندفاع المكبسية

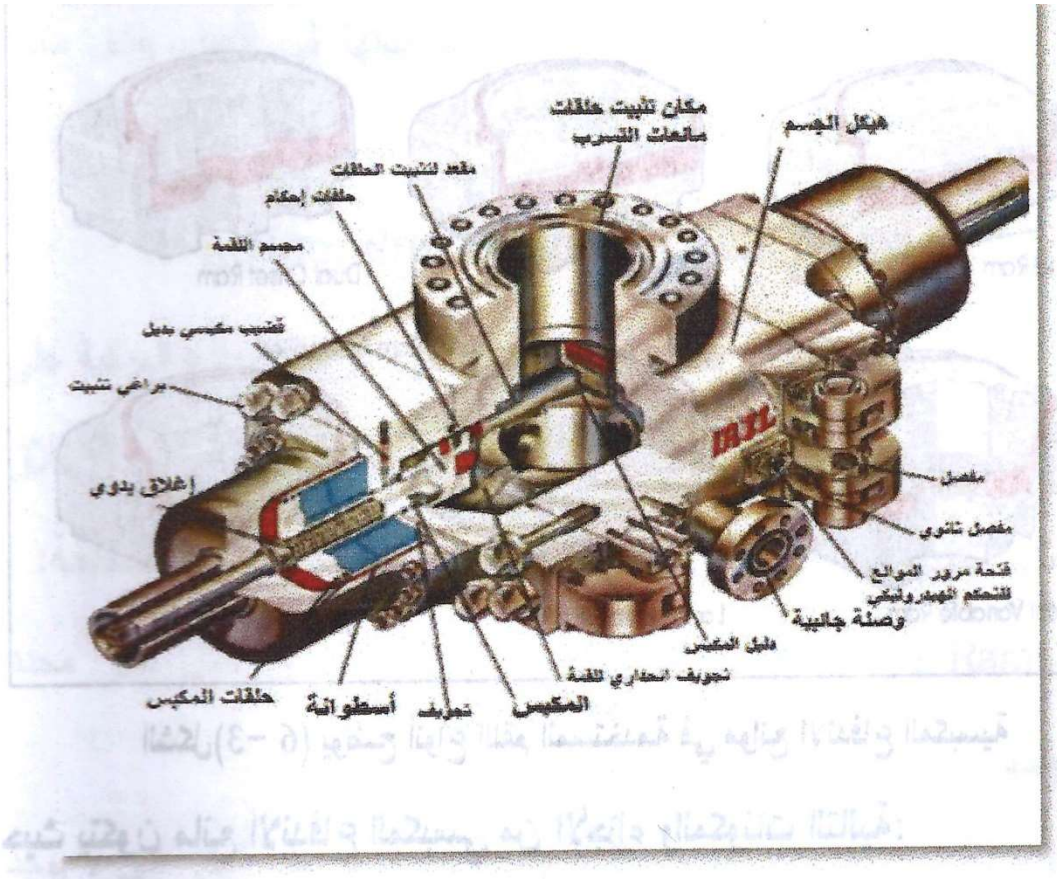
حيث يتكون مانع الاندفاع المكبسي من الأجزاء و المكونات التالية:

A. غلاف خارجي يتصل مع فلنجة من الأعلى و فلنجة من الأسفل تصلانه مع بقية التجهيزات.

B. فلنجتين جانبيتين على الجسم، تقوم بتوصيل أنابيب سائل التشغيل المستخدم في التحكم الهيدروليكي لمانع الاندفاع.

C. فلنجتين جانبيتين لتوصيل خطوط تصريف و ضخ سائل الحفر في حالات قتل البئر، حيث يتوضع مأخذ خطوط تصريف و ضخ سائل الحفر أسفل مانع الاندفاع.

D. أسطوانتين في داخله، يوجد داخل كل أسطوانة مكبس مركب على ساعد موصول بلقمة، تعتبر العنصر الفعال في عملية الإغلاق.



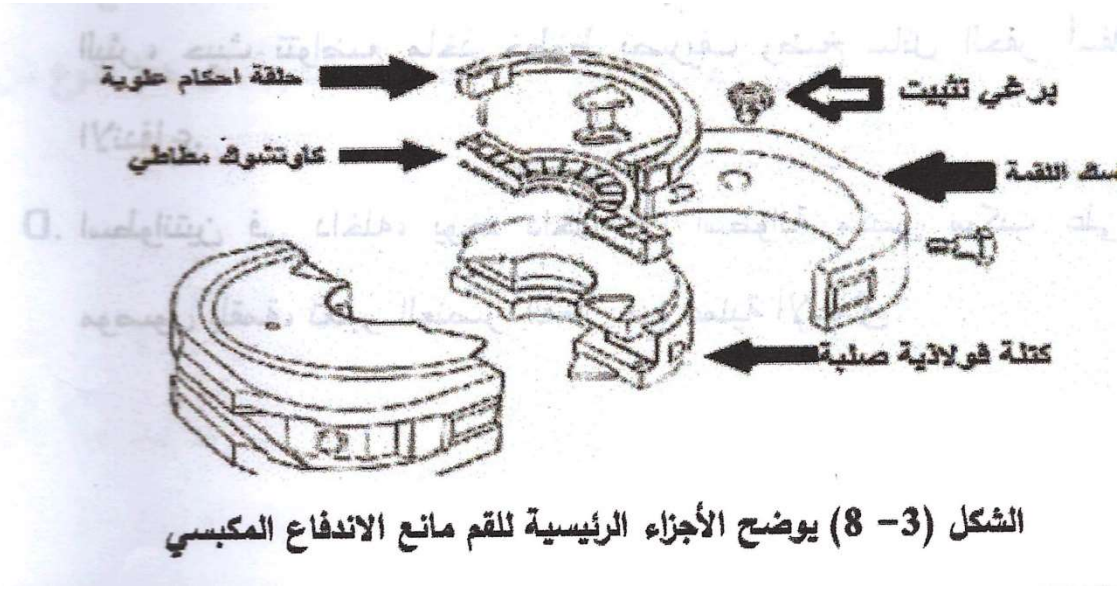
الشكل (3- 7) يوضح أجزاء وتركيب مانع الاندفاع المكبسي

كما أن لقم مانع الاندفاع تتكون بشكل رئيسي من ثلاث أجزاء:

a) كاوتشوك مطاطي.

b) كتلة فولاذية صلبة.

c) حامل اللقمة.

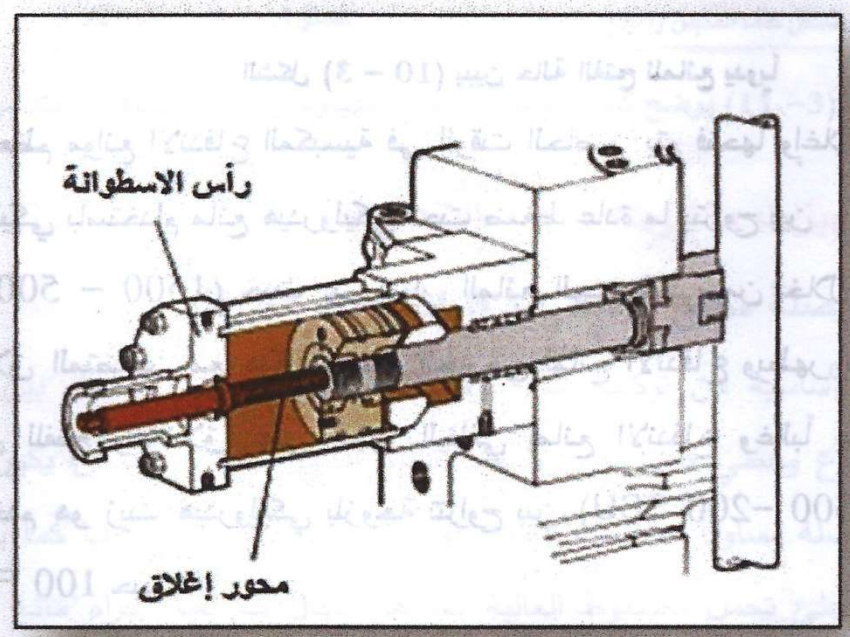


الشكل (3- 8) يوضح الأجزاء الرئيسية للقم مانع الاندفاع المكبسي

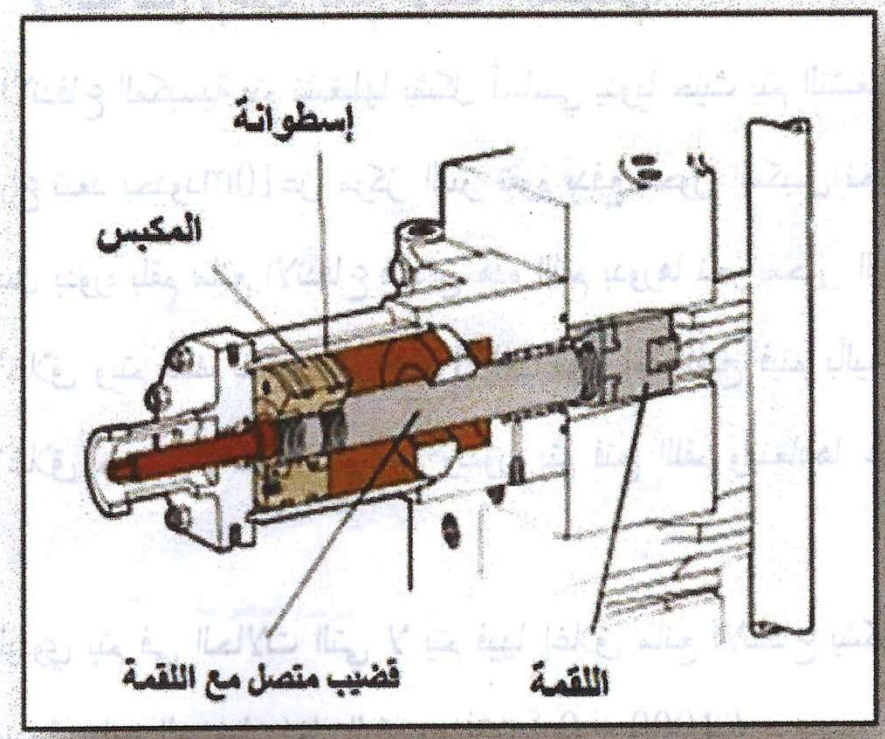
3-3-2-1- آلية فتح و إغلاق مانع الاندفاع المكبسي:

إن موانع الاندفاع المكبسية يتم تشغيلها بشكل أساسي يدوياً حيث يتم التشغيل اليدوي بوساطة ذراع تبعد بحدود 10m عن مركز البئر تقوم بدفع محور المكبس نحو الداخل و الذي يتصل بدوره بلقم مانع الاندفاع فتندفع هذه اللقم بدورها نحو محور البئر و تقوم بعملية الإغلاق و يتم ذلك بتدوير الذراع 16-20 دورة أما الفتح فيتم بآلية معاكسة لعملية الإغلاق حيث يتم سحب المكبس و بدوره يتم فتح اللقم و ابتعادها عن محور البئر.

التشغيل اليدوي يتم في الحالات التي لا يتم فيها إغلاق مانع الاندفاع بشكل متكرر و دوري و عندما يتراوح الضغط داخل البئر بين (0-1000 psi).



الشكل (3–9) يبين كيفية الإغلاق اليدوي

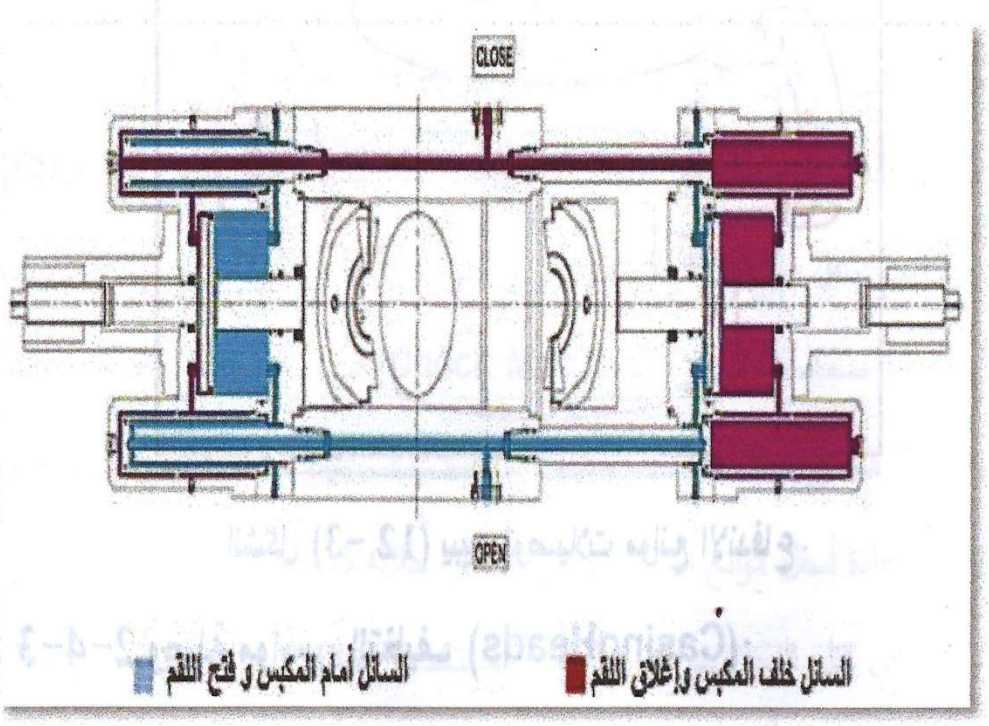


الشكل (3 – 10) يبين حالة الفتح للمانع يدوياً

لكن معظم موانع الاندفاع المكبسية في الوقت الحاضر يتم فتحها و إغلاقها وفق نظام هيدروليكي باستخدام مائع هيدروليكي تحت ضغط عادة ما يتراوح بين

(500 psi–1500) حيث يتم إمرار المائع الهيدروليكي من خلال خطي الفتح و الإغلاق المتصلين مع هيكل الجسم الخارجي لمانع الاندفاع و يظهر بوضوح وجود فتحتين للفتح و الإغلاق على الجزء الخلفي لمانع الاندفاع وغالبا ما يكون المائع المستخدم هو زيت هيدروليكي بلزوجة تتراوح بين (200 ssu–300) وعند درجة حرارة 100F حيث :

- يتم ضخ السائل ضمن الأسطوانة خلف المكبس، يتم تحريك المكبس ولقمة الإغلاق نحو مركز البئر، مما يؤدي لإغلاق لقم المانع.
- يتم ضخ السائل ضمن الأسطوانة أمام المكبس، يتم تحريك المكبس بعكس محور البئر و يتم فتح الفراغ الحلقي مما يؤدي لفتح لقم المانع كما هو موضح في الشكل التالي:

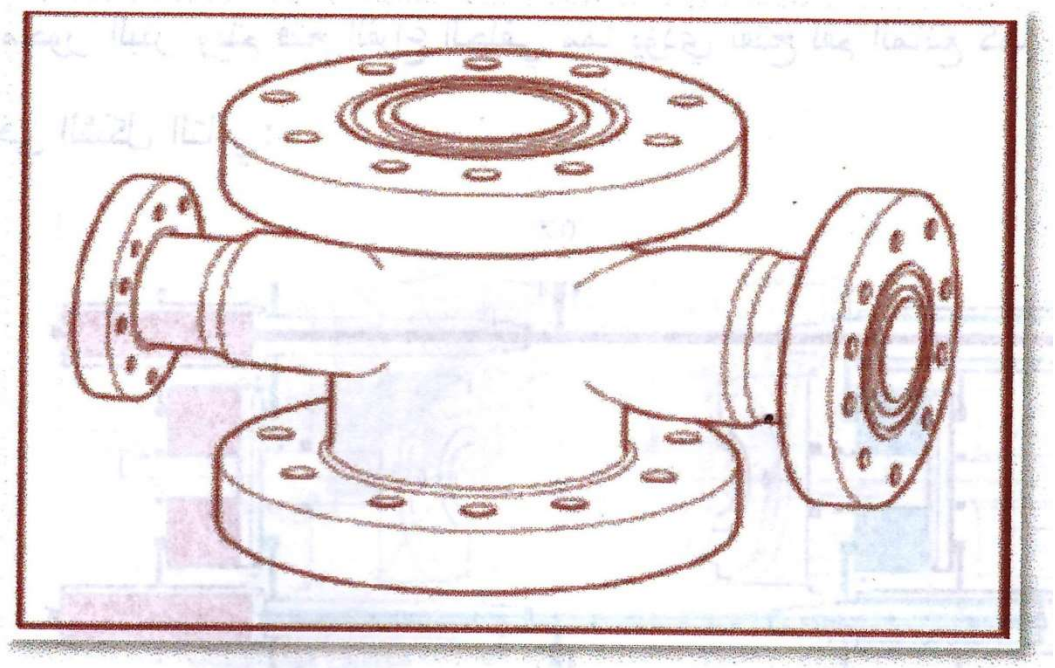


الشكل (3– 11) يوضح كيفية الإغلاق والفتح الهيدوليكي لمانع الاندفاع المكبسي

3-4- تجهيزات منظومة موانع الاندفاع:

3-4-1- وصلة موانع الاندفاع (BOP SPOOLS):

إن الغاية الأساسية من تركيب هذه الوصلات تتمثل بتأمين اتصال بين تشكيلة موانع الاندفاع و خطي قتل البئر و صمام تنظيم التدفق حيث يجب أن يكون القطر الداخلي للوصلة مساوياً للقطر الأعظمي لوصلة مواسير التغليف العليا كما يجب أن تكون قادرة على تحمل الضغوط العالية كما هو الحال مع بقية أجزاء مانع الاندفاع و في الوقت الحاضر يتم وصل خطوط قتل البئر و تنظيم التدفق مع جسم مانع الاندفاع المكبسي بدلاً من الوصلة لتقليل الحيز الذي يشغله مانع الاندفاع و عدد الوصلات المستخدمة و بالتالي تخفيض عدد الأماكن المحتمل حدوث التسريب منها.



الشكل (3- 12) يبين توصيلات موانع الاندفاع

3-4-2- وصلة مواسير التغليف (Casing Heads):

تستخدم هذه الوصلة لتعليق مواسير التغليف المنزلة في البئر برأس البئر، حيث يتم تركيب هذه الوصلة بعد الانتهاء من كل مرحلة من مراحل التغليف بحيث يتم تركيب تشكيلة مانع الاندفاع فوقها و تثبيته من خلال فلنجات أو بواسطة الشرار أو باللحام، كما يتم اختيار

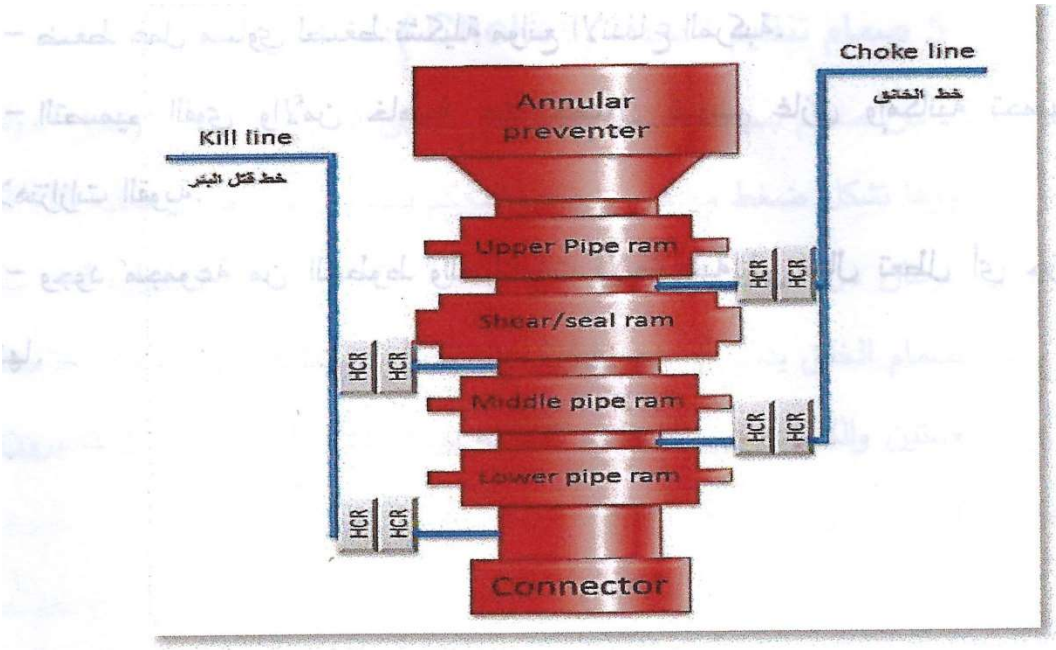
هذه الوصلة بحيث تكون قادرة على تحمل الضغط كما هو الحال مع باقي أجزاء تشكيلة مانع الاندفاع، مع العلم أنه لا يتم استخدام الوصلات الجانبية لوصلة التغليف إلا في حالات الطوارئ و من أجل خطي القتل و الخنق حصراً.

و يجب أن تتميز هذه الوصلة بالميزات التالية:

1. الضغط العامل الذي تتحمله يساوي أعلى ضغط يصل إلى السطح.
2. أن تتحمل إجهادات كبيرة كافية لتحمل مجموعة مواسير التغليف و الإنتاج.
3. وجود مخرج لتنفيس الضغط الذي يمكن أن يتجمع بين داخل و خارج التغليف.

3-4-3- خطوط القتل و الخنق (Choke and Kill Lines):

من المعلوم أنه خلال عملية قتل البئر و إخراج الموائع الطبقية منه يتم ضخ سائل قتل البئر من خلال خط القتل (Kill Line) إلى داخل مواسير الحفر و منه إلى الفراغ الحلقي و من ثم إلى خارج البئر و بما أن الفراغ الحلقي للبئر يكون مغلقاً فإن موائع تجويف البئر ستخرج منه عبر طريق واحد و هو خط صمام الخانق (Chock Line) و المتوضع أسفل مانع الاندفاع المكبسي أو على أحد جانبي وصلة مانع الاندفاع و منه إلى شبكة صمامات الخانق (Chock Manifold) حيث يتواجد في الجهة المقابلة من خط الخانق خط قتل البئر الواصل بين مضخات سائل الحفر و رأس البئر و هو يتوضع عادة أسفل موانع الاندفاع و الذي يتم من خلاله كما ذكرنا قتل البئر عن طريق ضخ سائل قتل البئر و غيره من الموائع المستخدمة (خلال عمليات التحميض مثلاً) و ذلك في الظروف التي لا تسمح فيها ضخ هذه الموائع ضمن مواسير الحفر.



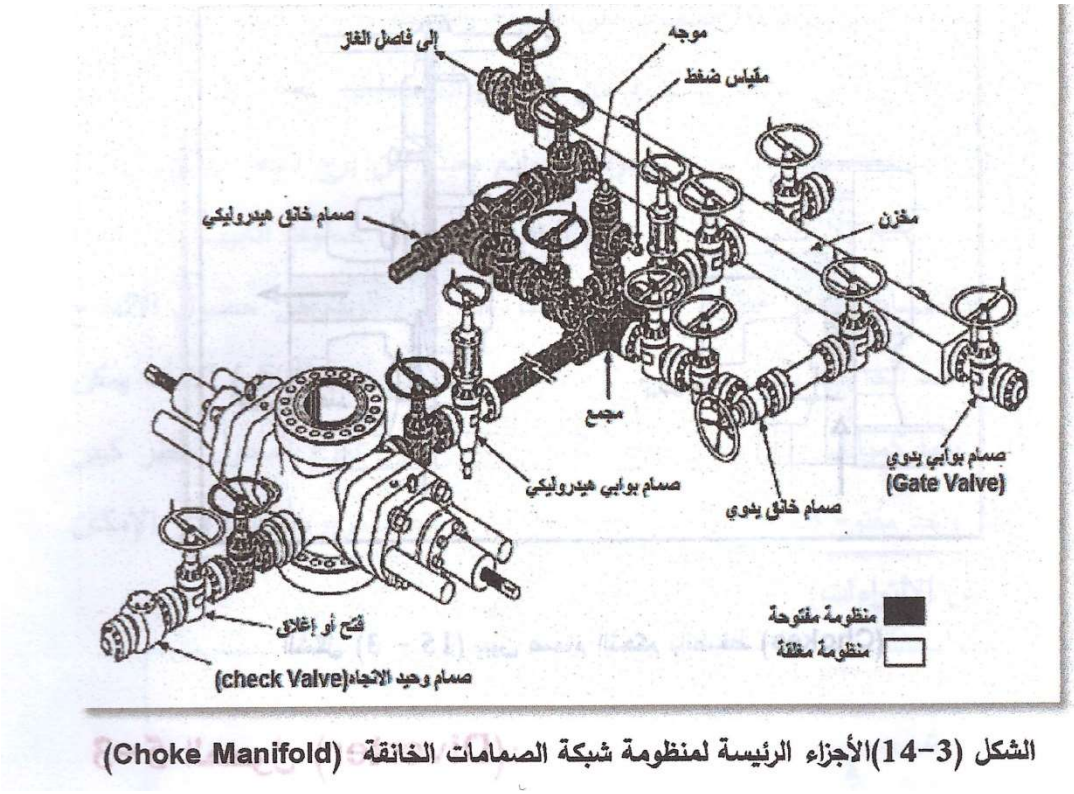
الشكل (3 – 13) يوضح تشكيلة موانع الاندفاع مع خط قتل البئر وخط الخانق

3-4-4- مجموعة شبكة صمامات الخانق (Chock Manifold):

تعد هذه المجموعة أحد أهم الأجزاء الرئيسية من منظومة موانع الاندفاع و هي عبارة عن مجموعة متكاملة من الصمامات و الخطوط و حنفيات التحكم و تنظيم الضغط لتوجيه الجريان من البئر أثناء عمليات القتل و يجب أن تتمتع هذه الشبكة بالميزات التالية:

1. القدرة على توجيه و تحويل الموائع الخارجة من البئر إلى الشعلة أو خزانات سائل الحفر أو حفرة التخلص من الموائع (حفرة الحرق).
2. القدرة على التحكم في الضغوط من خلال مجموعة من الصمامات اليدوية (Gate Valves) و الصمامات التي يمكن التحكم بها عن بعد هيدروليكياً حيث يتم تشغيلها من لوحة تحكم عند الحفار بتشغيل مضخة هيدروليكية بواسطة الهواء (HCR Valves).
3. ضغط عمل مساوي لضغط تشكيلة موانع الاندفاع المركبة.
4. التصميم القوي و الآمن خاصة عند حصول تسرب غازي و إمكانية تحملها للاهتزازات القوية.

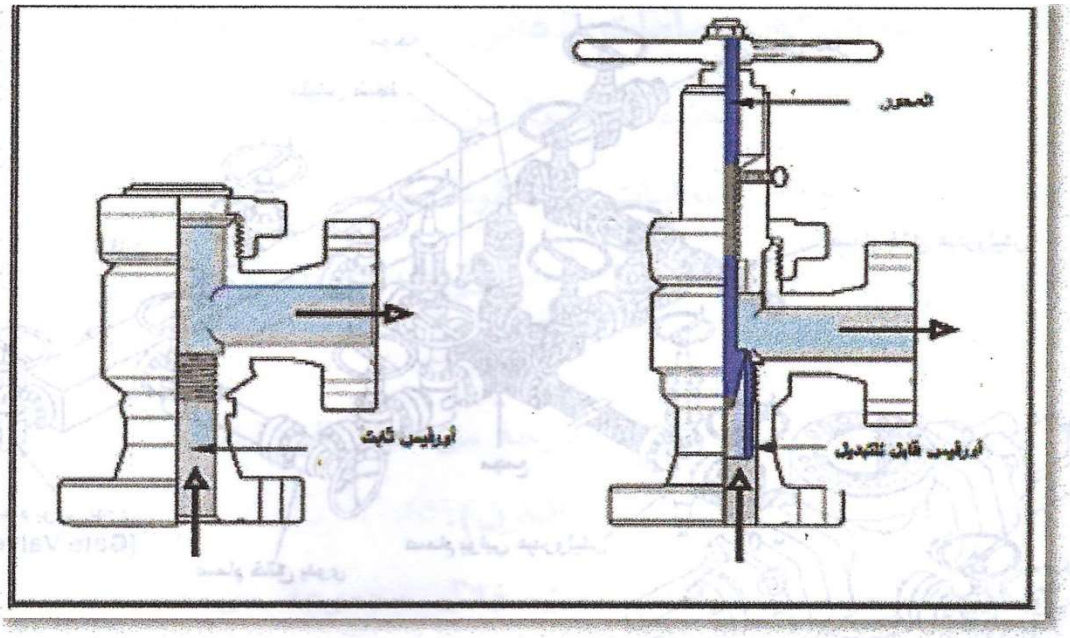
5. وجود مجموعة من الخطوط و الصمامات الاحتياطية في حال تعطل أي جزء منها.



الشكل (3-14)الأجزاء الرئيسة لمنظومة شبكة الصمامات الخانقة (Choke Manifold)

3-4-5- صمام تنظيم الضغط (Chock):

هو عبارة عن صمام بسيط يطبق مقاومة على التدفق الخارج من البئر (تدفق الموائع) و التي بدورها تشكل ضغط معاكس يستخدم للتحكم بضغط البئر خلال عملية قتل البئر و هنالك نوعان من صمامات الخنق ذات الفتحة الثابتة و القابلة للتعديل، كما يمكن تشغيل صمام الخنق يدوياً أو هيدروليكياً و يتم تصنيع المنطقة التي تتعرض للاحتكاك من التنغستين و الكربيد و في الصناعة النفطية يوجد له نوعان رئيسيان (كاميرون–سواكو).

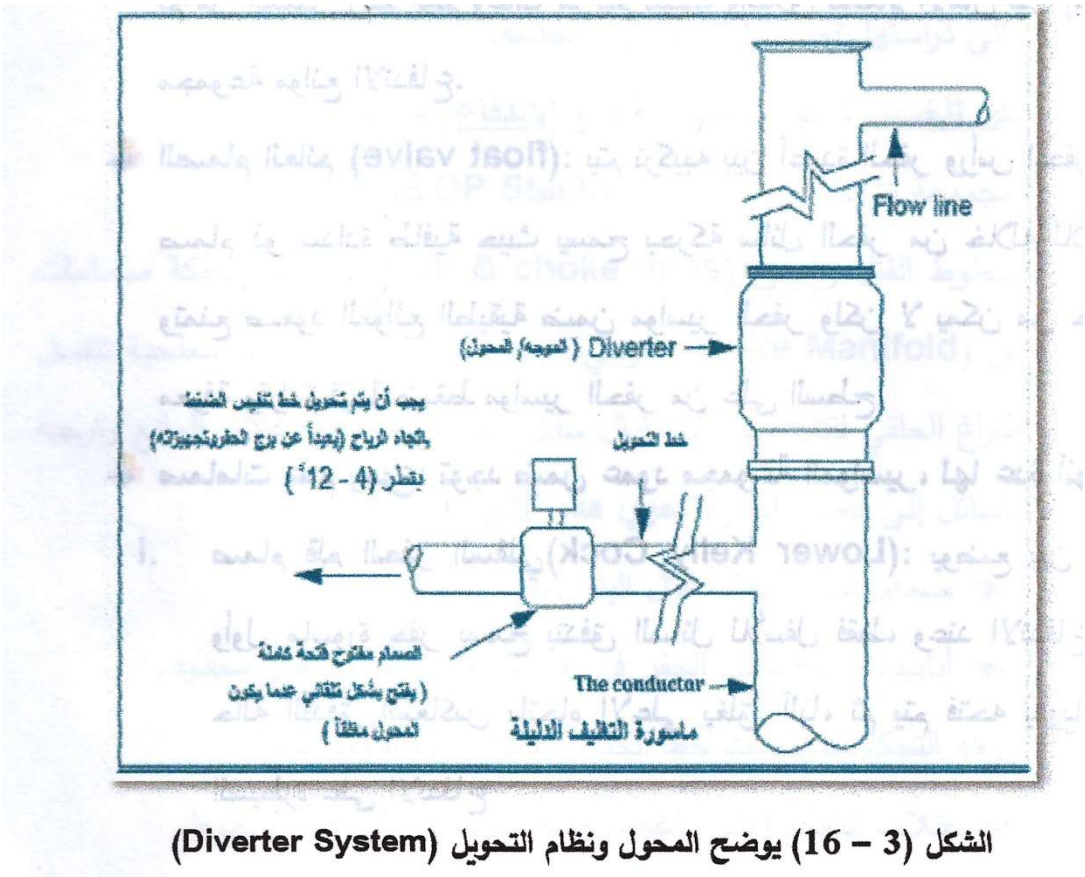


الشكل (3 – 15) يبين صمام التحكم بالضغط (Chokes)

3-5- المحول (Diverter):

يعرف المحول: بأنه عبارة عن مانع اندفاع حلقي ذو حجم كبير و ضغط تحمل منخفض و مجهز بأنابيب ذات قطر كبير لإخراج الموائع بعيداً عن البئر و يستخدم هذا النوع من موائع الاندفاع خلال عمليات الحفر البحري بشكل أساسي أما الحفر على اليابسة فيتم استخدامه عند حفر الآبار التي يزيد عمقها عن 600m و ذلك ضمن الطبقات السطحية قليلة العمق و المتوضعة تحت أول ماسورة تغليف أي ماسورة التغليف الدليلة (conductor) بحيث في حال حصول الاندفاع و تسرب للموائع الطبقية إلى البئر عند هذه الأعماق القليلة يضمن المحول إغلاق البئر و احتواء الضغط المتزايد ضمن تجويف البئر الذي يمكن أن يسبب تشقق لطبقات جدار البئر أسفل ماسورة التغليف و من ثم تهريب لسائل الحفر و انهيار الموقع، او على الأقل منع دخول المواد الهيدروكربونية المتسربة من الطبقة و التجمع في المنطقة خارج ماسورة التغليف و بالتالي فإن الغاية الرئيسية من المحول (الموجه) هي تأمين تدفق آمن من البئر إلى السطح حيث يتم طرح و تحويل الموائع بعيداً عن برج الحفر بأمان، و بذلك يتم تحويل موائع الاندفاع بعيداً عن

برج الحفر من خلال خطوط أنابيب ذات قطر كبير (عادةً مساوي لقطر البئر)، و الجدير بالذكر أنه على الرغم من حصول الاندفاع في مثل هذه الحالات يكون عند ضغط منخفض (حوالي 500 psi) إلا أنه يمكن أن يصاحبها كميات كبيرة من الموائع لذلك يجب أن يكون خط الخرج مستقيماً قدر الإمكان (خالي من الالتواءات).



الشكل (3 – 16) يوضح المحول ونظام التحويل (Diverter System)

3-6- موانع الاندفاع الداخلية (Internal Blow Out Preventers):

توجد العديد من الأدوات و المعدات المستخدمة لمنع حركة الموائع الطبقية المتسربة صعوداً داخل مواسير الحفر و التي من أبرزها:

- صمامات الأمان (safety valves): حيث يتم تركيبها على نهاية مواسير الحفر المفتوحة عندما يحصل اندفاع و ذلك في حال عدم تركيب القلم و هي عبارة عن مانع اندفاع داخلي و يتم اختباره عند اختبار موانع الاندفاع فإذا حصل الاندفاع و مواسير الحفر مفتوحة يتم إضافة صمام الأمان و إغلاقه و من ثم من

الممكن ربط القلم وغالباً ما يتم تثبيت و إغلاق صمام الأمان قبل إغلاق مجموعة موانع الاندفاع.

- الصمام العائم (float valve): يتم تركيبه بين أعمدة الحفر و رأس الحفر و هو صمام ذو سدادة طافية حيث يسمح بحركة سائل الحفر من خلاله للأسفل و تمنع صعود الموائع الطبقية ضمن مواسير الحفر و لكن لا يمكن من خلاله معرفة و قراءة قيمة ضغط مواسير الحفر من على السطح.
- صمام عدم رجوع: توجد ضمن عمود مجموعة المواسير، لها عدة أنواع:

i. صمام قلم الحفر السفلي (Lower Kelly Cock): يوضع بين القلم و أول ماسورة حفر يسمح بتدفق السائل للأسفل فقط، و عند الاندفاع في حالة التدفق المعاكس باتجاه الأعلى يغلق آلياً، ثم يتم فتحه يدوياً بعد السيطرة على الاندفاع.

ii. صمام قلم الحفر العلوي (Upper Kelly Cock): يتم تركيبه بين قلم الحفر و الرأس الهيدروليكي (Swivel) و يتم فتحه يدوياً بعد الإغلاق و يعتبر هذا الصمام احتياطياً.

3-7- وحدة التغذية الهيدروليكية (أسطوانات تجميع الموائع Accumulators):

يتم التحكم بفتح و إغلاق تشكيلة موانع الاندفاع من خلال لوحة تحكم موجودة على سطح منصة برج الحفر و الموصولة إلى نظام أسطوانات الموائع الهيدروليكية المضغوطة التي تؤمن تشغيل كل عناصر تشكيلة صمامات مانع الاندفاع و التي سنتطرق إلى دراستها تفصيلياً في الفصول القادمة.

و هكذا يمكن تلخيص تجهيزات مانع الاندفاع كما يلي:

1. مجموعة تشكيلة مانع الاندفاع (BOP Stack).
2. خطوط القتل و الخنق (Kill & choke lines) و مجموعة شبكة صمامات

الخانق (Choke Manifold): و هي عبارة عن مجموعة أنابيب سطحية تتصل مع الفراغ الحلقي لقتل البئر و استقبال سائل الحفر المندفع بعد إغلاق المانع و توجيه هذا السائل إلى فاصل الغاز، **تحوي هذه الأنابيب على:**

- صمام يمكن إغلاقه لقتل البئر تحت الضغط.
- أنابيب لضخ سائل الحفر في الفراغ الحلقي بضغط قتل محدود.

3. لوحة التحكم بصمامات خط الخنق، تحوي هذه اللوحة على:
   - عتلات للتحكم الآلي بإغلاق و فتح الصمام الآلي في الخطوط.
   - مؤشري الضغط داخل مواسير التغليف و داخل مواسير الحفر.
4. المحول (Diverter) و موانع الاندفاع الداخلية (Internal Blow Out Preventers) و المتمثلة بمجموعة من الصمامات التي تعمل على منع حركة الموائع الطبقية المتسربة صعوداً ضمن مواسير الحفر و توجيهها لمسافة آمنة بعيداً عن البئر.
5. أسطوانات السائل الهيدروليكي الخاصة بتشغيل الموانع (Accumulator) التي تحتوي على سائل مضغوط و تتصل بموانع الاندفاع بواسطة خراطيم مرنة.
6. فاصل الغاز، يقوم بفصل الغاز عن سائل الحفر عند الاندفاع الغازي.

يحوي ثلاث فتحات:

- ✓ الأولى لدخول سائل الحفر المغوز.
- ✓ الثانية لخروج السائل المنزوع منه الغاز إلى خزانات الطفلة.
- ✓ الثالثة لخروج الغاز إلى خط الشعلة.

القسم

العملي

خطوات تطبيق طريقة الحفار

و هي طريقة بسيطة في قتل البئر المندفعة، و تتكون من دورتين:

الأولى: تتم بسائل الحفر الأساسي، حيث يتم إجراء دوران و طرد الموائع الداخلة للبئر مع المحافظة على ضغط مواسير التغليف ثابتاً.

الثانية: قتل البئر بواسطة سائل القتل المحضر مسبقاً مع المحافظة على ضغط مواسير التغليف ثابتاً حتى وصول سائل القتل إلى قاع البئر.

و يتم تنفيذ طريقة الحفار وفق الخطوات التالية:

4-1-الخطوة الأولى:

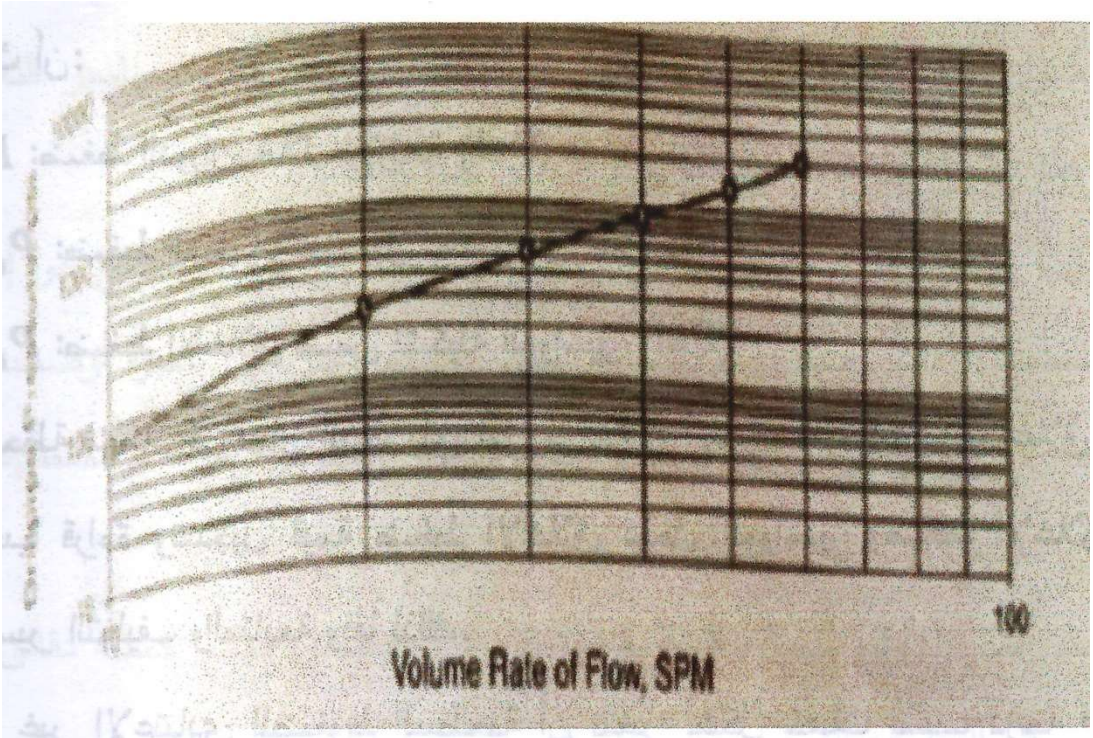
عند كل شوط من أشواط المضخة، يجب قراءة و تسجيل قيمة الضغط في تشكيلة المواسير عند معدلات تدفق مختلفة لكل شوط في الدقيقة من ضمنها معدل القتل المتوقع لكل مضخة.

إن الخبرة أوضحت إن إحدى أصعب وجهات النظر لأي إجراء يتعلق بعملية القتل هو إيصال المضخة إلى السرعة المطلوبة بدون السماح بحصول تدفق إضافي أو تشقيق حذاء مواسير التغليف، هذه المشكلة معقدة بسبب المحاولات التي تم تنفيذها لتحقيق معدل قتل دقيق.

لا يوجد أي إجراء غير اعتيادي حين يتعلق الأمر بمعدل القتل المستعمل لتدوير أو القضاء على الركلة.

في الأيام الأولى من عملية التحكم بالضغط ، تم تعديل التجهيزات السطحية لإيصال التدفق إلى السطح عند سرعة عالية للمضخة أي أنه عند إغلاق البئر و اتخاذ قرار قتله يجب أولاً إخراج السائل الملوث و من ثم ضخ سائل القتل و يجب اختيار غزارة المضخة أو عدد الأشواط بالدقيقة بحيث تكون قريبة من نصف سرعة الضخ قبل حدوث الاندفاع السرعة الطبيعية و يجب أن نحافظ على هذه السرعة بحيث نتمكن من إخراج السائل

الملوث بدون حدوث أي زيادة في الضغط على حذاء مواسير التغليف لذلك نلجأ إلى رسم مخطط البياني بين معدل الضخ و ضغط تشكيلة الحفر أثناء إغلاق البئر، يمكن أن تظهر المشاكل عندما تكون سرعة المضخة أقل أو أكثر بشكل خفيف من السرعة المساوية إلى نصف السرعة الطبيعية.



الشكل (4-1) معدل التدفق الحجمي

إن السبب وراء احتمال المشاكل هو أن الضغط اللازم لإجراء الدوران عند معدلات تدفق بخلاف معدل القتل غير المعروف يجب مراجعة الخطوة الرابعة من أجل تفاصيل أكثر.

إن أفضل إجراء هو تسجيل و تحويل معدلات التدفق المتعددة إلى مخططات بيانية، و ضغوط المضخة المقابلة لها كما هو موضح في الشكل (4-1)، كما هو مفروض في المثال اللاحق أن سرعة القتل المستعملة هي حوالي (30) شوط لكل دقيقة. على كل حال فإن سرعة المضخة الفعلية المستعملة يجب أن تكون بالضبط (30) شوط لكل دقيقة.

4-2- الخطوة الثانية:

بعد بدء حصول الركلة و قبيل البدء بالضخ، يجب قراءة و تسجيل ضغوط مواسير التغليف و تشكيلة الحفر، ثم نحدد ضغط المضخة المتوقع عند معدل القتل باستعمال المعادلة:

$$P_c = P_{ks} + P_{dp}$$

حيث أن:

P_c: ضغط الدوران خلال الإزاحة (psi).

P_{ks}: ضغط المضخة المسجل عند معدل القتل (psi).

P_{dp}: ضغط الإغلاق ضمن تشكيلة المواسير (psi).

ملاحظة هامة: في حال الشك بأي أمر ما خلال الإجراء بأكمله، يجب إغلاق البئر و يجب قراءة و تسجيل قيمة ضغط الإغلاق داخل المواسير و ضغط الإغلاق عند مواسير التغليف و المتابعة وفقاً لذلك.

من غير الاعتيادي للضغوط السطحية أن تتغير بشكل خفيف بسبب درجة الحرارة هجرة الغاز أو مشاكل الصمامات، لذلك من المهم تسجيل الضغوط السطحية فوراً قبل البدء بعمليات الضخ.

الحالة الثانية مهمة بشكل كبير من أجل تذكر أنه في حال وجود أية شكوك، يتم إغلاق البئر، حيث يبدو أن الاندفاع المنتشر يستمر بالدوران بغض النظر عن العواقب (أي أن الموائع الطبيعية تستمر بالدخول إلى البئر أثناء الإغلاق).

في حال تدهور الشروط منذ إغلاق البئر، أو تدهورت خلال طور الضخ، عند وجود أية شكوك حول هذا الأمر، يجب القيام بإغلاق البئر و قراءة الضغوط السطحية و مقارنتها مع الضغوط الأساسية و القيام بتقييم الحالة قبل العمليات الأخرى اللاحقة.

في حال وجود أية أخطاء فيما يتعلق بعملية الإزاحة المستعملة، فإن الحالة سوف

تكون أقل احتمالاً لكي تتدهور عند إغلاق البئر، و أكثر احتمالية لكي تستمر بالتدهور في حال متابعة الضخ.

4-3- الخطوة الثالثة:

بعد وصول سرعة الضخ إلى سرعة القتل، يجب الإبقاء على ضغط مواسير التغليف ثابتاً، هذا الإجراء يجب أن يتطلب زمناً أقل من خمسة دقائق.

كما تمت الإشارة إليها من قبل، فإن إيصال المضخة إلى سرعة الضخ هو إحدى أكبر المشاكل و الأكثر صعوبة في عملية تتعلق بالتحكم بالبئر، إن الخبرة أوضحت أن المقاربة الأكثر عملية هي الإبقاء على ضغط مواسير التغليف ثابتاً عند ضغط إغلاق مواسير التغليف بينما يتم إيصال المضخة إلى سرعة الضخ.

إن تمدد الغاز الأولي مهمل بالمقارنة مع الزمن المخصص البالغ خمسة دقائق من أجل إيصال المضخة إلى السرعة المطلوبة.

ليس من الضروري أن يكون معدل التدفق الحجمي الأولي دقيقاً، أي معدل ضمن نسبة (10%) من معدل القتل سوف يكون كافياً، هذا الإجراء سوف يؤدي إلى ضغط تشكيلة الحفر المناسب المستعمل من أجل إزاحة الركلة.

الشكل (4-2) يمكن أن يستعمل من أجل تأكيد ضغط تشكيلة الحفر المستعملة.

عملياً: إن معدل القتل يمكن أن يزداد أو ينخفض خلال أي وقت في عملية الإزاحة و هذا يعود لكمية الموائع الداخلة من البئر.

بكل بساطة يجب القيام بقراءة و تسجيل قيمة ضغط الدوران عند مواسير التغليف و الإبقاء على ضغط المواسير ثابتاً بينما يتم تعديل معدل الضخ و تأسيس ضغط جديد ضمن التشكيلة.

من غير المسموح أن يكون زمن تغيير المعدل أكثر من دقيقة أو دقيقتين حين يكون

تدفق الغاز قريباً من السطح بسبب تمدد الغاز السريع بالقرب من السطح.

4-4-الخطوة الرابعة:

بمجرد ما أن تكون المضخة عند سرعة قتل مناسبة، يجب قراءة و تسجيل ضغط تشكيلة الحفر، و إزاحة التدفق و الإبقاء على الضغط داخل تشكيلة الحفر ثابتاً.

في الواقع، يجب أخذ جميع الخطوات بالاعتبار معاً، و اعتبارها مكملة لبعضها البعض، إن ضغط تشكيلة المواسير المناسب المستعمل لتدوير و إزاحة التدفق سوف يكون نفسه الضغط الذي تم تأسيسه ضمن تشكيلة المواسير في الخطوة الرابعة.

إن معدلات الضخ و الضغوط التي تم تأسيسها في الخطوة الأولى تم اعتبارها عوامل مرجعية فقط عند البدء بالعملية.

إن أخذ نموذج أنبوب على شكل حرف يو (U-tube) في الشكل (4-2) يوضح بكل شفافية أنه بالإبقاء على ضغط مواسير التغليف ثابتاً عند ضغط إغلاق مواسير التغليف بينما يتم إيصال المضخة إلى سرعة القتل، إن ضغط تشكيلة مواسير الحفر المناسب سوف يتم تأسيسه من أجل المعدل المختار.

كل التعديلات الخاصة بعمليات التدوير يجب أن تجرى مع الأخذ بالاعتبار ضغط الفراغ الحلقي، عند تعديل الضغط على نظام التدوير، فإن ردة فعل (استجابة) ضغط تشكيلة الحفر يجب أن تؤخذ بالاعتبار بشكل ثانوي بسبب عدم وجود أي زمن فاصل بين أية عمليات للصمام و مقباس الضغط على تشكيلة المواسير.

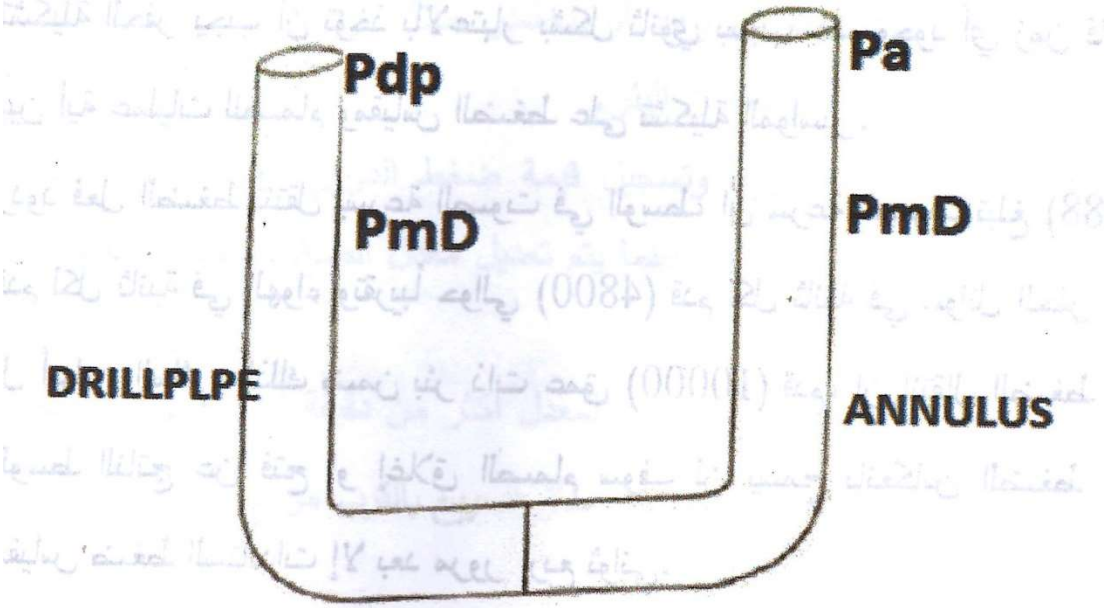
ردود فعل الضغط تنتقل بسرعة الصوت في الوسط، إن سرعة الصوت تبلغ (1088) قدم لكل ثانية في الهواء تقريباً حوالي (4800) قدم لكل ثانية في سوائل الحفر ذات الأساس المائي، لذلك ضمن بئر ذات عمق (10000) قدم، إن انتقال الضغط عبر الوسط الناتج عن فتح أو إغلاق الصمام سوف لن يسمح بانعكاس الضغط على مقياس ضغط

الستاندات إلا بعد مرور أربع ثواني.

إن استعمال ضغط تشكيلة المواسير و الصمام فقط، ينتج عادة عن تغيرات دورية ضخمة و التي بسبب تدفقات إضافية أو ضغوط غير مقبولة عند حذاء مواسير التغليف.

4-5-الخطوة الخامسة:

بمجرد ما تمت إزاحة التدفق، يجب القيام بقراءة و تسجيل ضغط مواسير التغليف و مقارنته مع ضغط إغلاق تشكيلة الحفر الأساسية الداخلي في الخطوة الأولى، من المهم ملاحظة أنه في حال إزاحة السائل بشكل كامل فإن ضغط مواسير التغليف يجب أن يكون مساوياً إلى ضغط إغلاق المواسير الداخلي الأساسي.



الشكل (4-2) إزاحة التدفق، نموذج انبوبة يو تيوب

في حال كانت ضياعات الضغط الجزئية في الفراغ الحلقي مهملة، فإن شروط جهة الفراغ الحلقي سوف تكون تقريباً مساوية للشروط في جهة تشكيلة مواسير الحفر، لذلك بمجرد ما تمت إزاحة التدفق، فإن ضغط الدوران في الفراغ الحلقي يجب أن يكون مساوياً إلى ضغط إغلاق مواسير الحفر الأولي.

4-6- الخطوة السادسة:

إذا كان ضغط مواسير التغليف مساوياً إلى ضغط الإغلاق الأصلي المسجل في الخطوة الأولى، يجب القيام بإغلاق البئر بإبقاء الضغط ثابتاً بينما يتم إبطاء سرعة المضخات.

إذا كان ضغط مواسير التغليف أكبر من ضغط تشكيلة الحفر الأصلي، يجب القيام بمتابعة الدوران لدورة إضافية، و الإبقاء على ضغط تشكيلة الحفر ثابتاً، و بعدها القيام بإغلاق البئر، و الإبقاء على ضغط مواسير التغليف ثابتاً بينما يتم تخفيض سرعة ضخ المضخات.

4-7- الخطوة السابعة:

يجب قراءة و تسجيل و مقارنة ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر و ضغط تشكيلة مواسير التغليف، في حال تمت عملية الإزاحة من البئر بشكل صحيح، فإن ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر يجب أن يكون مساوياً إلى ضغط إغلاق تشكيلة مواسير التغليف.

مرة أخرى، يجب أخذ الشكل (4-2) بالاعتبار على فرض أنه تمت إزاحة التدفق بشكل كلي، إن الشروط على كلا جهتي نموذج الأنبوب (U-tube) متطابقة.

لذلك فإن الضغوط عند السطح لكلا تشكيلة مواسير التغليف و تشكيلة مواسير الحفر يجب أن تكون متطابقة.

عادة، عندما يتم حصر الضغط ضمن النظام خلال إجراء عملية الإزاحة، في حال كون ضغط تشكيلة مواسير التغليف و تشكيلة مواسير الحفر متساويين بعد إزاحة التدفق لكن ذو قيمة أكبر من ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر الأولي أو ضغط تشكيلة مواسير الحفر المسجل في الخطوة الثانية إن الفرق بين القيمتين عادة يكون بسبب الضغط المحصور.

في حال كون الضغوط السطحية المسجلة بعد الإزاحة مساوياً لبعضها البعض لكن ذو قيمة أكبر من ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر الأولي مع وجود تدفق من الطبقة ضمن الفراغ الحلقي.

4-8- الخطوة الثامنة:

في حال كون ضغط إغلاق تشكيلة مواسير التغليف أكبر من ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر، يجب إعادة الخطوة الثانية من خلال الخطوة السابعة.

بعد إزاحة التدفق الأولي، في حال كون ضغط إغلاق تشكيلة مواسير التغليف أكبر من ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر، حيث أن السبب الأكثر احتمالاً هو وجود تدفق إضافي و تم السماح له بالتدفق عند إجراء عملية الإزاحة، لذلك من الضروري إجراء عملية الإزاحة لإزاحة التدفق الثانوي.

4-9- الخطوة التاسعة:

إذا كان ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر مساوياً لضغط إغلاق ضمن مواسير التغليف، يجب تحديد كثافة سائل القتل (ρ_1) باستعمال المعادلة (تجدر الملاحظة بانه لا تستدعي الضرورة استخدام أية عوامل أمان):

$$\rho_1 = \frac{\rho_m . D + P_{dp}}{0{،}052D} \qquad \text{.....(9-4)}$$

حيث أن:

ρ_1: كثافة سائل القتل (ppg).

ρ_m: تدرج كثافة سائل الحفر الأصلي (psi/ft).

P_{dp}: ضغط الإغلاق ضمن تشكيلة المواسير (psi).

D: عمق البئر (ft).

4-10-الخطوة العاشرة:

يجب القيام برفع الوزن النوعي لسائل الحفر في حفرة السحب إلى الكثافة المطلوبة في الخطوة التاسعة.

4-11- الخطوة الحادية عشر:

تحديد عدد الأشواط لمضخة سائل الحفر عن طريق تقسيم قدرة تشكيلة الحفر بالبراميل إلى قدرة المضخة.

$$STB = \frac{C_{dp}.l_{dp}+C_{dc}.l_{dc}+C_{hw}.l_{hw}}{C_p} \quad \text{.....(4-11)}$$

حيث أن:

STB: عدد الأشواط على رأس الحفر (شوط).

C_{dp}: سعة تشكيلة الحفر (bbl./ft).

C_{dc}: سعة أعمدة الحفر (bbl./ft).

C_{hw}: سعة تشكيلة مواسير الحفر المثقلة (bbl./ft).

l_{dp}: طول تشكيلة المواسير (feet).

l_{dc}: طول أعمدة الحفر (feet).

l_{hw}: طول تشكيلة مواسير الحفر المثقلة الجدران (feet).

C_p: قدرة المضخة (bbl./stroke).

من الممكن إضافة أو طرح أوزان الأقسام المختلفة من (أعمدة الحفر – مواسير الحفر المثقلة الجدران من المعادلة).

4-12-الخطوة الثانية عشر:

رفع سرعة ضخ المضخة و الإبقاء على ضغط مواسير التغليف ثابتاً.

4-13-الخطوة الثالثة عشر:

إزاحة سائل قتل البئر إلى البئر و الإبقاء على ضغط مواسير التغليف ثابتاً، لا تستدعي الحاجة إلى أية إجراءات أخرى، من المفروض أن يبقى ضغط مواسير التغليف ثابتاً عند ضغط إغلاق مواسير الحفر الأولي، في حال زيادة ضغط مواسير التغليف يجب إلغاء هذا الإجراء و إغلاق البئر.

يجب إزاحة سائل القتل إلى الحفرة الخارجية، و الإبقاء على ضغط تشكيلة مواسير

التغليف ثابتاً.

تحذير: بمجرد وصول معدل التدفق إلى المعدل المطلوب، من غير الضروري إجراء أية تعديلات إضافية للصمام الخانق، و إن ضغط تشكيلة مواسير التغليف سوف يبقى ثابتاً عند ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر الأولي، في حال زيادة ضغط تشكيلة مواسير التغليف، يجب إلغاء الإجراء و إغلاق البئر.

من الضروري جداً فهم الخطوة الثالثة عشر، مجدداً يجب أخذ النموذج (U-tube) بالاعتبار في الشكل (4-2)، بينما يتم إزاحة سائل القتل إلى الحفرة الخارجية من جهة تشكيلة مواسير الحفر، عند حالة أو شروط الحفر تحت التوازن، لن تحدث أية تغييرات في شروط جهة الفراغ الحلقي، لذلك بمجرد وصول معدل المضخة إلى المعدل المطلوب، فإنه من المفروض أن لا يتغير ضغط تشكيلة مواسير التغليف و من الضروري أن يتم تعديل الصمام الخانق من أجل الحفاظ على ضغط تشكيلة مواسير الحفر ثابتاً.

في حال عدم زيادة ضغط تشكيلة مواسير التغليف، مع بقاء بقية العوامل الأخرى ثابتة، فإن جميع الاحتمالات تفترض وجود كمية من الغاز في الفراغ الحلقي، في هذه الحالة يجب إلغاء العملية أو الإجراء.

حيث أن كثافة سائل الحفر عند السطح قد ازدادت لتصل إلى كثافة سائل القتل، فإن الإجراء المناسب في هذه الحالة تحت هذه الظروف سوف يكون طريقة الانتظار و التثقيل لاحقاً.

إن طريقة الانتظار و التثقيل سوف تستعمل من أجل دوران الغاز في الفراغ الحلقي إلى السطح و من أجل التحكم بالبئر.

4-14-الخطوة الرابعة عشر:

بعد القيام بعدد الأشواط المطلوبة من المضخة لإيصال سائل القتل إلى البئر يجب قراءة تسجيل ضغط مواسير التغليف و قراءة و تسجيل ضغط تشكيلة مواسير الحفر.

4-15-الخطوة الخامسة عشر:

يجب القيام بإزاحة سائل القتل إلى الحفرة الخارجية، و الإبقاء على ضغط تشكيلة مواسير الحفر ثابتاً.

بالإشارة إلى الشكل (4-2)، بمجرد الوصول إلى الوزن النوعي لسائل القتل أي وصول السائل إلى الحفرة الخارجية، و البدء بإزاحة الفراغ الخارجي، فإن شروط النموذج (U-tube) على جهة مواسير التغليف ثابتة و لا تتغير.

لذلك، فإنه من الممكن إزاحة سائل القتل عن طريق إبقاء ضغط تشكيلة مواسير الحفر ثابتاً، يمكن توقع بعض التغييرات في ضغط تشكيلة مواسير التغليف و التعديلات في حجم الصمام الخانق خلال هذه المرحلة، في حال تنفيذ الإجراء بطريقة مواسير الحفر الثابت و سوف ينخفض ضغط تشكيلة مواسير التغليف إلى القيمة (0) عند وصول سائل القتل إلى السطح.

4-16-الخطوة السادسة عشر:

مع وصول سائل القتل إلى السطح، يجب إغلاق البئر عن طريق إبقاء ضغط تشكيلة مواسير التغليف ثابتاً بينما يتم إبطاء المضخات، يجب إزاحة سائل القتل إلى السطح و الإبقاء على ضغط مواسير الحفر ثابتاً.

4-17-الخطوة السابعة عشر:

يجب قراءة و تسجيل ضغط إغلاق مواسير الحفر و كذلك الأمر بالنسبة لضغط إغلاق مواسير التغليف كلا الضغطين يجب أن يكونا عند قيمة مساوية إلى الصفر.

4-18-الخطوة الثامنة عشر:

فتح البئر و فحص البئر من أجل وجود تدفق.

4-19-الخطوة التاسعة عشر:

في حال حصول تدفق للبئر فإنه يجب إعادة الإجراء.

4-20- الخطوة العشرون:

في حال عدم حصول أي تدفق، يجب زيادة الوزن النوعي لسائل القتل من أجل ضمان حصول دوران و رفع و إنزال و القيام بالدوران حتى وصول قيمة الوزن النوعي لسائل الحفر إلى القيمة المطلوبة عبر النظام.

مثال:

المعطيات:

مخطط البئر: الشكل (3-4).

عمق البئر: (Depth=10000 feet،).

قطر البئر: $D_h = 7^{7/8} inches$.

قطر تشكيلة المواسير: $D_p = 4^{1/2} inches$.

مواسير التغليف السطحية حتى عمق (2000) قدم بقطر ($8^{5/8}$inches).

قطر مواسير التغليف الوسطية ($D_{ci} = 8،017 inches$).

تدرج الشقوق ($F_g = 0،76 psi/ft$).

الوزن النوعي لسائل الحفر ($\rho = 9،6 ppg$).

تدرج الوزن النوعي لسائل الحفر ($\rho_m = 0،5 psi/ft$).

تحصل الركلة عندما يكون عمود الحفر على القاع و ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر ($P_{dp} = 200 psi$).

ضغط إغلاق الفراغ الحلقي ($P_a = 300 psi$).

زيادة مستوى السائل في الخزانات(10) براميل.

معدل الدوران الطبيعي (60) دورة لكل دقيقة عند (60 spm).

معدل القتل (3bpm) عند (30spm).

ضغط الدوران عند معدل القتل: $(P_{ks} = 500p)$.

سعة المضخة: $(C_p = 0{،}1bbl/stk)$.

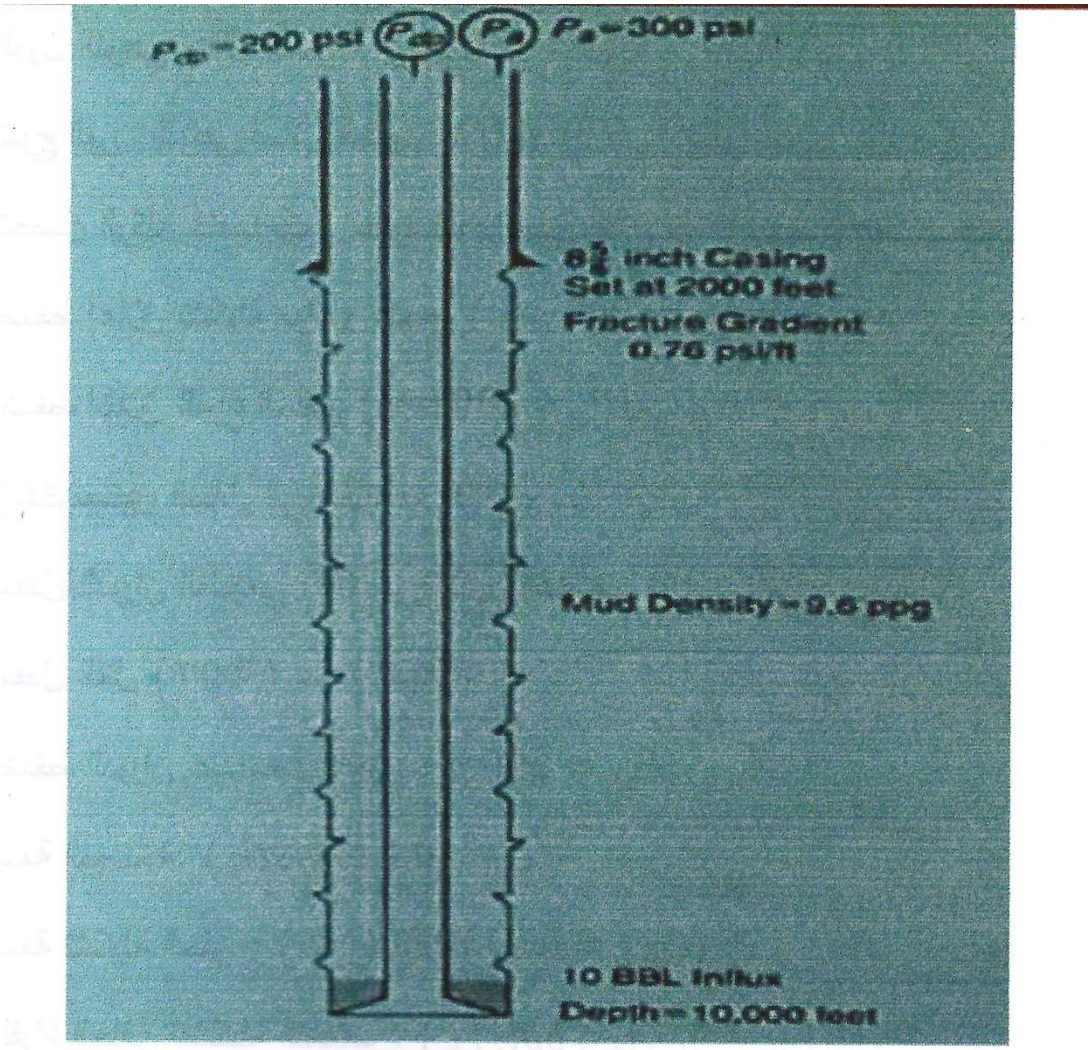
سعة تشكيلة الحفر: $(C_{dpi} = 0{،}0142bbl/ft)$.

الفراغ الحلقي لتشكيلة التغليف: $(C_{dpcu} = 0{،}0428bbl/ft)$.

سعة الفراغ الحلقي للبئر: $(C_{dpi} = 0{،}0406bbl/ft)$.

ملاحظة:

من أجل البساطة في الحسابات والتوضيح، لم يتم الأخذ بالاعتبار أي أعمدة حفر.



الشكل (4-3) مخطط البئر

المطلوب:

قم بشرح عملية القتل باستعمال طريقة الحفار.

الحل:

1- إنشاء مخطط للضغط بالعلاقة مع الحجم.

2- يجب القيام بتسجيل ضغط إغلاق تشكيلة مواسير الحفر و ضغط إغلاق تشكيلة مواسير التغليف.

$$(P_a = 300psi)\ \ (P_{dp} = 200psi)$$

3- ضغط المضخات عند معدل القتل البالغ (30spm) باستعمال المعادلة:

$$P_c = P_{ks} + P_{dp} = 500 + 200 = 700psi$$

4- يجب إيصال المضخة إلى القيمة (30spm) و الحفاظ على قيمة الضغط مساوية لـ (300psi) في الفراغ الحلقي عند مواسير التغليف.

5- يجب القيام بقراءة و تسجيل ضغط تشكيلة مواسير التغليف المساوي إلى (700psi) و التأكيد على ضغط مواسير الحفر.

6- يجب القيام بإزاحة سائل الحفر الملوث الموجود في الفراغ الحلقي و الغاز القادم من الطبقة إلى البئر، عن طريق الإبقاء على ضغط مواسير الحفر ثابتاً عند القيمة (700psi).

7- يجب القيام بقراءة و تسجيل ضغط تشكيلة المواسير المساوي إلى القيمة (700psi و ضغط مواسير التغليف المساوي إلى القيمة $200psi$).

8- يجب القيام بإغلاق البئر عن طريق الإبقاء على ضغط تشكيلة المواسير ثابتاً عند (200psi) و السماح للبئر بالاستقرار.

9- التأكد من خروج الغاز بأكمله من سائل الحفر.

$$P_a = P_{dp} = 200psi$$

10- القيام بتحديد الوزن النوعي لسائل القتل

$$\rho_1 = \frac{\rho_m . D + P_{dp}}{0{،}052D} = \frac{0{،}5(10{،}000) + 200}{0{،}052(10{،}000)} = 10ppg$$

11- القيام بتحديد الأشواط للحفرة باستعمال المعادلة:

$$STB = \frac{C_{dp}.l_{dp} + C_{dc}.l_{dc} + C_{hw}.l_{hw}}{C_p}$$

$$= \frac{(0{،}0142)(10{،}000)}{0{،}1}$$

=1420 Strokes

12- يجب القيام بزيادة الوزن النوعي لسائل الحفر عند السطح إلى القيمة:

$$\rho_1 = 10ppg$$

13- يجب إيصال المضخة إلى القيمة (30spm) و الإبقاء على ضغط تشكيلة المواسير ثابتاً عند (200psi).

14- القيام بالإزاحة باستعمال سائل الحفر ذو الوزن النوعي $(10ppg)$ إلى الحفرة الخارجية بمعدل (1420) شوط و الإبقاء على الضغط في الفراغ الحلقي ثابتاً عند (200psi) و من المفترض أن لا يتغير حجم الصمام الخانق.

15- عند قيمة أشواط (1420)، يجب القيام بمراقبة و تسجيل ضغط الدوران الخاص بعمود الحفر، على افتراض أن الضغط المراقب هو (513psi).

16- إجراء دوران لسائل الحفر ذو الوزن النوعي $(10ppg)$ إلى السطح و الإبقاء على ضغط تشكيلة مواسير الحفر ثابتاً عند القيمة (513psi).

17- القيام بإغلاق البئر و التأكد من أن:

$$P_a = P_{dp} = 0psi$$

حيث أن البئر مقتولة.

18- القيام بإجراء دوران لسائل الحفر و زيادة الوزن النوعي له إلى مستوى مسموح به لكي يحصل الامتزاج، بشكل عام بين (150-500psi) فوق ضغط الطبقة.

$$P_h or 10{،}3 to 11{،}0ppg$$

19- الاستمرار بالحفر مباشرة.

النتـــائـــج

- ✓ تعد مشكلة اندفاع الآبار النفطية و الغازية من أخطر المشاكل التي تحدث عند حفر الآبار.
- ✓ لا تقتصر خطورة مشكلة اندفاع الآبار على الخسارة المكمنية (ضغط الطبقة المنتجة، مخزون الموائع الطبقية) أو خسارة الوقت في معالجة المشكلة و تكلفة المعالجة، بل يتعدى ذلك إلى أضرار بيئية تؤثر في البيئة المحيطة بالبئر المندفعة بشكل سلبي.
- ✓ لا تحدث مشكلة الاندفاع بشكل مباشر أو بشكل فوري، بل تحدث تدريجياً بدءً من دخول الموائع الطبقية لداخل البئر و انخفاض الوزن النوعي لسائل الحفر و ازدياد حجم سائل الحفر من تشكل مخدات غازية ضمن البئر.
- ✓ تعد الأسباب المتعلقة بالطاقم الفني المشرف على عملية الحفر (عدم تركيب موانع الاندفاع المناسبة، عدم تحضير سائل الحفر ذو الوزن النوعي المناسب و المطلوب لحفر الطبقات المنتجة و التأكد من جاهزية فواصل الغاز في دارة

تنظيف سائل الحفر) من أهم الأسباب التي تؤدي لحدوث الاندفاع.

- ✓ إن عدم الملاحظة الجيدة من قبل الطاقم الفني أثناء عملية حفر الطبقات المنتجة لحالات فقدان سائل الحفر و عدم أخذها بالحسبان، مهما كانت درجة فقدان السائل يعد سبباً هاماً في حدوث عملية الاندفاع لأن فقدان السائل مهما يكن قليلاً يمكن أن يزداد مع ازدياد عمق الحفر و زيادة الوزن النوعي لسائل الحفر مؤدياً إلى حدوث فقدان كلي لسائل الحفر مما يؤدي إلى إفراغ البئر من سائل الحفر و اندفاع الموائع الطبقية داخل البئر.
- ✓ إن عدم ملاحظة مؤشرات حدوث الركلة و معالجتها بشكل فوري يؤدي إلى حدوث الاندفاع.
- ✓ إن طريقة الحفار تعد من أبسط الطرق الحقلية لمعالجة الاندفاع.
- ✓ سلبية طريقة الحفار هي في الزمن اللازم لتحضير و مزج سائل الحفر الأثقل الذي يؤدي في بعض الأحيان إلى طفو الفقاعات الغازية و الوصول إلى رأس البئر.
- ✓ إجراء الاختبارات الدورية و الصيانة من فترة لأخرى لموانع الاندفاع و ذلك تحسباً لأي طارئ.
- ✓ القيام بعمليات الرفع و الإنزال ببطء و ذلك تجنباً لحدوث عمليتي الشفط و الحقن.

المقترحات

من خلال الدراسة السابقة نقترح ما يلي:

- تركيب موانع الاندفاع بشكل كامل (أعمى – مواسير – عام) بما يتناسب مع قطر البئر و التأكد من جاهزيتها الفنية.
- تحضير سائل الحفر بوزن نوعي يسمح بتحقيق ضغط هيدروستاتيكي أكبر بقليل من ضغط الطبقة (10–15) جوي و التقليل قدر الإمكان من لزوجة سائل الحفر إلى الحد الذي لا يؤثر على خاصية تنظيف قعر البئر و حمل الفتاتات إلى السطح.
- معالجة مجالات فقدان سائل الحفر أثناء حفر الطبقة المنتجة و إغلاقها بشكل كامل إن أمكن ذلك.
- المراقبة الجيدة لمؤشرات حدوث الركلة الموضحة في الفصل الثاني لمعالجة السبب بشكل فوري.
- عند حدوث الاندفاع و إغلاق البئر ينصح باستخدام طريقة الحفار.

المراجع العلمية

• المراجع بالعربية

1) أ . د. طاهر نصور، د. مسرور سليمان- هندسة الحفر (3)- القسم النظري – كلية الهندسة الكيميائية و البترولية، منشورات جامعة البعث(2008-2009).

2) د. عدنان ابراهيم البارودي، د. مسرور سليمان – هندسة الحفر (3)- القسم العملي- كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، منشورات جامعة البعث.

3) الشركة السورية للنفط، تقارير آبار الشركة السورية للنفط.

4) مشاريع تخرج سابقة.

• المراجع الإنكليزية

1) Blowout and well control Handbook-Robert D Grace.

2) ABERDEEN DRILLING SCHOOLS & Well Control Training Center – WELL CONTROL for rig-Site Drilling Team-2002.

3) Cameron international Grop – Cameron whit by -2008.