الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

الإجراءات التقنية لإغلاق موانع الاندفاع في منصات الحفر البحرية

دراسة أعدت لنيل درجة الإجازة في كلية هندسة البترول

إعـداد الطلاب
ابراهيم أحمد الحاج أحمد حامد عبد القادر المحمد الجاسم
حازم ناصر السيد شاكر

إشراف الدكتور المهندس :
عدنان ابراهيم البارودي

العـــام الدراســـي
2025 – 2024

الفهرس

مقدمة..... ٥

الفصل الأول ٧

١-١- المقدمة..... ٧

١-١-١- تعريف الرفسة (Kick)..... ٨

١-١-٢- تعريف التدفق (Influx)..... ٨

١-٢- الإجراءات المتبعة للتحكم بالبئر ومنع حدوث الاندفاع ٨

١-٣- أسباب دخول الموانع الطبقية للبئر ١٢

١-٣-١- ضـــغط عمود ســـائل الحفر داخل البئر المعاكس على الطبقة غير كافٍ..... ١٢

١-٣-٢- ضـغط عمود سـائل الحفر البئر المعاكس على الطبقة ضـمن الحدود العادية ومع هذا يحدث تدفق *(Pw<Pf)*..... ١٤

١-٣-٣- المراقبة غير الصحيحة لحركة مواسير الحفر (حفر التغليف).. ١٤

١-٣-٤- الفشل في الحفاظ على البئر مملوء بالسائل خلال الحفر..... ١٤

١-٣-٥- Swabbing and surging..... ١٥

١-٣-٦- أشكال الضغط غير الطبيعية..... ١٧

١-٤- تلوث سائل الحفر بالغازات..... ١٩

١-٤-١- طرق دخول الغازات إلى سائل الحفر..... ١٩

١-٤-٢- أشكال تواجد الغازات إلى سائل الحفر..... ١٩

١-٤-٣- هجرة الغاز..... ٢٠

الفصل الثاني ٢٢

٢-١- انفجار المنصة البحرية (deep water horizon)..... ٢٢

٢-١-٢- أسباب حدوث الاندفاع..... ٢٤

٢-٢- اندفاع بئر العزبة..... ٢٦
٢-٢-١- التفاصيل عن البئر وكيفية حدوث الاندفاع ٢٧
٢-٢-٢- ملاحظات حول المشكلة..... ٢٨
٢-٢-٣- أسباب الاندفاع ٢٨
الفصل الثالث..... ٣٠
٣-١- معدات وتجهيزات فوهة البئر ٣٠
٣-٢- أجهزة موانع الاندفاع (BOPS) ٣١
٣-٣- أنواع موانع الاندفاع (Blow out preventer Type) ٣٢
٣-٣-١- مانع الاندفاع الحلقي (BOP Annular) ٣٣
٣-٣-١-١- نظام حركة المكبس عند فتح وإغلاق الموانع الحلقية..... ٣٤
٣-٣-١-٢- المواصفات التصميمية لوحدات مانعات التسرب الحلقية..... ٣٦
٣-٣-١-٣- آلية إغلاق مانع الاندفاع الحلقي ٣٨
٣-٣-١-٤- مميزات وعيوب موانع الاندفاع الحلقية ٤٠
٣-٣-٢- مانع الاندفاع المكبسي (Ram Preventers) ٤١
٣-٣-٢-١- آلية فتح وإغلاق مانع الاندفاع المكبسي: ٤٣
٣-٤- تجهيزات منظومة موانع الاندفاع ٤٥
٣-٤-١- وصلة موانعه الاندفاع (BOP SPOOLS) ٤٥
٣-٤-٢- وصلة مواسير التغليف (Casing Heads) ٤٦
٣-٤-٣- خطوط القتل والخنق (Choke and Kill Lines) ٤٧
٣-٤-٤- مجموعة شبكة صمامات الخانق (Choke Manifold) ٤٨
٣-٤-٥- صمام تنظيم الضغط (Chokes) ٥٢
٣-٥- المحول (Diverter) ٥٤
٣-٦- موانع الاندفاع الداخلية (Internal Blow out Preventes) ٥٤

٣-٧- وحدة التغذية الهيدروليكية (أسطوانات تجميع المواقع)..... ٥٤
الفصل الرابع ٥٤
٤-١- إجراءات إغلاق موانع الاندفاع على منصة بحرية ثابتة..... ٥٤
٤-١-١- إجراءات أثناء الحفر ٥٦
٤-١-٢- إجراءات الإغلاق الطري لموانع الاندفاع أثناء الرفع والانزال... ٥٦
٤-١-٣- إجراءات الإغلاق القاسي لموانع الاندفاع أثناء الحفر ٥٧
٤-١-٤- إجراءات الإغلاق السريع لموانع الاندفاع أثناء الحفر..... ٥٧
٤-٢- مقدمة عامة لإجراءات الإغلاق منصة عائمة ٥٨
٤-٢-١- إجراءات الإغلاق اللين لموانع الاندفاع أثناء الحفر:..... ٦١
٤-٢-٢- إجراءات الإغلاق القاسي على منصة عائمة ٦٢
٤-٢-٣- إجراءات الإغلاق السريع على منصة عائمة ٦٣
النتائج والمقترحات ٦٥
المراجع العلمية ٦٩

مقدمة

إن زيادة الطلب على الطاقة في العالم ولاسيما النفط والغاز استوجب توسيع دائرة البحث عن هذه المواد المهمة لسد متطلبات الحياة والصناعة ، حيث يعتبر النفط والغاز العصب الرئيسي للصناعات العصرية وانطلاقاً من هذا المبدأ تم حفر الآبار النفطية والغازية وتطورت تقنياتها بمرور الزمن ، وهنا لابد من القول أن عمليات حفر الآبار النفطية والغازية تواجه مشاكل عديدة ومتنوعة وما يترتب عليها من زيادة في زمن إنجاز البئر وارتفاع الكلفة الاقتصادية ، هذه المشاكل منها ما قد ينتج عن الشروط الطبقية ومحتوى الطبقات وطبيعتها ومنها ما قد ينتج من الطريقة المتبعة بالحفر (ريجيم الحفر) والعناصر التي تعمل على إنجاز البئر ولعل من أبرز المشاكل وأكثرها خطورة التي تواجه العاملين في مجال الحفر هي الاندفاعات الطبقية التي قد تتسبب بخسائر في الأرواح البشرية وخسائر اقتصادية فادحة في المخزون النفطي و الغازي ضمن الطبقات إضافة إلى الكلفة الهائلة اللازمة للسيطرة على الاندفاعات الحاصلة ومن هنا تأتي أهمية المعرفة والإحاطة الكاملة بهذا الموضوع من طرق و إجراءات السيطرة على الآبار ومعرفة بوادر الاندفاعات ومؤشراتها المختلفة إضافة إلى معرفة المعدات والأجهزة المستخدمة في وحدات الحفر لمنع الكوارث التي قد تحصل بسبب هذه الاندفاعات ، حيث يكون الضغط الذي يشكله عمود سائل الحفر خلال عملية الحفر أكبر من الضغط الطبقي المتوقع ويكون هذا الضغط كافياً لتشكيل ضغط معاكس على الطبقة ومنع المانع الطبقية من التدفق نحو جوف البئر ولكن وللعديد من الأسباب قد ينخفض الضغط الهيدروستاتيكي في البئر ليصبح ما دون الضغط الطبقي مؤدية إلى تسرب موانع الطبقة بشكل تدريجي فإن لم يتم تدارك المشكلة والتسرب الحاصل قد يتطور الأمر ليتحول إلى اندفاع كارثي ويخرج الأمر عن سيطرة طاقم الحفر.

يمكننا أن نعرف الاندفاع الطبقي بأنها عملية انتقال غير مرغوب وغير متحكم بها لموانع الطبقة النفطية والغازية إلى البئر إذا كان الضـــغط الطبقي للطبقة التي يتم حفرها لســـبب ما أكبر من الضغط الهيدروستاتيكي الذي يشكله عمود سائل الحفر في البئر ويسمى تسرباً في مرحلته الأولى ، وإذا لم يتخذ الإجراء المناســب يمكن أن يتطور ليصــل إلى مرحلة الاندفاع أي قذف .

كل محتويات البئر خارجاً واســتبدالها بمحتويات الطبقة بحيث يصــبح البئر جزءاً من الطبقة المحفورة .

تتضمن هذه الدراسة أربعة فصول حيث يتضمن الفصل الأول مراحل:

تشـكل الرفسـة (kicking) ، ومن ثم حدوث الاندفاع في البئر ، والآثار السـلبية الناتجة عن هذه الاندفاعات ، والإجراءات المتبعة لتلافي الاندفاع والتحكم بالبئر ، كما ســـنبحث في أسباب دخول الموانع الطبقية للبئر وأشكال تلوث سائل الحفر بالغازات.

ونذكر في الفصل الثاني أمثلة عن حالات اندفاع آبار النفط والغاز .

في الفصـــل الثالث نذكر معدات وتجهيزات فوهة البئر وأجهزة موانع الاندفاع (BOPS) واستخدامها وأنواعها بالإضافة إلى تجهيزات منظومة موانع الاندفاع.

الفصـــل الرابع ندرس إجراءات إغلاق موانع الاندفاع في منصـــات الحفر البحرية الثابتة والعائمة ، وبعض النتائج والمقترحات التي تتعلق بالدراسة.

الفصل الأول:

اندفاع الآبار النفطية والغازية

١-١-المقدمة : [١]

إن تعريف التحكم بالآبار على أنه اســـتخدام ســـائل الحفر للتحكم في ضـــغط الموائع الطبقية (نفط ، غاز ، مياه طبقية) ، حيث يجب أن يكون لسـائل الحفر كثافة من شـأنها أن توفر الضغط الكافي لتوازن الضغط الطبقي ، حيث إذا تم فقدان هذا الوزن الزائد حتى بشكل مؤقت يمكن أن تدخل سوائل الطبقة في البئر.

الاندفاعات لا تحدث بشـكل مفاجئ ، بل تنمو بشـكل تدريجي ، أثناء حفر الطبقات الخازنة للمواد الهيدروكربونية ذات الضغوط الكبيرة ، وفي حال كان الضغط الذي يشكله عمود سائل الحفر غير كاف وأقل من الضـــغط الطبقي يدخل جزء من محتويات الطبقة لداخل البئر يسـمى تسـرب في البداية أو يطلق عليه الرفسـة (Kicking) ، وعند ملاحظة أية مؤشـر من مؤشـــرات حدوث دخول الموائع الطبقية يمكن الســـيطرة على البئر من خلال إغلاق موانع الاندفاع ، واتخاذ الإجراءات التكنولوجية الخاصـــة بمعالجة العوامل التي أدت إلى انخفاض ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر .

وإذا لم يلاحظ أي مؤشـر بتطور الأمر إلى نقصـان مسـتمر في الوزن النوعي لسـائل الحفر واستمرار دخول الموائع الطبقية إلى درجة تصبح البئر خارج السيطرة ، عندئذٍ يقال أن البئر بدأت بالاندفاع (blowing out)، أي قذف كل محتويات البئر خارجاً واسـتبدالها بمحتويات الطبقة بحيث يصبح البئر جزءاً من الطبقة.

أما تدفق المياه الطبقية فهو أسـهل التدفقات الطبقية وأقلها كلفة كونها محصـورة فقط في زمن الاندفاع ولس له مضاعفات وهو يحدث عند فتح طبقة مائية تحت ضغط 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 .

١-١-١- تعريف الرفسة (Kick) : [١]

هي دخول سوائل غير مرغوب فيها في البئر نتيجة زيادة الضغط الطبقي عن الضغط الهيدروستاتيكي الفعال لسائل الحفر في البئر .

١-١-٢- تعريف التدفق (Influx) : [١]

هو دخول سوائل الطبقة إلى البئر والذي لا يتسبب على الفور في أن يتجاوز الضغط الطبقي الهيدروستاتيكي للسائل الموجود في البئر ، ولكن قد يحدث التدفق إن لم يتم التعرف عليه على الفور خاصة إذا كان سائل الطبقة عبارة عن غاز .

والآثار السلبية للاندفاعات يمكن تخليصها بمايلي :

١- تلف جهاز الحفر.

٢- المخاطر الكبيرة على العناصر البشرية.

٣- ضياع كبير في الطاقة الطبقة للمكمن إلى الحد الذي يجعل استثماره غير اقتصادي.

٤- تلوث البيئة المحيطة.

١-٢-الإجراءات المتبعة للتحكم بالبئر ومنع حدوث الاندفاع : [٢]

لضمان التحكم الأساسي في البئر ، يجب مراعاة الإجراءات والاحتياطات التالية :

١- المراقبة المستمرة للوزن النوعي لسائل الحفر : يحدد الوزن النوعي لسائل الحفر بحيث يؤمن ضغط معاكس أصغري على الطبقة منطلقين من ضرورة تأمين الشروط اللازمة للوصول إلى سرعة حفر عظمى ففي الآبار الانتاجية وعند اختراق طبقات متماسكة غير خازنة يفضل الحفر بالتعادل ($P_F = P_W$) بل أحياناً نستخدم سائل الحفر بوزن نوعي منخفض يحقق ضغط داخل البئر أقل من الضغط الطبقي حيث أنه عند مروره من قاع البئر وحمله لنواتج الحفر يؤمن من تحقيق التعادل ، أما في الآبار الاستكشافية أو عند اختراق الطبقات ذات النفوذية المرتفعة أو تلك المحتمل

احتوائها على الغاز أو على نسب مرتفعة من G/O فيجب استخدام ضغط معاكس كاف للتمكن من الحفر بدرجة أمان كبيرة .

ولضمان ضغط عمود سائل الحفر أكبر من الضغط الطبقي يتم تنفيذ هذه العملية كل ثلاثين دقيقة على الأقل ، يمكن زيادة الوزن النوعي السائل عن طريق إضافة المثقلات يتم تخفيضه إما عن طريق إضافة المخففات ، أو استخدام معدات التحكم في المواد الصلبة ، ينصح بزيادة الوزن النوعي لسائل فوق المجال النفطي عند وجود طبقة غاز مفتوحة على البئر .

٢- المراقبة المستمرة لحجم سائل الحفر الداخل والخارج من البئر :

ويتم ذلك باستخدام سجل دقيق يسمى trip sheet الشكل (١-١) حيث يتم تسجيل حجم السائل الذي دخل في البئر والخارج من البئر ، عادةً ما يتم استخدام خزان سائل الحفر كمعيار لقياس الأحجام .

٣- إبقاء البئر مملوء بالسائل بشكل دائم : عند إخراج مواسير الحفر من البئر، سينخفض الحجم داخل البئر بالتالي يجب ضخ كمية معينة من السائل في البئر لتعويض حجم الصلب الذي تمت إزالته .

٤- المراقبة المستمرة لخواص سائل الحفر والمانع الداخلة إليه :

وتتضمن الكشف عن الغاز وتحليله وتسجيل درجات حرارة خط التدفق وتسجيل معدلات الاختراق .

٥- يجب استخدام سوائل بخصائص حركية بقيم دنيا (η ، Zo ، θ) وبما يؤمن رفع الفتاتات إلى السطح .

η : الزوجة البلاستيكية

Zo : نقطة الخضوع.

θ : الهلامية.

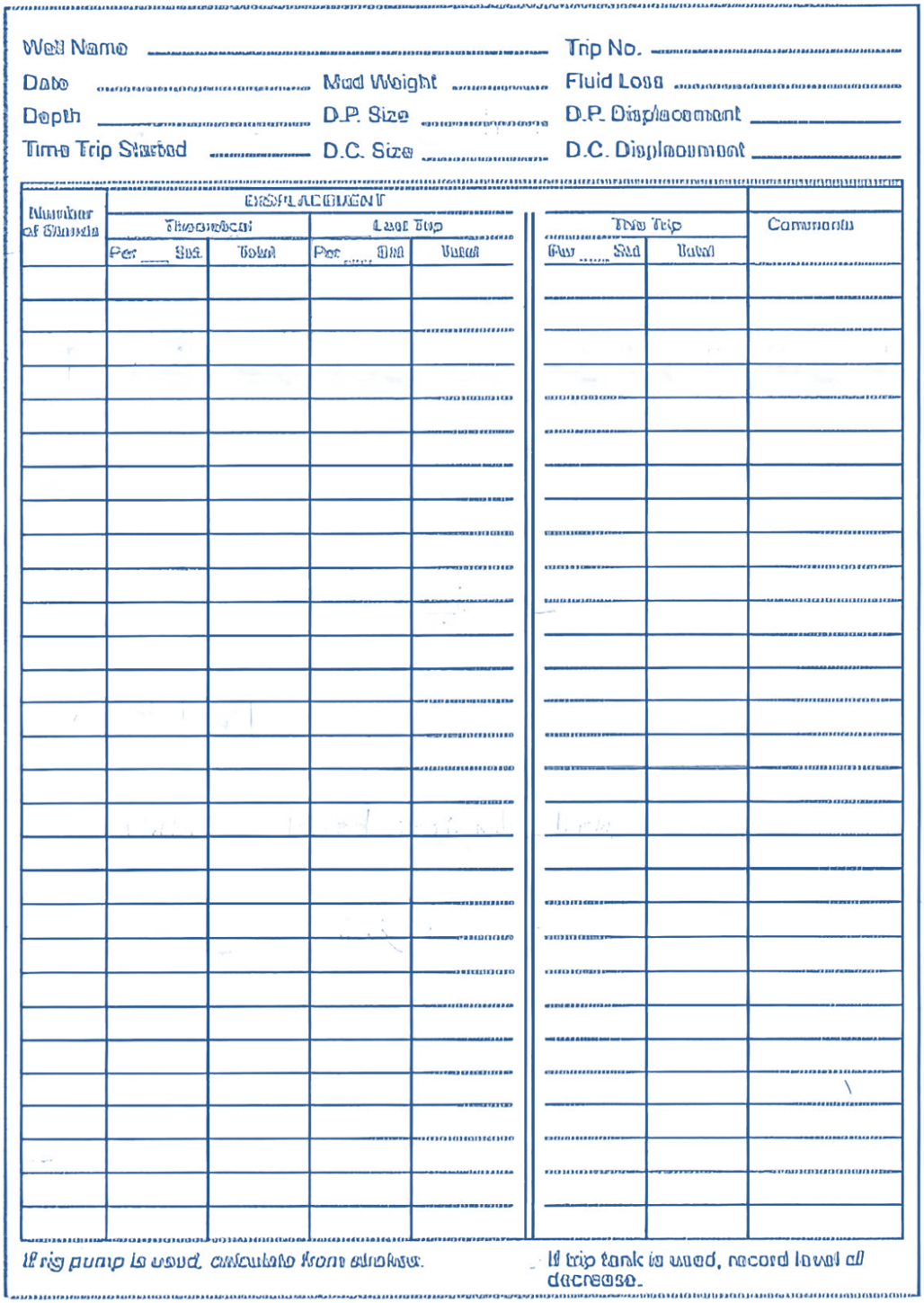
٦- تجنب رفع المواسير ورأس الحفر ملبد وذلك لزيادة عدد دورات الطاحون مع استمرار الضخ ووقف الحفر قبل البدء بالحفر (لإزالة اللبادة عن رأس الحفر) .

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

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

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

١٠- 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 الرفع وعند ملاحظة وجود فقاعات على السطح يجب البدء بالضخ بسرعة وتنظيف السائل من الغازات.


Well Name _____ Trip No. _____

Date _____ Mud Weight _____ Fluid Loss _____

Depth _____ D.P. Size _____ D.P. Displacement _____

Time Trip Started _____ D.C. Size _____ D.C. Displacement _____

Number of Stands	DISPLACEMENT				Trip Tank		Comments
	Theoretical		Last Trip		This Trip		
	Per ___ Std.	Total	Per ___ Std.	Total	Per ___ Std.	Total	

If rig pump is used, calculate from strokes.

If trip tank is used, record level of decrease.

الشكل (١-١) trip sheet

٣-١-أسباب دخول الموائع الطبقية للبئر : [٢]

يحدث دخول الموانع الطبقية للبئر للأسباب التالية :

١-٣-١- ضغط عمود سائل الحفر داخل البئر المعاكس على الطبقة غير كافٍ: [٢]

ويمكن التعبير عنها بالصيغة الرياضية الآتية :

$$P_w + P_{hd} + P_o < P_F$$

P_w : 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 الموانع الطبقية للبئر في هذه الحالة يعتمد على سماكة الطبقة ونفوذيتها .

فرق الضغط $P_F - P_w$ طبيعية الموانع الطبقية وقطر البئر .

إن تحليل العلاقة السابقة يبين لنا أسباب حدوث التدفق :

- 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 .
- P_w : الضغط داخل البئر (ضغط عمود سائل الحفر) ، يمكن أن ينخفض بحالتين هما :

أ- تناقص الوزن النوعي لسائل الحفر وينتج عن :

- ❖ التمديد الزائد بالماء أو استخدام 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.

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

- تهريب سائل الحفر في الطبقة.
- إهمال تعبئة البئر أثناء الرفع.

- الضغط الحركي لسائل الحفر **P_{hd}** والذي يؤمن حركة السائل في البئر يساهم مع **P_w** في جعل الضغط مقابل الطبقة القابلة محتوياتها للتدفق باتجاه البئر أكبر من الضغط الطبقي (أثناء حركة السائل في البئر) ، ولكن أثناء التوقف عند الدوران ورفع المواسير إلى السطح فإن تأثير الضغط يزول مما قد يجعل الضغط داخل البئر أقل من الضغط الطبقي.

الضغط في الفراغ الحلقي يمكن حسابه بالعلاقة :

$$Phd = \frac{48\eta vl}{(Db-D)2} + \frac{6\theta L}{(Db-D)}$$

η : اللزوجة البلاستيكية لسائل الحفر.

$\boldsymbol{\theta}$: التوتر الديناميكي للقص .

$\boldsymbol{V}$: سرعة صعود سائل الحفر في الفراغ الحلقي .

$\boldsymbol{Db}$: قطر البئر .

$\boldsymbol{L}$: طول مواسير الحفر.

يحدث التسرب أيضاً لأسباب مختلفة نبين فيما يلي بعضاً منها :

أثناء الرفع رغم أن $P_f=P_w$ يتحرك سائل الحفر باتجاه الأسفل ليشغل الكان الذي كانت تشغله ماسورة الحفر مما يتسبب في انخفاض P_w بسبب تناقص عمود سائل الحفر H (هذا إذا لم يجري تعبئة البئر) وقد يصبح **$P_w < P_F$**

١-٣-٢- ضـغط عمود سـائل الحفر داخل البئر المعاكس على الطبقة ضـمن الحدود العادية ومع هذا يحدث تدفق ($P_w < P_F$) : [٢]

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

إن الفتاتات الصـخرية الناتجة عن الحفر في الطبقة الخازنة (أو تلك الناتجة عن دوران البئر مقابل الطبقة المنتجة) تصـعد مع سـائل الحفر ، وكلما ابتعدت عن القاع انخفض الضـغط عليها فتتمدد الغازات داخلها ثم تخرج بشـكل فقاعات مقللة مع 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 بسـبب انضـغاط الغازات ، وبالنتيجة فإن انحلال الغازات التي تخرج من النواتج 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 خاصـية الانتشـار نتيجة الفرق في التركيز ، إذ أن الغازات ونتيجة الفرق في تركيزها في الطبقة وداخل البئر تنتشـر خلال كعكة الحفر إذ كان البئر في وضـعية التوقف عن الضخ فإنها تبقى على سطح جدران البئر بشكل سلسلة من الفقاعات التي تتحرك عند بدء حركة السـائل وتتحرك باتجاه السـطح بالنتيجة فإن التدفق في حال كان الضـغط المعاكس على الطبقة كافياً ليس له مخاطر تذكر شـريطة تحديدها والتعامل معها بشـكل مناسـب (فصلها على السطح عند ملاحظة زيادة تركيزها) .

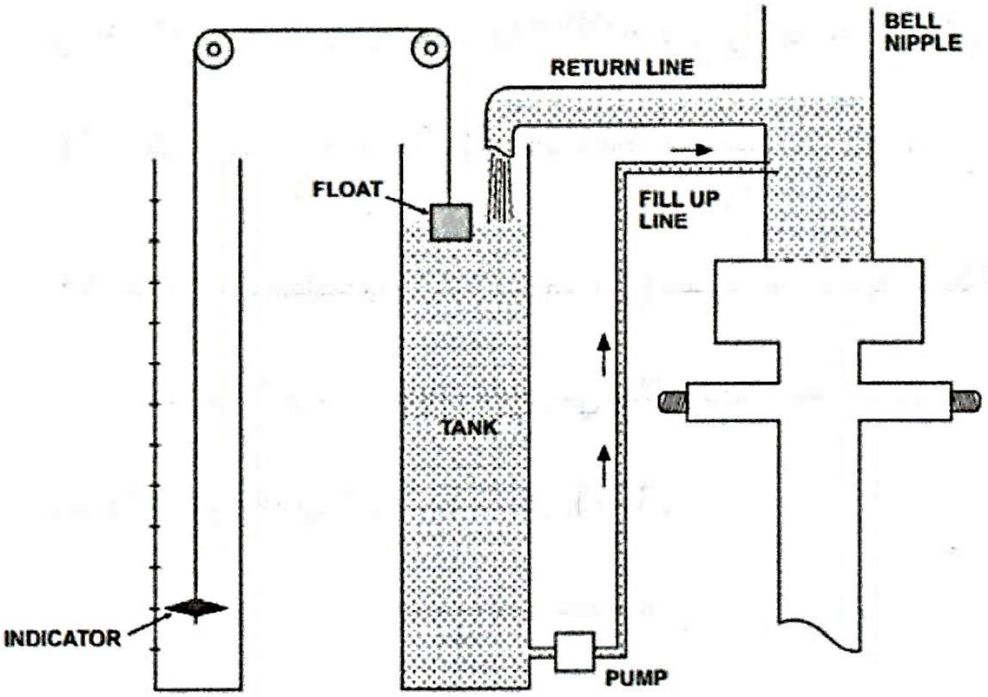
١-٣-٣- المراقبة غير الصحيحة لحركة مواسير الحفر (حفر التغليف) : [٢]

التأكد من أن البئر يأخذ كمية مناسـبة من سـائل الحفر . وحدوث فقدان دورة سـائل الحفر وعدم كفاءة الوزن النوعي لسائل الحفر .

١-٣-٤- الفشل في الحفاظ على البئر مملوء بالسائل خلال الحفر : [٢]

إذ انخفض مسـتوى السـائل في البئر أثناء إخراج مواسـير الحفر، فسـيحدث انخفاض في ضغط القاع . وإذا تجاوز حجم الانخفاض حداً معيناً فقد يحدث اندفاع .

يجب أن تبقى البئر ممتلئة بالسائل حيث يمكن مراقبته من خلال خزانات سائل الحفر للتأكد من أن البئر تأخذ كمية السائل اللازمة ، إذا فشل البئر في أخذ حجم السائل الصحيح ، فيمكن اكتشافه . يظهر الشكل



الشكل (٢-١) دارة التعويض بسائل الحفر

ومن المهم للغاية أن طواقم الحفر تراقب بشكل صحيح الإزاحة وتملأ الأحجام عند رفع مجموعة مواسير الحفر ، ويؤدي عدم وجود هذه الممارسة الأساسية إلى حدوث قدر كبير من حوادث عدم السيطرة على البئر .

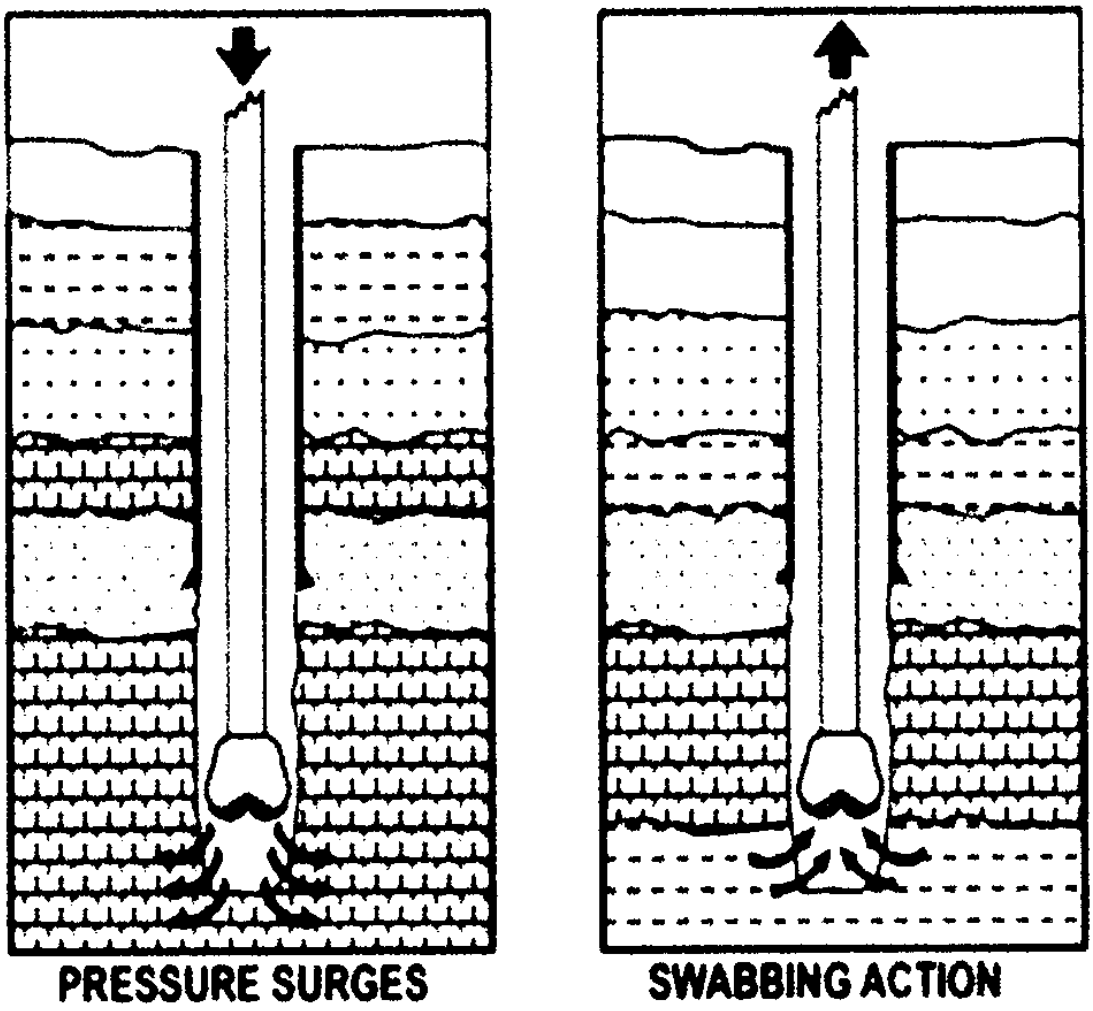
١-٣-٥- swabbing and surging [١]

Swabbing : هو عندما يصبح ضغط القاع أقل من ضغط الطبقة بسبب آثار سحب تشكيلة الحفر ، والذي يسمح بتدفق سوائل الطبقة إلى تجويف البئر ، عند سحب تشكيلة

سيكون هناك دائماً بعض التخلخل في ضغط القاع حيث يتم فقدان الضغط بسبب الاحتكاك ، والاحتكاك بين سائل الحفر وتشكيلة الحفر التي يجري سحبها .

ويمكن أيضاً أن يكون سبب الـ Swabbing بواسطة الأدوات الموجود أسفل البئر (الدقاقات ، المثبتات ، الصمامات ، أجهزة أخذ العينات .... الخ).

SURGING : يحدث يتم زيادة ضغط القاع بسبب آثار تشغيل تشكيلة الحفر بشكل سريع جداً في البئر ، قد يحدث فقدان في سائل الحفر حفره إذا لم تؤخذ الرعاية وتجاوز ضغط التشقق للطبقات . لاحظ الشكل (٣-١) .



الشكل (٣-١) swabbing and surging

العوامل التي تؤثر على SABBING و Suriging هي :

١- **سـرعات السـحب** : يجب السـيطرة على سـرعات الدفع والإنزال للحد من إمكانية الـ SWAB ينصح برفع المواسير ببطء لتجنب هبوط الضغط خصوصاً عند استخدام سائل لزج وفراغ حلقي كبير ومعالجة التهريب بسرعة .

٢- **زيادة فاقد الرشح** : مما يؤدي إلى تشكل كعكة سمكية جدران البئر .

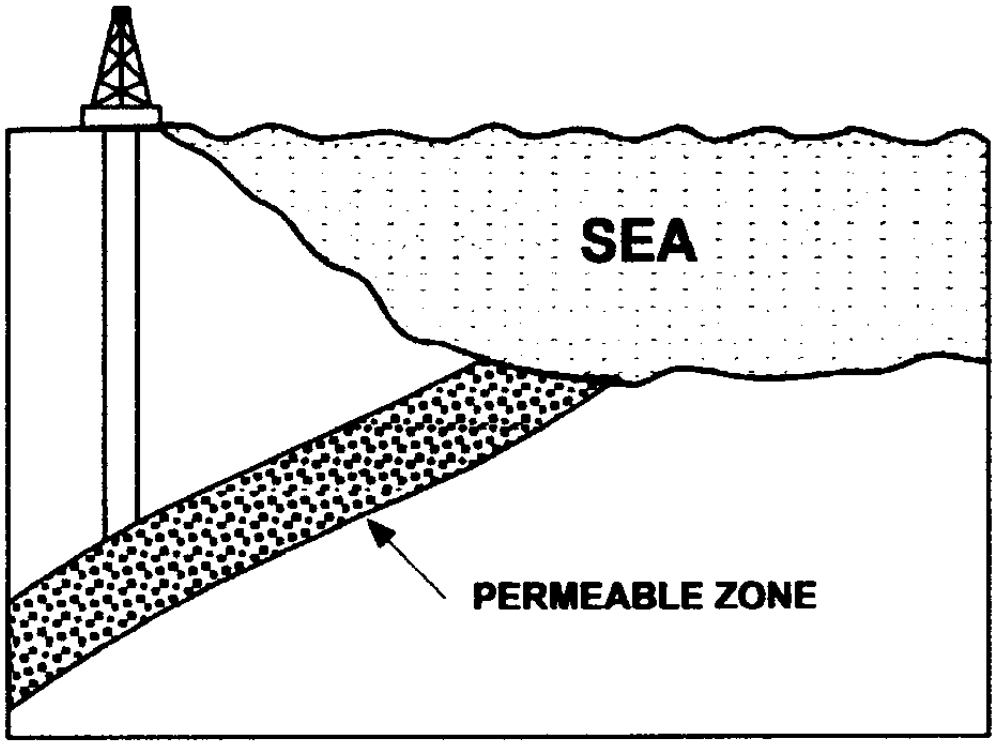
٣- **زيادة لزوجة سـائل الحفر** : يؤدي إلى سـحب كمية كبيرة من الموانع الطبقية وخاصـة الغاز .

إذا اكتشـف عملية ال Swapping وظلت البئر لا تتدفق فيجب تثبيت صـمام عدم الرجوع وإعادة الدقاق إلى الأسـفل والتحقق من التدفق في كل سـتاند وبمجرد العودة إلى القاع يجب إجراء دوران البئر وإجراء فحص لعينة القاع .

١-٣-٦- أشكال الضغط غير الطبيعية : [١]

وهناك بسـبب آخر للاندفاعات من الحفر بطريق الخطأ في مناطق نفوذه ذات ضـغط غير طبيعي ، هذا يحدث بسـبب تجاهل التحذيرات التي حدثت والتي تسـاعدنا في اكتشـاف الضـغوط الغير طبيعية ، بعض هذه الإشـارات التحذيرية هي (زيادة معدل الاختراق ، قطع الغاز من السـائل ، انخفاض في كثافة الصـخر ، زيادة في حجم القطع ، زيادة في درجة حرارة خط التدفق) .

في بعض المناطق ، إذا كانت هناك طبقة رملية ومفتوحة على البحر أو إلى السطح ، فإنها تتصـل هيدروديناميكياً مع المصـدر المائي وبالتالي تبقى محتفظة بضـغط إضـافي الشـكل (١-٤) .



الشكل (٤-١) طبقة ذات ضغط غير طبيعي

توجد ضـغوط تكوين عالية بشـكل غير طبيعي في جميع أنحاء العالم في تشـكيلات تتراوح أعمارهم من العصـر بليسـتوسـين (حوالي ١ مليون سـنة) إلى العصـر الكمبري (٥٠٠ إلى ٦٠٠ مليون سـنة) . قد تحدث في أعماق ضـحلة على بعد بضـع مئات من الأقدام فقط أو تتجاوز ٢٠٠٠٠ قدم، وقد تكون موجودة في متواليات الصـخر/الرمل ، أو متواليات ضـخمة من كربونات التبخر.

ترتبط أسـباب ضـغوط التكوين العالية بشـكل غير طبيعي بمزيج من العمليات الجيولوجية والفيزيائية والجيوكيميائية والميكانيكية.

في بحر الشـمال تحدث ضـغوط غير طبيعية بمقاييس متباينة على نطاق واسـع في العديد من التكوينات الجيولوجية .

في الرواسـب التريـاسـية ، تم العثور على ضـغوط عالية التكوين بشـكل غير طبيعي في مناطق تحمل الغاز من الحجر الرملي Bunter في جنوب بحر الشـمال. في جنوب بحر الشـمال أيضـاً، غالباً ما توجد فرط الضـغط في كربونات العصـر البرمي، تتبخر والأحجار الرملية الواقعة بين أملاح Zechsteins الضخمة .

٤-١-تلوث سائل الحفر بالغازات : [٢]

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 .

١-٤-١- طرق دخول الغازات إلى سائل الحفر : [٢]

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

١-٤-٢- أشكال تواجد الغازات في سائل الحفر : [٢]

- غازات منحلة في السائل وتعتمد كميتها على الضغط والحرارة (P,T) 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 تصنيف آخر :

- **Connection gas** : الغاز الذي يدخل إلى البئر عند إضافة ماسورة الحفر.
- **Swab gas** : الغاز الذي يدخل إلى البئر عند رفع المواسير .
- **Formation gas** : غاز الطبقة .

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

$$V_2 \times P_2 = V_1 \times P_1$$

وفي حالة عدم اهمال الحرارة يصبح القانون :

$$\frac{V_2 \times P_2}{T_2} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1}$$

مثال :

$$P_1 = ٩٠ \text{Psi} \quad T_1 = 20\ ^\circ\text{C}$$

$$V_1 = ١٢ bbl \qquad V_2 = ١٢ bbl \quad T_2 = 80^\circ\text{C}$$

$$P_2 = \frac{P_1 \times V_1 \times T_2}{T_1 \times V_2}$$

$$P_2 = 90 \times \frac{12\ (80 + 273)}{20 + 273} \times 12 = 108\ Psi$$

١-٤-٣- هجرة الغاز : [١]

عندما تكون البئر مغلقة إن الغاز ينتقل إلى الأعلى ويلاحظ تزايد ثابت في ضـغط الإغلاق ضـمن مواسـير الحفر **SIDP** والتغليف **SICP** وبما أن الغاز لا يمكنه التمدد بسـبب إغلاق البئر فإنه يحافظ على ضـغطه الأصـلي (ضـغط الطبقة) أثناء انتقاله إلى الأعلى وهذا بسبب :

- زيادة الضغط في البئر وبجميع الاتجاهات **(SICP,SITP)**.
- ارتفاع الضغط على حذاء مواسير التغليف .
- وارتفاع الضـغط على قاع البئر في الوقت الذي يبقى فيه ضـغط الغاز ذاته دون تغيير (ارتفاع الضـغط ناتج عن انخفاض ضـغط عمود سـائل الحفر السـكوني كلما اقتربنا من السطح مع المحافظة على ضغط الغاز ثابت) ومن أجل تقليل الضغط الذي ينقله الغاز

إلى الأعلى (في حالة الإغلاق لفترة طويلة) ينصح بتنفيس جزء من الضغط عن طريق الفالة (Choke)وهذا يتم اجراؤه 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 ١ برميل تحت ضغط 5000psi سوف يصبح حجمها ٢ برميل عند تخفيض الضغط إلى ٢500psi .

$$P_2 \times V_2 = P_1 \times P_1 \quad \rightarrow \quad V2 = \frac{P_1 \times V_1}{P_2}$$

$$5000 \times 1 = 5000 \times V_2$$

$$V_2 = \frac{5000}{2500} = 2bbl$$

حيث :

V_1 : الحجم الأصلي للغاز .

P_1 : الحجم الأصلي للغاز .

P_2 : ضغط للغاز الجديد .

V_2 : الحجم الجديد للغاز عند الضغط P_2 .

الفصل الثاني:

أمثلة عن حالات اندفاع للآبار

٢-١- انفجار المنصة البحرية (deep water horizon) : [٣]

هي كارثة بيئية نجمت عن تسريب نفطي هائل حصل بعد انفجار وغرق المنصة البحرية (water horizon deep) الشكل (١-٢) التابعة لشركة بريتش بتروليوم (BP) البريطانية في خليج المكسيك في (٢٢ أبريل ٢٠١٠) ويعتبر أكبر تسرب نفطي في تاريخ الولايات المتحدة الأمريكية ولعالم ، حيث قدر خفر السواحل الأمريكي مقدار التسرب بـ ٤,٩ مليون برميل تخرج من البئر الواقعة على عمق ١٥٠٠ متر تحت سطح البحر أدى الحادث لفقدان ١١ عاملاً من المنصة ، ولم يتم العثور عليهم إطلاقاً ، وتم الإعلان عن إغلاق البئر نهائياً في ١٩ سبتمبر ٢٠١٠ ، وفي بداية سنة ٢٠١٢ أثبتت تقارير وجود تسريب بالبئر.



الشكل (١-٢) انفجار المنصة البحرية (deep water horizon)

امتداد وحجم التسرب النفطي : تم اكتشاف التسرب النفطي بعد ظهر يوم ٢٢ أبريل ٢٠١٠ عندما بدأت البقعة النفطية الكبيرة تنتشـــر في منطقة البئر ، وتدفق النفط لمدة ٨٧ يوماً، وقدرت شـــركة بريتش بتروليوم كمية التدفق من ١٠٠٠ – ٥٠٠٠ برميل نفط يومياً، لكن مجموعة التقنيين لنسبة التدفق التي شُكلت خصيصاً للحادث قدرت نسبة التدفق بـــ ٦٢٠٠٠ برميل يومياً . الحجم الكلي المقدر من النفط المتسـرب ٤,٩ مليون برميل نفط ، بنسـبة خطأ ١٠% زيادة أو نقصـــان ، بما فيهم النفط الذي تم جمعه ، مما يجعل هذا التســـرب النفطي الأكبر في العالم على مر العصور.

التأثير البيئي : تسـبب تسـرب النفط في أضـرار لمجموعة من الأنواع والمواطن في الخليج ، ويقول البـاحثون إن خليط الزيـت والهيـدروكربونـات العطريـة متعـددة الحلقـات تغلغـل في السـلاسـل الغذائية من خلال العوالق الحيوانية . وقد تم توثيق التأثيرات السـمية في أسـماك القاع والســطحية ومجتمعات مصــبات الأنهار والثدييات والطيور والســلاحف والشــعاب المرجانية في المياه العميقة .

والعوالق والمنخربات والمجتمعات الميكروبية . الشكل (٢–٢) والشكل (٢–٣) .



الشكل (٢–٢) التلوث البيئي



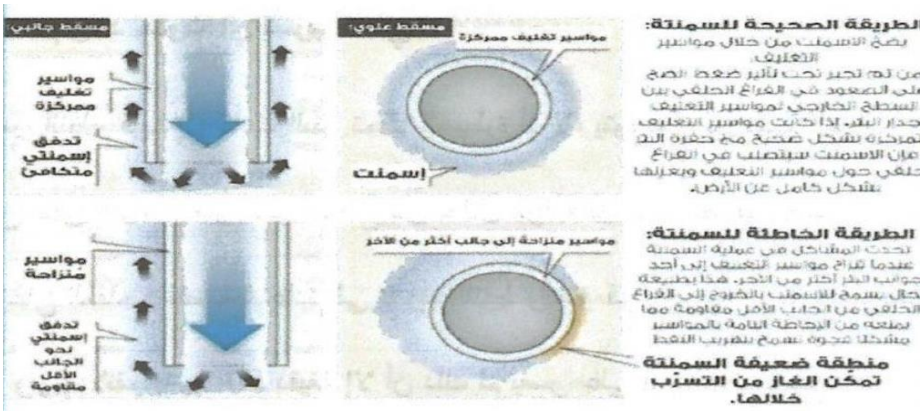
الشكل (٣-٢) التلوث البيئي

٢-١-٢- أسباب حدوث الاندفاع : [٤]

حسب ما ورد عن شركة الخدمات النفطية البريطانية المسؤولة عن المنصة "بريتش بتروليوم" أن الحادث يعود إلى عدة أسباب مختلفة من أنظمة السلامة التي من المفترض أن تمنع وقوع هكذا أنواع من الحوادث ، ومن هذه الأسباب :

١- سمنتة خاطئة :

إن الاسمنت الذي تم ضخه في البئر لم يعمل على إغلاقها بصورة صحيحة مما سبب تسرب النفط والغاز عبر الأنابيب بين قاع البئر والمنصة على السطح ، يعتقد عن مواسير التغليف لم تكن متمركزة مع محور البئر ، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل مناطق لم يصل إليها الاسمنت وبالتالي لم تسمنت بشكل جيد ، مشكلة نقطة ضعف ، يمكن للغاز أن يتغلغل من خلالها خلف مواسير التغليف وأن يصل للسطح ، الشكل (٤-٢).



الشكل (٤-٢) سمنتة مواسير التغليف

٢- فشل صمامات الأمان :

بالإضافة إلى عزل أسف البئر من الجهتين بالإسمنت ، تحتوي تشكيلة المواسير على صـــمامات أمان تحســـبا لمثل هذا النوع من الحوادث حيث يوجد عادة صـــمامان ميكانيكيان مصـــممان لغرض وقف التســـرب في حال وقوعه ومنع النفط والغاز من الوصول إلى السطح ، إلا أن هذين الصمامين فشلا معاً في أداء المهمة.

٣- التفسير الخاطئ لقياسات الضغط :

لعب الخطأ البشري دوره أيضاً في حدوث الكارثة ، حيث توجب على طاقم العمل أن يقوم باختبارات الضـــغط داخل البئر يهدف التأكد من إغلاقها ، إلا أن نتائج هذه الاختبارات فسرت على نحو خاطئ ، مما جعل الطاقم يعتقد بأن البئر تحت السيطرة.

٤- عدم رصد حدوث أي تسرب نفطي :

بغض النظر فيما إذا كانت البئر تحت السيطرة أم لا ، يتوجب على طاقم المنصة أن يتابع تدفق النفط والغاز نحو السطح من خلال مراقبة قياسات الضغط حيث يشير الارتفاع المفاجئ للضغط عادة إلى تسرب للنفط والغاز في البئر ، هذا ما حدث فعلاً قبل وقوع الانفجار ب ٥٠ دقيقة إلا أن ذلك لم يفسر على أنه تسرب نفطي .

وقبل ٨ دقائق بالتمام من وقوع الكارثة بدأ مزيج من ســـائل الحفر والغاز بالظهور والتدفق على أرضية المنصة ، سارع العمال بإغلاق مانع الاندفاع الذي يتم تركيبها على فوهة البئر في قاع المحيط ، لكن المفاجئة كانت بأنه لم يعمل بشكل ملائم.

٥- الفاصل العاجز :

كان من المفترض أن يقوم طاقم العمل بتحويل هذا التدفق بشكل آمن بعيداً عن سطح المنصة عبر أنابيب جانبية ، ولكن بدلاً من ذلك قاموا بتحويله إلى فاصل على سطح المنصة مخصص لفصل كميات قليلة من الغاز في حال وقوع تسرب نفطي جزئي. إلا أن هذا الفاصـــل لم يســـتطع فصـــل كامل كمية الغاز الكبيرة المتســـربة ، فبدأت

بالانفصـــال عن ســـائل الحفر إلى الحد الذي حدث عند الانفجار وبدأ الحريق بالتهام المنصة.

٦- غياب عمل أنظمة إنذار تسرب الغاز :

مع العلم أن سـطح المنصـة كان مزوداً بجهاز لقياس نسـبة الغاز على سـطح والذي حالما يسـتشـعر وجود أي تسـريب غازي يعمل على إطلاق صـفارة الإنذار بالإضـافة إلى إغلاق فتحات مراوح التهوية لمنع وصـــول الغاز إلى مســـببات الاشـــتعال ، كالمحركات مثلاً ، إلا أن هذا النظام فشل أيضاً.

٧- غياب بطاريات موانع الاندفاع :

إن حدوث الانفجار أدى إلى تدمير خطوط التحكيم التي يســـتخدمها الطاقم لإغلاق موانع الاندفاع ، وعلى الرغم من أن موانع الاندفاع مزودة بنظامين منفصـلين يعملان تلقائياً على إغلاقها في حال فقدان الاتصـال بسـطح المنصـة إلا أن البطارية الفارغة لأحد الأنظمة والمفتاح المعطل للنظام الآخر حال دون إغلاق موانع الاندفاع.

أدت هذه السـلسـلة من الأخطاء البشـرية والميكانيكية إلى نتائج كارثية دمرت الحياة البحرية في خليج المكســيك وتحملت الشــركة "بريتش بتروليوم" المســؤولة عن هذه الكارثة مبالغ مالية ضخمة وصلت إلى ١٤ مليار دولار أمريكي، كما شارك في جهود الاسـتجابة حوالي ٤٨ ألف شـخص وما يقارب ٦٥٠٠ سـفينة ، حيث كرس العمال أكثر من ٧٠ مليون ســـاعة عمل لإزالة الآثار وتشـــتيت النفط مع تنظيف المياه والشواطئ .

٢-٢- اندفاع بئر العزبة : [٣]

دير الزور : هو أحد الآبار التابعة لشـركة الفرات للنفط ، يقع على بعد ٣٠ كم شـرق دير الزور، والبئر مخطط حفره بشـــكل أفقي لتجنب المخاريط الغازية التي حدثت في الآبار العمودية المنتجة في المنطقة.

١-٢-٢- تفاصيل عن البئر وكيفية حدوث الاندفاع : [٣]

المرحلة السطحية تم حفرها برأس حفر قطره "٢٦ حتى ١١٠م" ، وانزلت مواسير تغليف بقطر "١٨٥/٨ حتى العمق ١٠٥ م " وتمت سمنتة المقطع حتى السطح.

تمت متابعة الحفر برأس حفر بقطر "١/٢ ١٧ حتى العمق ١٤٦٩ م ، و سمنتة المجال حتى العمق ٥٠٠ م .

قبل التمييل تم حفر مقطع عمودي ، برأس حفر قطره "١/٤ ١٢، وذلك للتأكد من وجود عروق اندفاعية في طبقة الرطوبة ، والصفات الخزينة الطبقات حتى عمق ٣٢٥٠ م.

تم صب سدادة اسمنتي على العمق ٢٨٠٠ م ، وأجري تمييل البئر .

على العمق ٣٢١٢ م من طبقة الرطبة حصل تهريب كلي وتم ضخ مواد سدادة من كربونات الكالسيوم ، ومن ثم بدأ البئر يعطي سوائل ، وتم إغلاق البئر .

أثناء تحضير سائل الحفر لقتل البئر ، وارتفع ضغط الإغلاق في الفراغ الحلقي من ١٨٠ psi حتى ٥٨٠psi خلال 5.5h وبعد 8.5h بدء ضخ سائل الحفر لقتل البئر بحجم ٢٩٥ برميل ، حيث بدأ الغاز بالظهور على السطح وقرب فوهة البئر وعلى بعد ١٢٥ م .

عندئذ تم قتل البئر وإيقاف المحركات ، وإجلاء العمل عن الموقع.

لوحظ زيادة شدة الاندفاع ، وأجريت محاولة لقتل البئر دون جدوى بسبب تسرب الغاز من خلال مواسير التغليف "٣/٨ ١٣ ، وعلى العمق ١٠٥م.

تم رفع مواسير الحفر من لقم مانع الاندفاع إلى أعلى مانع الاندفاع الحلقي ، وعلقت بالماسكات .

تم تركيب رأسية دوران وربط فيها دفاشات الضخ ، وتم خلط مواد سدادة ، وأجريت محاولة أخرى لقتل البئر .

٢-٢-٢- ملاحظات حول المشكلة : [٣]

١. استبعاد حصول تآكل كيميائي لمواسير التغليف "٣/٨ ١٣" ، كون سائل الحفر ذو أساس نفطي ودرجة الحموضة ph=9 وهذا كاف لمنع حدوث أي تآكل كيميائي.

٢. ظهور آثار من الحديد على الهزاز ، وقد تبين أنها من مواسير التغليف "٣/٨ ١٣، ناتج عن تآكل ميكانيكي بين وصلات مواسير الحفر المقساة ومواسير التغليف ، وهذا هو السبب الرئيسي للمشكلة.

٣-٢-٢- أسباب الاندفاع : [٣]

١- التهريب الكلي وعدم إمكانية السيطرة عليه نتيجة وجود تآكل وثقب في مواسير التغليف "٣/٨ ١٣ .

٢- عدم عزل مجالات الضغط المختلفة بالتغليف ، حيث يتواجد الغاز أعلى الخزان ، ومجالات التهريب أسفل الخزان .

٣- عدم الفحص .

يبين الشكل (٥-٢) اندفاع نفطي غازي في إحدى الآبار النفطية في حقول رميلان أثناء العمل الانتاجي .



الشكل (٥-٢)

الفصل الثالث :

معدات التحكم بالبئر

٣-١- معدات وتجهيزات فوهة البئر : [٤]

تعتبر عملية تجهيز فوهة البئر من العمليات الحيوية والأساسية بالنسبة لحياة البئر النفطية أو الغازية منذ بداية عمليات الحفر وحتى الانتهاء منه وتشكيل جزءاً أساسياً من هيكل بناء البئر وتتألف معدات فوهة البئر مما يلي :

١- رأسيات مواسير التغليف بعدد يساوي مراحل التغليف .

٢-موانع اندفاع (أفقية – عمودية) .

٣- صمامات هيدروليكية وميكانيكية .

٤- مجموعة التحكم بموانع الاندفاع .

٥- خطوط التوصيل .

ويجب أن تتمتع هذه المعدات بالمواصفات التالية :

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

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

a. مراقبة الفراغ الحلقي بين مواسير التغليف وداخل البئر .

b. السيطرة على اندفاع الموانع من البئر عند حدوث مشكلة أثناء عمليات الحفر .

٣-٢- أجهزة موانع الاندفاع (BOPS) : [٤]

كما ذكرنا ســـابقاً أن اندفاع الموانع الطبقية قد تؤدي إلى حوادث خطيرة وإلى تلوث البيئة المحيطة وضياع كبير في طاقة المكمن وقد تؤذي العاملين في وحدة الحفر .

بالإضافة إلى الجهود والتكاليف العالية للسيطرة عليها لذلك تم استخدام أجهزة موانع الاندفاع للســـيطرة على الاندفاعات الطبقية وتركب هذه الأجهزة بين فوهة البئر ومنصـــة الحفر بعد تغليف المرحلة السطحية مباشرة .

وعليه فإن أجهزة موانع الاندفاع (Blowout Preventers) : هي صمامات ضخمة تستخدم مع المعدات والتقنيات الأخرى لإغلاق البئر والســيطرة على الاندفاعات الطبقية كما تســمح لطاقم الحفر بالســيطرة على الرفســات التي قد تحدث (kick) قبل أن تتحول إلى اندفاعات كارثية .

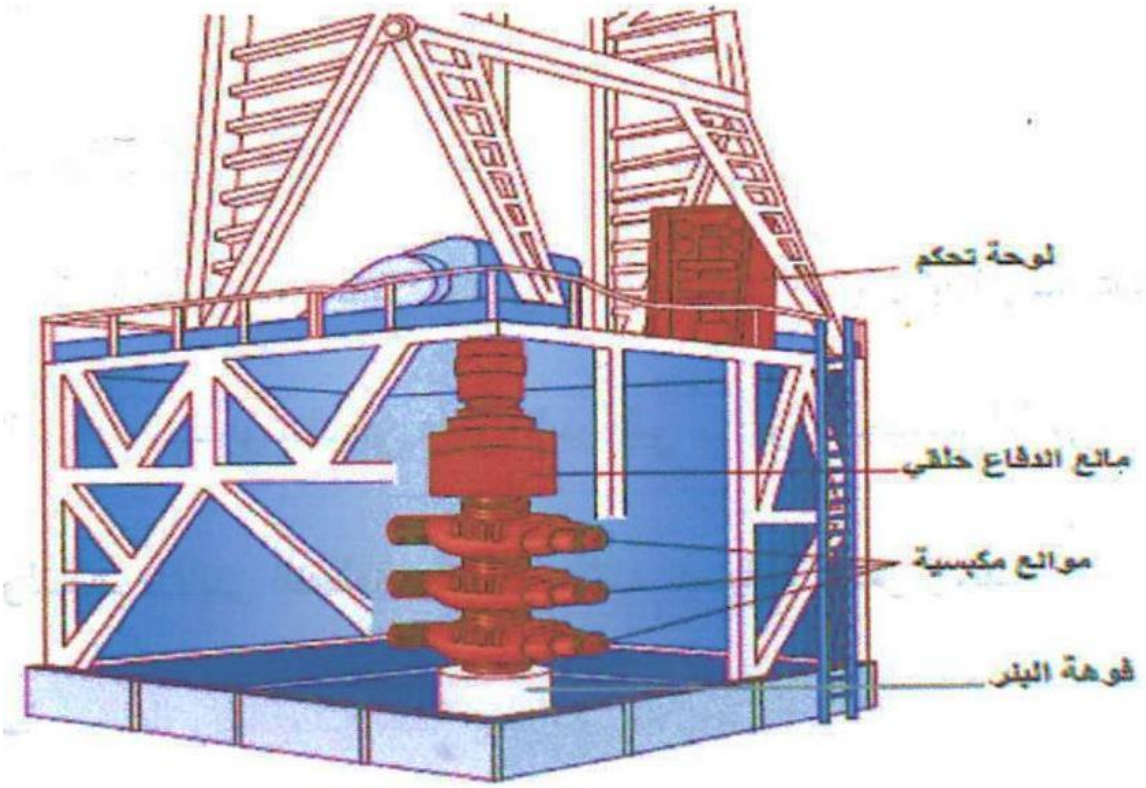
<u>تستخدم موانع الاندفاع من أجل :</u>

i. تأمين الإغلاق التام والمحكم للبئر لتلاقي اندفاع خليط السوائل والغازات عند انخفاض الضغط الهيدروستاتيكي داخل البئر إلى ما دون الضغط الطبقي .
ii. الســـيطرة والتحكم بالآبار النفطية والغازية ، أثناء عمليات الحفر واختبار الآبار أو معالجتها .

حيث يجب أن تسمح تصاميم أجهزة موانع الاندفاع بمايلي :

a. القيام بعمليات الضخ وإجراء دوران مغلق لسائل الحفر داخل البئر.
b. الإغلاق المحكم لفوهة البئر .
c. السيطرة على الموانع المتدفقة .

d. تحريك وتدوير وسحب مواسير الحفر وتوصيلاتها ، ومواسير التغليف وأقفالها ويجب أن تتوافق قياسات مانع الاندفاع (قطر فتحته وقطر أجهزة ربطه مع البئر وضغطه العامل والضغط العامل لأجهزة التحكم به) مع أقطار الدقاقات وأقطار مواسير الحفر والتغليف .



الشكل (١-٣) يوضح مكان تركيب موانع الاندفاع بين فوهة البئر ومنصة الحفر

٣-٣- أنواع موانع الاندفاع (Blow out prevent Type) : [٣]

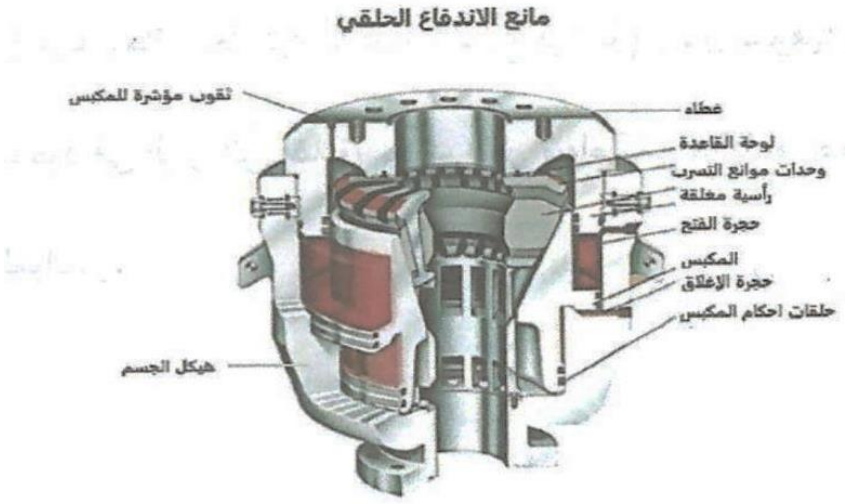
يوجد بشكل عام نوعان من أجهزة موانع الاندفاع المستخدمة في وحدات الحفر هما:

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

حيث أنه لا يتم اســتخدام نوع واحد من موانع الاندفاع على البئر ويســتخدم عادة عدة موانع اندفاع متواضــعة فوق بعضــها البعض مكونة ما يســمى بتشــكيلة موانع الاندفاع (BOP STACK) بحيث توفر المزيد من الأمان و المرونة خلال عمليات التحكم والســـيطرة على البئر ، حيث أن استخدام عدة موانع اندفاع يضمن إغلاق البئر في حال تعطل أو توقف أحد الموانع عن العمل لسبب معين وتتميز موانع الاندفاع المستخدمة في عمليات الحفر البحري بتصميم أكثر تعقيداً عن مثيلتها المستخدمة في أبراج الحفر البرية.

٣-٣-١ مانع الاندفاع الحلقي (BOP Annular) : [٣]

يعرف هذا النوع من موانع الاندفاع بمانع الحلقي وأحياناً أخرى بالهيدريل (preventer Hydril) وهو عبارة عن صمام ضخم يتم وضعه أعلى تشكيلة موانع الاندفاع خلال عمليات الحفر للتحكم بتدفق الموانع الطبقية أتت تســميته بهذا الاســم من شــكل مانعات التســرب الموجودة داخله على شــكل حلقة حيث تتكون مانعات التســرب في هذا النوع من كتلة حلقية مصنوعة من الكاوتشوك المسلح بقضبان خارجية صلبة تلتف على المحيط الداخلي لمانع الاندفاع .



الشكل (٢-٣) الأجهزة الرئيسية المكونة لمانع الاندفاع الحلقي

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

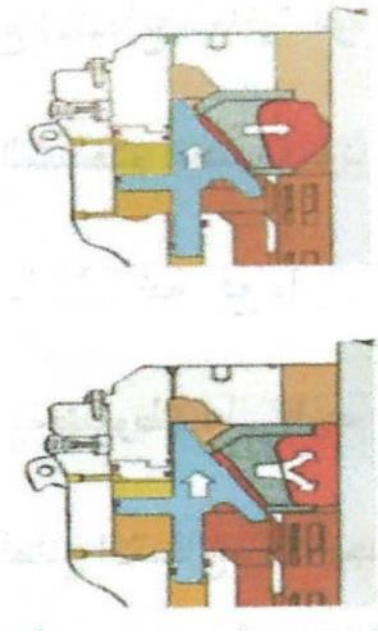
١- غطاء وهيكل فولاذي ذي شـــكل أســـطواني متدرج الأقطار لمانع الاندفاع الحلقي (Body & Cover) .

٢- وحدات تسرب مطاطية دائرية تتميز بالمرونة العالية والتصميم المتين حيث تتواضع هذه الحلقات ضمن قنوات محفورة في معدن الجسم (Grooves).

٣- مكبس هيدروليكي على شـكل مخروط مقطوع (Piston) لضـغط مانعات التسـرب المطاطية باتجاه السطح الخارجي لمواسير الحفر بإحكام .

٣-٣-١-١- نظام حركة المكبس عند فتح وإغلاق الموانع الحلقية : [٤]

لإغلاق فوهة البئر أو الفراغ الحلقي يتم حقن مائع التشـغيل من الجزء السـفلي من التجويف تحت المكبس (حجرة الإغلاق) فيتحرك المكبس نحو الأعلى داخل قميص ، دافعاً حشـــوة مرنة (حلقة مطاطية مدعمة بأصـابع فولاذية) يؤدي تشـوهها والتصـاقها بالجسـم الموجود في البئر سواء كان خالياً أو حاوياً على عمود مجموعة المواسير .



الشكل (٣-٣) يوضح وضعية المكبس وإغلاق المانع الحلقي

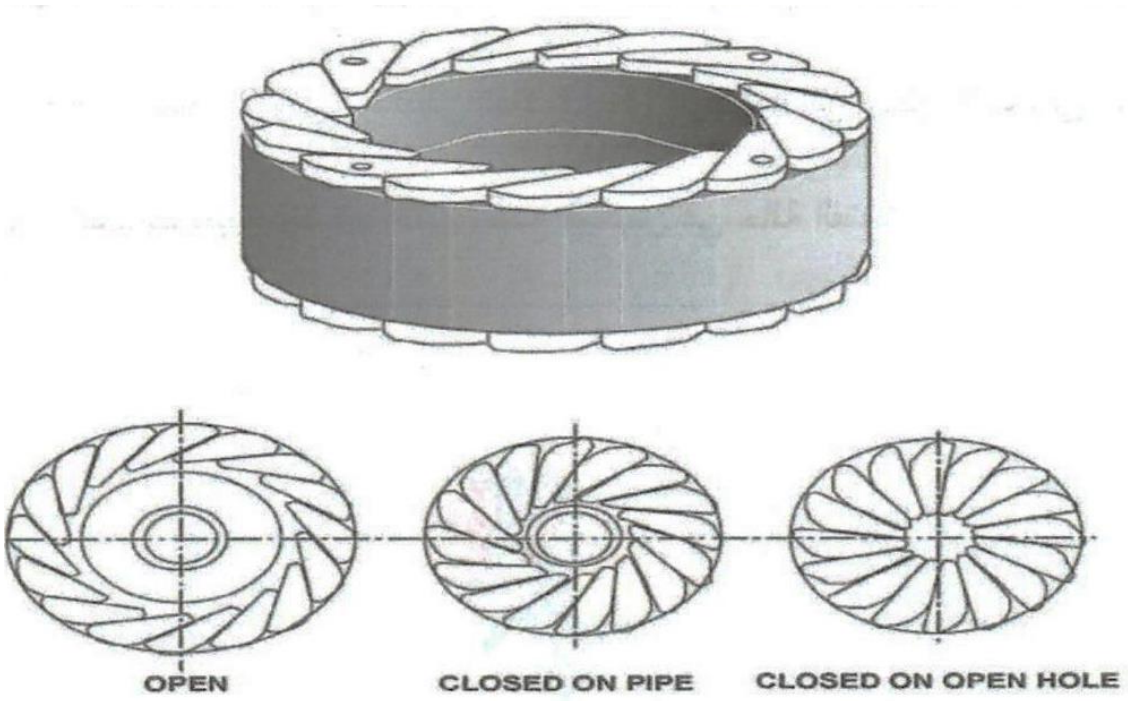
لإعادة فتح فوهة البئر أو الفراغ الحلقي ، يتم حقن مانع التشـــغيل من الجزء العلوي من التجويف فوق المكبس (حجرة الفتح) ، مما يؤدي إلى تحريك المكبس باتجاه الأســـفل ليعيده إلى وضـــعه الأولي ، وبالتالي تعود الحلقة المطاطية إلى شـــكلها الأســـاســـي بتأثير مرونة المطاط ويبين الشكل الآتي ووضع المكبس في حالة الفتح :



حالة الفتح والمكبس نحو الأسفل

الشكل (٤-٣) يوضح وضعية المكبس وفتح المانع الحلقي

وإن أهم ما يميز هذا النوع من موانع الاندفاع الحلقية هو الإغلاق المحكم حول المواســـير مهما كان قطر المواســير المســتخدم بفضــل وجود موانع التســرب المطاطية (Packing elemetns) بالإضــافة لإمكانية رفع وإنزال وتدوير المواســير ضــمن البئر (بالرغم من أن الفراغ الحلقي مغلق ومضـــغوط) على الرغم من أن هذه العمليات تقلل من زمن العمل التصــميمي المحدد لمانع الاندفاع ، كما يجب تفقد وفحص الحلقات المطاطية بشــكل دوري والتأكد من ســـلامتها وتبديلها عند الحاجة ، يوفر مانع الاندفاع الحلقي إغلاق محكم للفراغ الحلقي وذلك عند الضــغوط العالية (2000-5000psi) وعادةً ما يتم إغلاق هذا المانع أولاً كخطوة أولى عند إغلاق البئر .



الشكل (٥-٣) يبين كيفية إغلاق موانع التسرب حول المواسير والقاع المفتوحة

٣-٣-١-٢- المواصفات التصميمية لوحدات مانعات التسرب الحلقية: [٤]

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

A. مانعات مصنوعة من المطاط الطبيعي : (Natural Rubber) نستخدم هذه المانعات عند استخدام سوائل حفر ذات أساس مائي وعند درجات حرارة تشغيلية تتراوح ما بين 35C° إلى 107 C° تتميز هذه المانعات بالموثوقية العالية وذات عمر طويل رمزه التعريفي هو R أو بالرمز NR وذو لون أسود لحافة المطاط .

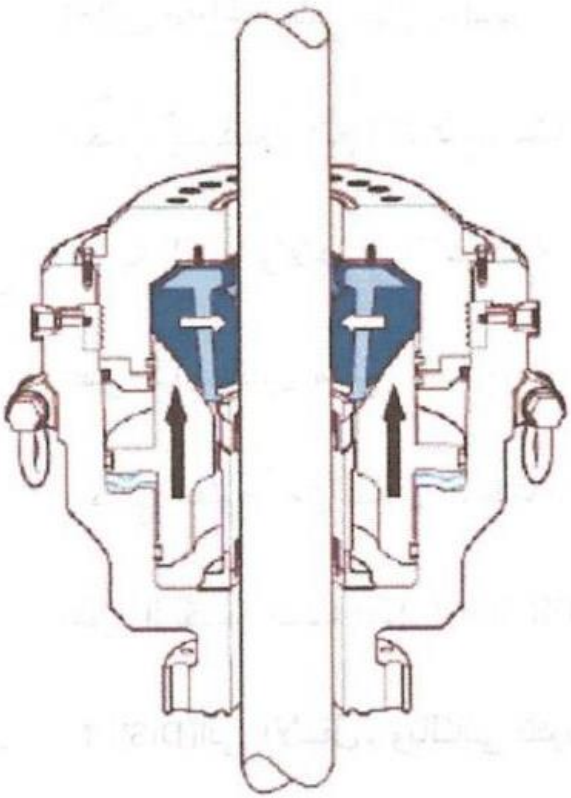
B. مانعات تسرب نتريل (مصنوعة من المطاط المضاف إليه مواد صنعية) والمعرف باسم (Nitrile rubber) تستخدم هذه المانعات لدى استخدام سوائل حفر ذات أساس نفطي وعند درجات حرارة متراوحة ما بين 7C° إلى ٨٨C° رمزه التعريفي هو NRP مع لون أحمر عند حافة المطاط .

C. مانعات التسرب النيوبرين (مصنوعة من المطاط الصناعي) تستخدم هذه المانعات لدى استعمال سوائل ذات أساس نفطي وعند درجات حرارة متراوحة ما بين ٣٥°C إلى ٧7C° تتميز هذه المانعات بعمر اطول من مانعات التسرب المصنوعة من المطاط العادي (NR) وذات مرونة أفضل عند درجات حرارة منخفضة من مانعات (NRP) والرمز التعريفي لهذه المانعات هو (CR) و ذو لون أخضر عند حافة المطاط . ويبين الجدول التالي المواصفات التصميمية لمانعات التسرب المطاطية المستخدمة في موانع الاندفاع الحلقية :

الجدول (٣-١) :

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

٣-٣-١-٣- آلية إغلاق مانع الاندفاع الحلقي : [٤]



✓ يتم إغلاق المانع من خلال تطبيق

ضـــغط هيدروليكي ضـــمن حجر إغلاق المانع (Closing chamber)

وهذا يسبب حركة المكبس إلى الأعلى

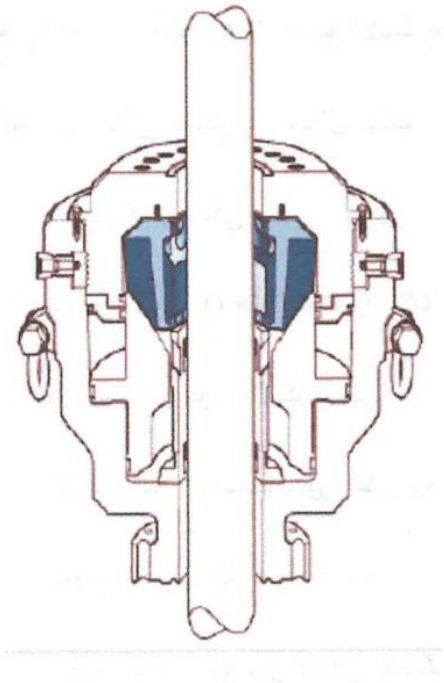
الذي يضـــــغط بدوره على وحدة موانع التسرب المسلحة

بقضبان معدنية باتجاه مواسير الحفر

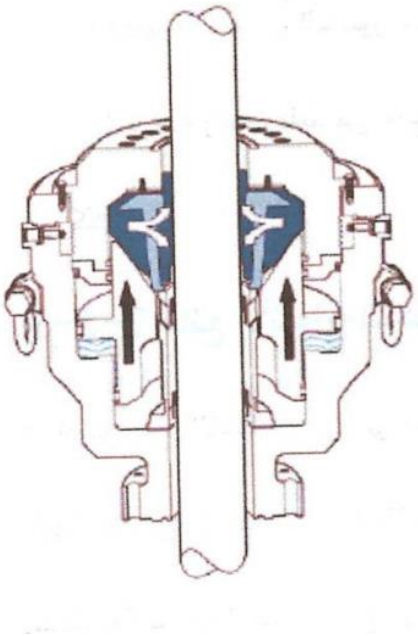
وبالتالي أحكام إغلاق الفراغ الحلقي .

حيث يتم التحكم بضـــــغط الاغلاق من خلال

صـــــمام تحكم خاص بمانع الاندفاع الحلقي.



✓ يقوم مانع الاندفاع الحلقي بأحكام إغلاق الفراغ الحلقي بين مواسير الحفر وتشكيلة مانع الاندفاع ، فخلال عملية الحفر والأعمال الاعتيادية على البئر يكون مانع الاندفاع الحلقي مفتوحاً من خلال المحافظة على المكبس الضاغط (contractor piston) إلى الأسفل ، وبالتالي تكوت جميع عناصر البئر متصلة مع بغضها البغض وتدفق موانع الحفر عبر الفراغ الحلقي أعظمياً ، وتتم المحافظة على وضعية الفتح هذه من خلال وتطبيق ضغط هيدروليكي ضمن حجرة فتح مانع الاندفاع (opening chamber) وهذا بدوره يضمن تحكم جيد بالمكبس خلال الحفر ويقلل من الاجهاد الناتج عن الاهتزاز (الارتجاج) .



✓ يتم الحفاظ على حالة الانضغاط المطبقة على

موانع التسرب على كامل منطقة الإغلاق

بحيث تؤمن عملية إغلاق محكمة ومتينة من الناحية العملية

من أجل أي قياس لقطر مواسير الحفر ووصلا المواسير عند أعلى

قيمة لضغط العمل ومن خلال تطبيق ضغط

ضمن حجرة الفتح يتحرك المكبس لأسفل

ليعود إلى وضعية الفتح الكامل للفراغ الحلقي

نتيجة عودة الموانع المطاطية لوضعها الأولي

وذلك يعود لخاصية المرونة التي تتمتع بها هذه الموانع المطاطية.

٣-٣-٤-١- مميزات وعيوب موانع الاندفاع الحلقية : [٤]

تتميز الموانع الحلقية بالميزات والإيجابيات التالية :

i. إحكام إغلاق فتحة البئر بغض النظر عن مقاس الماسورة داخل فتحة البئر .
ii. تصميم قوي ومتين ولا يحتاج إلى الكثير من أعمال الصيانة .
iii. حجمه صغير يتيح استخدامه مع العديد من أجهزة الحفر .

كما لموانع الاندفاع الحلقية عدد من العيوب والتي من أبرزها :

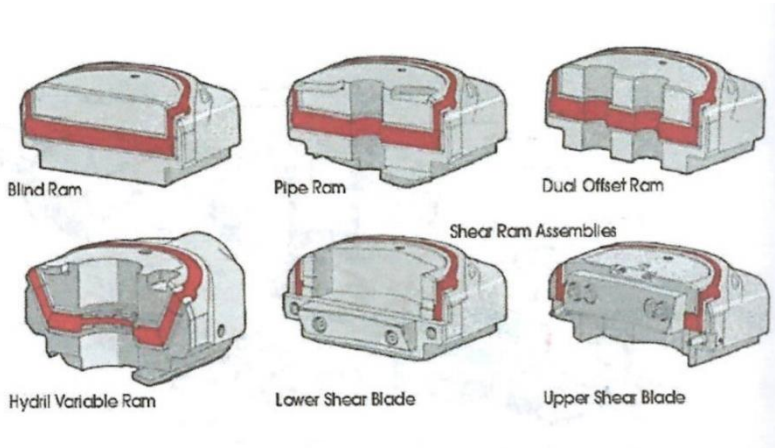
١- كلما قل مقاس الماسورة داخل البئر كما قل أحكامه حولها .

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

٣-٣-٢ مانع الاندفاع المكبسي (Ram Preventers) : [٤]

يتواضع مانع الاندفاع المكبسي بشكل أفقي ضمن تشكيلة موانع الاندفاع المركبة على فوهة البئر وأتت 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 لأحكام الإغلاق حول قطر محدد المواسير (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 لقم (Blind Rams) ولكنها تتميز بإمكانية الإغلاق بوجود المواسير الحفر حيث تقوم بقطع جدار المواسير والإغلاق ويستخدم هذا النوع في حالات الطوارئ كملاذ أخير في حال لم تنجح عملية إغلاق البئر بالأنواع الأخرى وعادة ما يتم إنزال عدد من اللقم أسفل هذا النوع من أجل إبقاء الماسورة المقطوعة معلقة برأس البئر .



الشكل (٦-٣) يوضح أنواع اللقم المستخدمة في موانع الاندفاع المكبسية

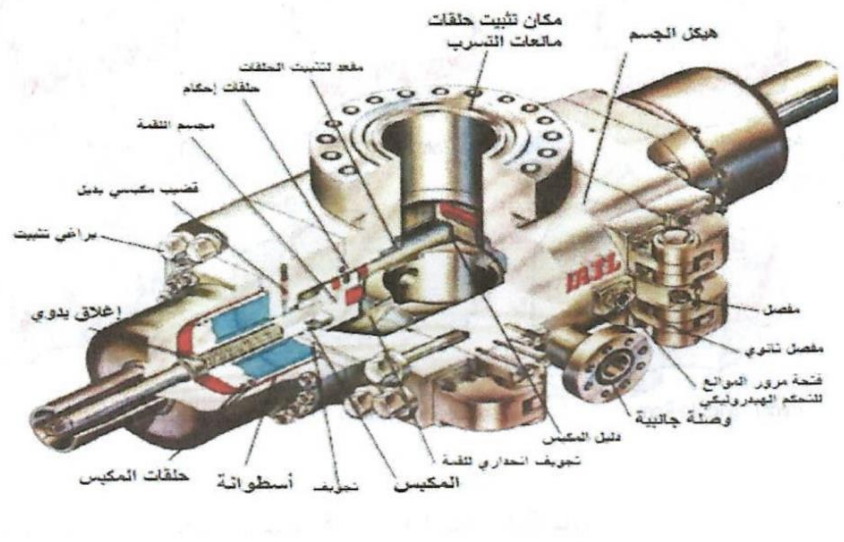
حيث يتكون مانع الاندفاع المكبسي من الاجزاء والمكونات التالية :

A. غلاف خارجي يتصـــل مع فلنجة من الأعلى وفلنجة من الأســـفل تصـــلانه مع بقية التجهيزات .

B. فلنجتين جانبيتين على الجسـم ، تقوم بتوصـيل أنابيب سـائل التشـغيل المسـتخدم في التحكم الهيدروليكي لمانع الاندفاع .

C. فلنجتين جانبيتين لتوصيل خطوط تصريف وضخ سائل الحفر في حالات قتل البئر ، حيث تتواضع مأخذ خطوط تصريف وضخ سائل الحفر أسفل مانع الاندفاع .

D. اسـطوانتين في داخله ، يوجد داخل كل اسـطوانة مكبس مركب على سـاعد موصـول بلقمة ، تعتبر العنصر الفعال في عملية الإغلاق .



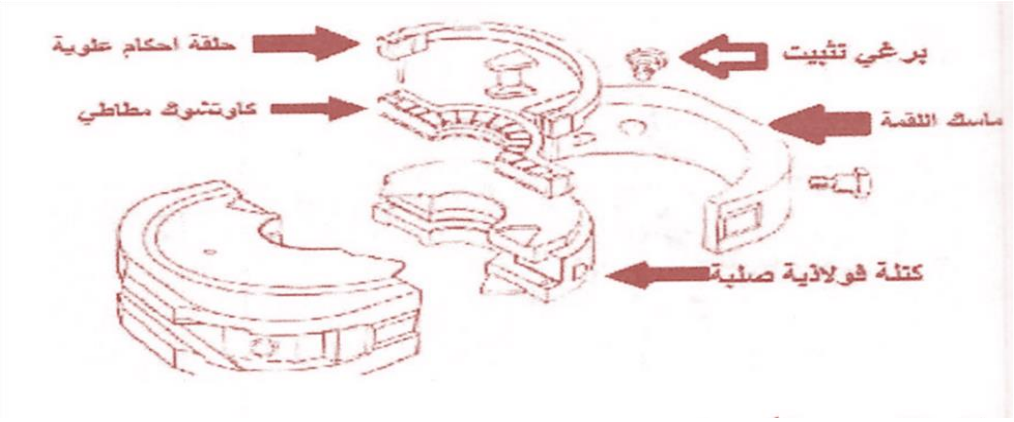
الشكل (٧-٣) يوضح أجزاء وتركيب مانع الاندفاع المكبسي

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

A. كاوتشوك مطاطي .

B. كتلة فولاذية صلبة .

C. حامل اللقمة .



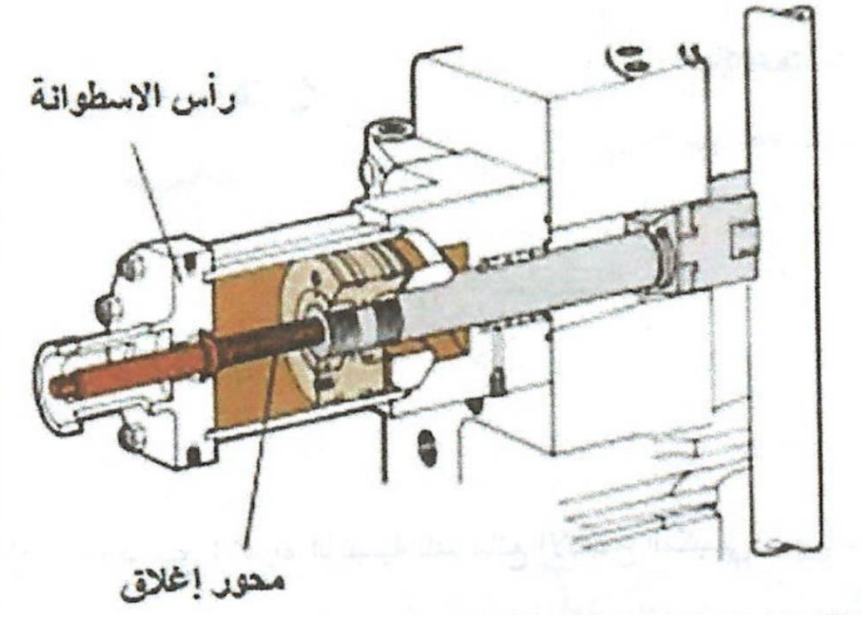
الشكل (٨-٣) يوضح الأجزاء الرئيسية للقم مانع الاندفاع المكبسي

٣-٣-٢-١- آلية فتح وإغلاق مانع الاندفاع المكبسي : [٤]

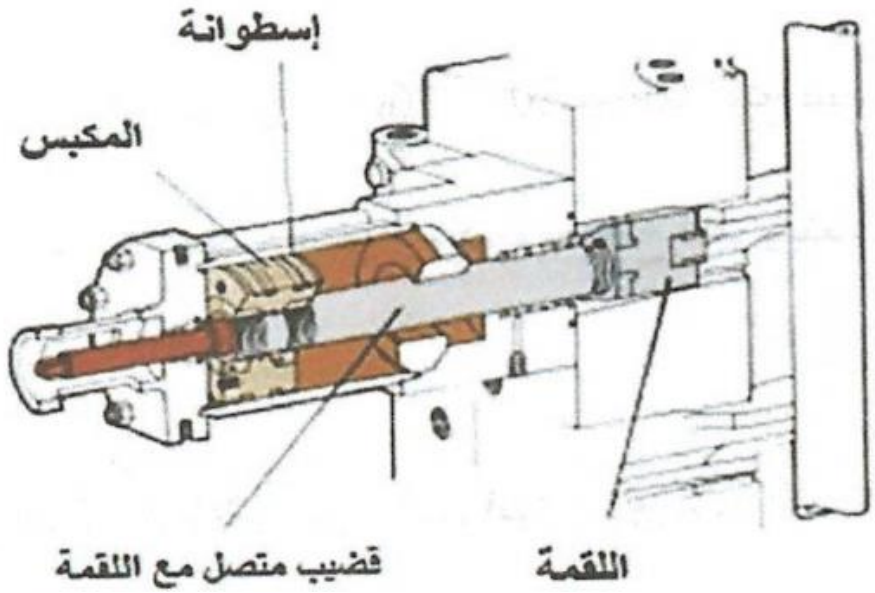
تتميز الموانع الحلقية بالميزات والإيجابيات التالية :

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 والذي يتصل بدوره بلقم مانع الاندفاع فتدفع هذه اللقم بدورها نحو محور البئر وتقوم بعملية الإغلاق ويتم ذلك بتدوير الذراع ١٦-٢٠ دورة أما الفتح فيتم بآلية معاكسة لعملية الإغلاق حيث يتم سحب المكبس وبدوره يتم فتح اللقم وابتعادها عن محور البئر .

التشغيل اليدوي يتم في الحالات التي لا يتم فيها إغلاق مانع الاندفاع بشكل متكرر ودوري وعندما يتراوح الضغط داخل البئر بين psi (٠-١٠٠٠).



الشكل (٩-٣) يبين كيفية الإغلاق اليدوي

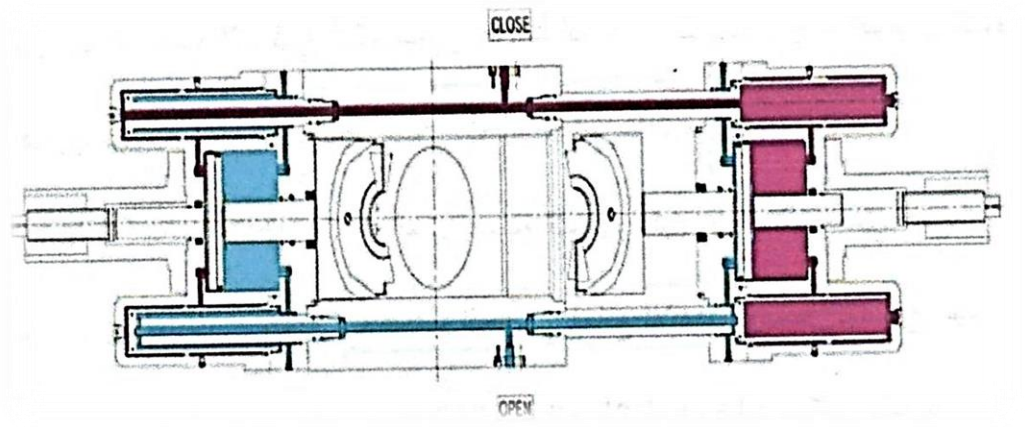


الشكل (١٠-٣) يبين حالة الفتح المانع يدوياً

لكن معظم مواقع الاندفاع المكبســـية في الوقت الحاضـــر يتم فتحها وإغلاقها وفق نظام هيدروليكي باسـتخدام مائع هيدروليكي تحت ضـغط عادة ما يتراوح بين (1500-500psi) حيث يتم إمرار المائع الهيدروليكي من خلال خطي الفتح والإغلاق المتصـــلين مع هيكل

الجســـم الخارجي لمانع الاندفاع ويظهر بوضـــوح وجود فتحتين للفتح والإغلاق على الجزء الخلفي لمانع الاندفاع وغالباً ما يكون المائع المســـتخدم هو زيت هيدروليكي بلزوجة تتراوح بين (300-200SSU) وعند درجة حرارة F 100 حيث :

- يتم ضـخ السـائل ضـمن الاسـطوانة خلف المكبس ، يتم تحريك المكبس ولقمة الإغلاق نحو مركز البئر ، مما يؤدي لإغلاق لقم المائع.
- يتم ضخ السائل ضمن الاسطوانة أمام المكبس ، يتم تحريك المكبس بعكس محور البئر ويتم فتح الفراغ الحلقي مما يؤدي لفتح لقم المانع كما هو موضح في الشكل التالي:



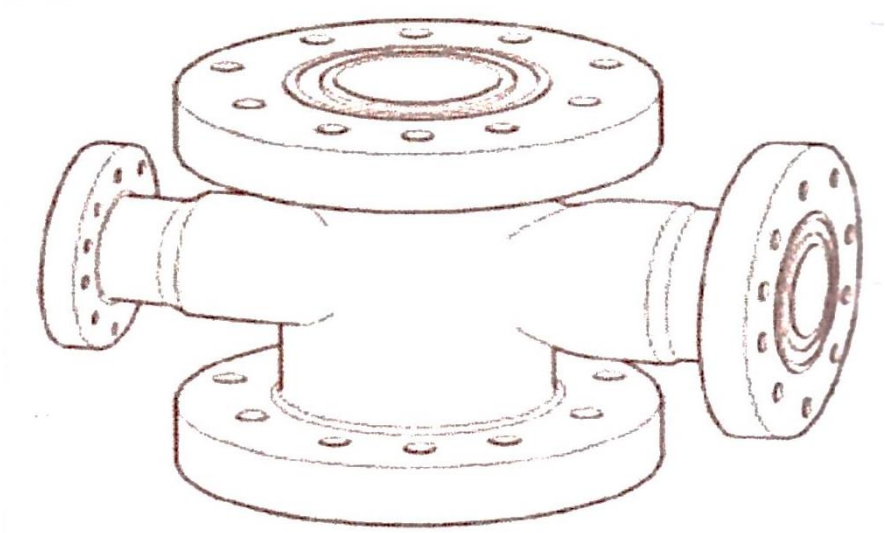
الشكل (١١-٣) يوضح كيفية الإغلاق والفتح الهيدروليكي لمانع الاندفاع المكبسي

٣-٤ تجهيزات منظومة موانع الاندفاع :

٣-٤-١- وصلة موانع الاندفاع (BOP SPOOLS) : [٣]

إن الغاية الأســاســية من تركيب هذه الوصــلات تتمثل بتأمين الاتصــال بين تشــكيلة موانع الاندفاع وخطي قتل البئر وصمام تنظيم التدفق حيث يجب أن يكون القطر الداخلي للوصلة مسـاوياً للقطر الأعظمي لوصـلة مواسـير التغليف العليا كما يجب أن يكون قادرة على تحمل الضـغوط العالية كما هو الحال مع بقية أجزاء مانع الاندفاع وفي الوقت الحاضـر يتم وصـل خطوط قتل البئر وتنظيم التدفق مع جســم مانع الاندفاع المكبســي بدلاً من الوصــلة لتقليل

الحيز الذي يشغله مانع الاندفاع وعدد الوصلات المستخدمة وبالتالي تخفيض عدد الأماكن المحتمل حدوث التسريب منها.



الشكل (١٢-٣) يبين توصيلات موانع الاندفاع

٣-٤-٢- وصلة مواسير التغليف (Casing Heads) : [٣]

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 وتثبيته 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 ومن أجل خطي القتل والخنق حصراً.

ويجب أن تتميز هذه الوصلة بالميزات التالية :

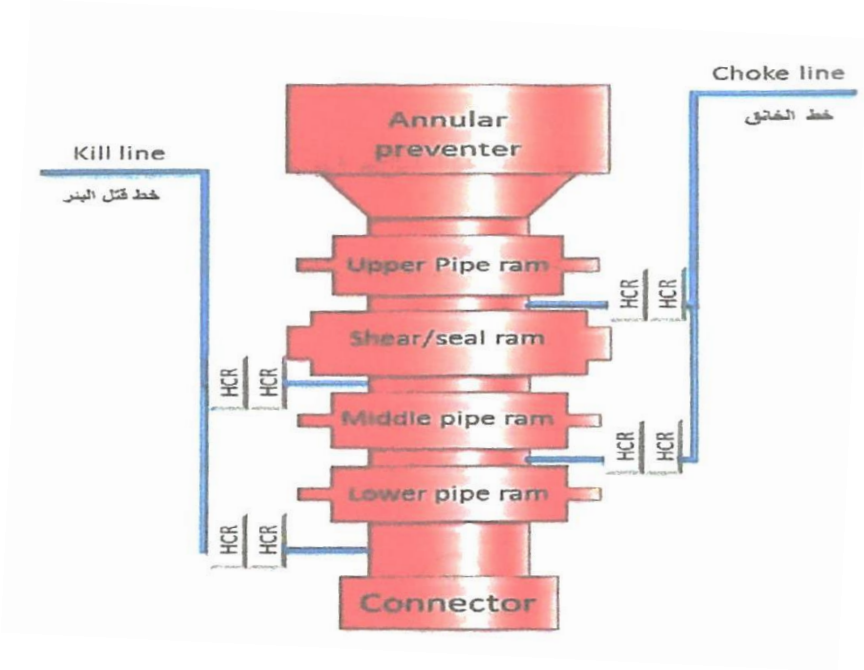
١- الضغط العامل الذي تتحمله يساوي أعلى ضغط يصل إلى السطح .

٢- أن تتحمل إجهادات كبيرة كافية لتحمل مجموعة مواسير التغليف والانتاج .

٣- وجود مخرج لتنفيس الضغط الذي يمكن أن يتجمع بين داخل وخارج التغليف.

٣-٤-٣- خطوط القتل والخنق (Coke and Kill Lines) : [٣]

من المعلوم أنه خلال عملية قتل البئر وإخراج الموائع الطبقية منه يتم ضخ سائل قتل البئر من خلال خط القتل (Kill Line) إلى داخل مواسير الحفر ومنه إلى الفراغ الحلقي ومن ثم إلى خارج البئر وبما أن الفراغ الحلقي للبئر يكون مغلقاً فإن مواقع تجويف البئر ستخرج منه عبر طريق واحد وهو خط صمام الخانق (Chock Line) والمتوضع أسفل مانع الاندفاع المكبسي أو على أجد جانبي وصلة مانع الاندفاع ومنه إلى شبكة صمامات الخانق (choch Manifold) حيث يتواجد في الجهة المقابلة من خط الخانق خط قتل البئر الواصل بين مضخات سائل الخفر ورأس البئر وهو يتوضع عادة أسفل موانع الاندفاع والذي يتم من خلاله كما ذكرنا قتل البئر عن طريق ضخ سائل قتل البئر وغيره من الموانع المستخدمة (خلال عمليات التحميض مثلاً) وذلك في الظروف التي لا تسمح فيها ضخ هذه الموانع ضمن مواسير الحفر .



الشكل (١٣-٣) يوضح تشكيلة موانع الاندفاع مع خط قتل البئر وخط الخانق

٣-٤-٣- مجموعة شبكة صمامات الخانق (Choke Manifold) : [٤]

تعد هذه المجموعة أحد أهم الأجزاء الرئيسـية من منظومة موانع الاندفاع هي عبارة عن مجموعة متكاملة من الصـمامات والخطوط وحنفيات التحكم وتنظيم الضـغط لتوجيه الجريان من البئر أثناء عمليات القتل ويجب أن تتمتع هذه الشبكة بالميزات التالية :

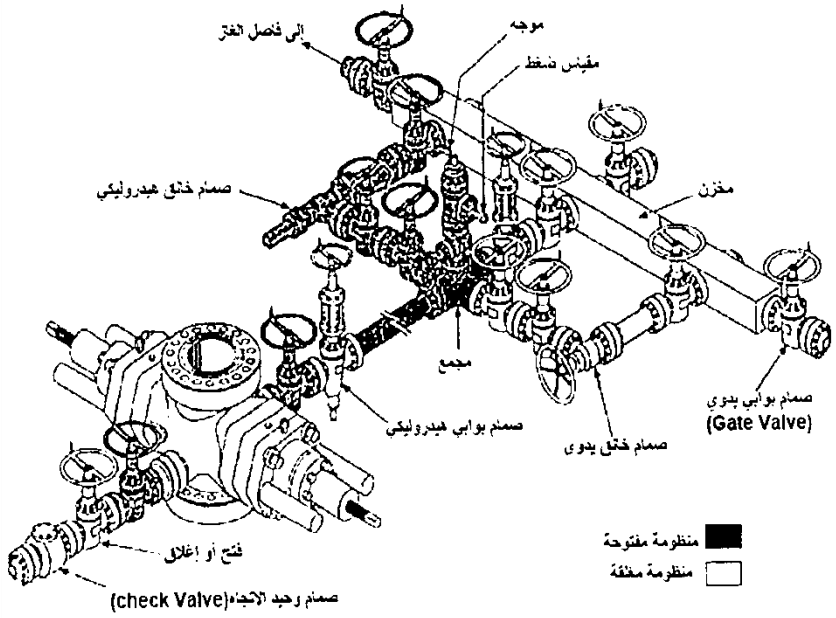
١-القدرة على توجيه وتحويل الموانع الخارجة من البئر إلى الشـعلة أو خزانات سـائل الحفر أو حفرة التخلص من الموائع (حفرة الحرق) .

٢- القدرة على التحكم في الضغوط من خلال مجموعة من الصمامات اليدوية (Gate Valves) والصـمامات التي يمكن التحكم بها عن بعد هيدرولوكياً حيث يتم تشـغيلها من لوحة تحكم عند الحفار بتشـغيل مضـخة هيدرولوكية بواسـطة الهواء HCR Valves .

٣- ضغط عمل مساوي لضغط تشكيلة موانع الاندفاع المركبة .

٤- التصميم القوي والآمن خاصة عند حصول تسرب غازي وإمكانية تحملها للاهتزازات القوية .

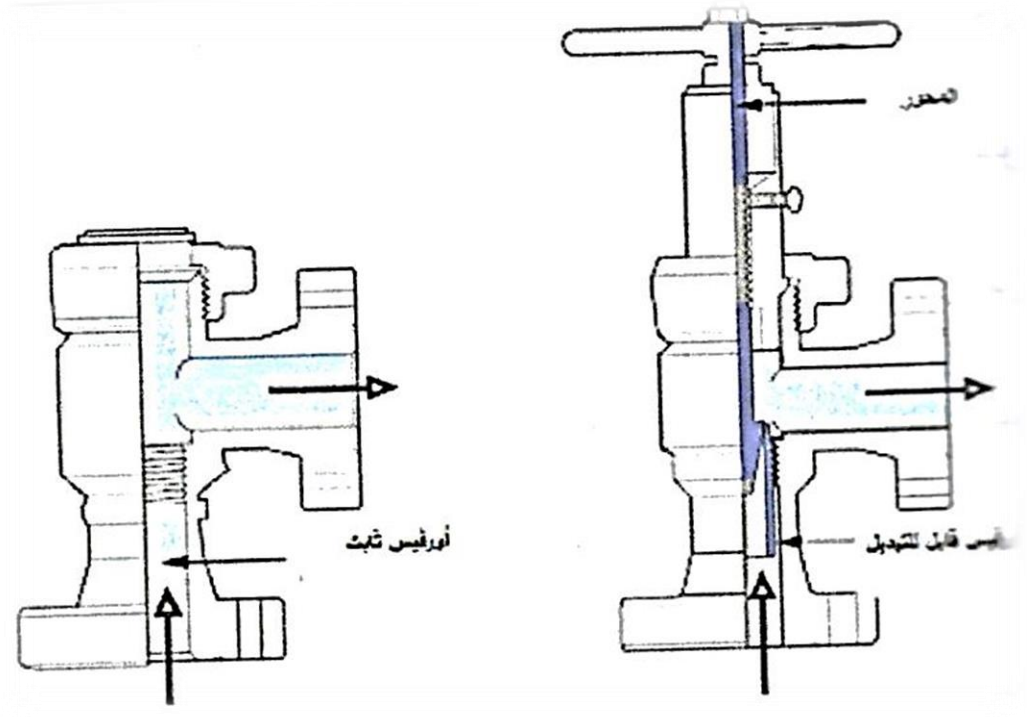
٥- وجود مجموعة من الخطوط والصمامات الاحتياطية في حال تعطل أي جزء منها.



الأجزاء الرئيسية لمنظومة شبكة الصمامات الخانقة الشكل (٣-١٤) (Choke Manifold)

٣-٤-٥- صمام تنظيم الضغط (Cokes) : [٣]

هو عبارة عن صمام بسيط يطبق مقاومة على التدفق الخارج من البئر (تدفق الموائع) والتي بدورها تشكل ضغط معاكس يستخدم للتحكم بضغط البئر خلال عملية قتل البئر وهنالك نوعان من صمامات الخنق ذات الفتحة الثابتة والقابلة للتعديل ، كما يمكن تشغيل صمام الخنق يدوياً أو هيدروليكياً ويتم تصنيع المنطقة التي تتعرض للاحتكاك من التنغستين والكربيد وفي الصناعة النفطية يوجد له نوعان رئيسيان (كاميرون- سواكو) .

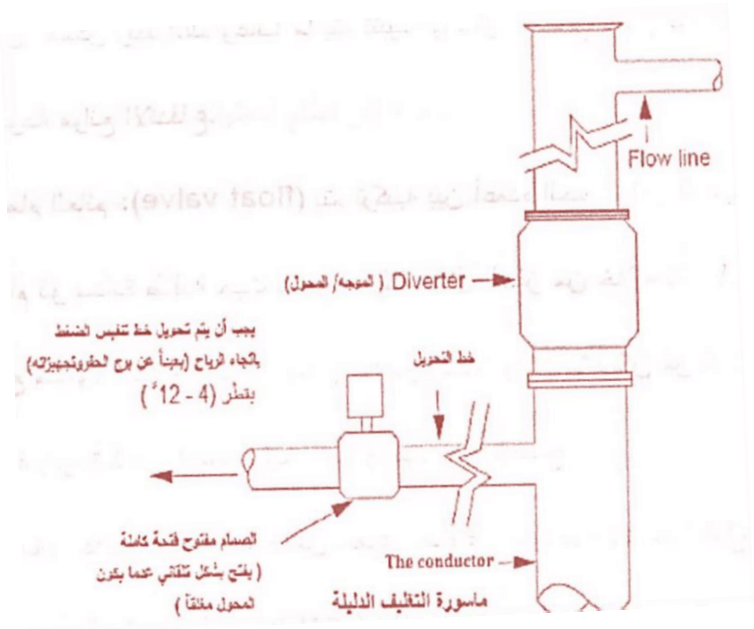


الشكل (٣-١٥) يبين صمام التحكم بالضغط (Chokes)

٣-٥- المحول (Diverter) : [٤]

يعرف المحول : بأنه عبارة عن مانع اندفاع حلقي ذو حجم كبير وضغط تحمل منخفض ومجهز بأنابيب ذات قطر كبير لإخراج الموائع بعيداً عن البئر ويستخدم هذا النوع من موانع الاندفاع خلال عمليات الحفر البحري بشكل أساسي أما الحفر على اليابسة فيتم استخدامه عند حفر الآبار التي يزيد عمقها عن 600m وذلك ضمن الطبقات السطحية قليلة العمق

والمتواضــع تحت أول مأســورة تغليف أي مأســورة التغليف الدليلة (conductor) بحيث في حال حصــول الاندفاع وتســرب للموائع الطبقية إلى البئر عند هذه الأعماق القليلة يضــمن المحول إغلاق البئر واحتواء الضغط المتزايد ضمن تجويف البئر الذي يمكن أن يسبب تشقق لطبقات جدار البئر أســفل ماســورة التغليف ومن ثم تهريب لســائل الحفر وانهيار الموقع، أو على الأقل منع دخول المواد الهيدروكربونية المتســربة من الطبقة والتجمع في المنطقة خارج ماسـورة التغليف وبالتالي فإن الغاية الرئيسـية من المحول (الموجه) هي تأمين تدفق آمن من البئر إلى الســـطح حيث يتم طرح وتحويل الموائع بعيداً عن برج الحفر بأمان ، وبذلك يتم تحويل موائع الاندفاع بعيداً عن برج الحفر من خلال خطوط أنابيب ذات قطر كبير (عادةً مســـاوي لقطر البئر) ، الجدير بالذكر أنه على الرغم من حصـــول الاندفاع في مثل هذه الحالات يكون عند ضــغط منخفض (حوالي 500 psi) إلا أنه يمكن أن يصــاحبها كميات كبيرة من الموائع لذلك يجب أن يكون خرج المحول بقطر كبير وبصـــمام واحد مفتوح فتحة كاملة ، كما يجب أن يكون خط الخرج مستقيماً قدر الإمكان (خالي من الالتواءات).



الشكل (١٦-٣) يوضح المحول ونظام التحويل (Diverter System)

٣-٦- موانع الاندفاع الداخلية (Internal Blow out Prevertes) : [٣]

توجد العديد من الأدوات والمعدات المستخدمة لمنع حركة الموائع الطبقية المتسربة صعوداً داخل مواسير الحفر والتي من أبرزها :

- **صمامات الأمان (safety valves)** : حيث يتم تركيبها على نهاية مواسير الحفر المفتوحة عندما يحصل اندفاع وذلك في حال عدم تركيب القلم وهي عبارة عن مانع اندفاع داخلي ويتم اختبار موانع الاندفاع فإذا حصل الاندفاع ومواسير الحفر مفتوحة يتم إضافة صمام الأمان وإغلاقه ومن ثم من الممكن ربط القلم وغالباً ما يتم تثبيت وإغلاق صمام الأمان قبل إغلاق مجموعة من موانع الاندفاع .
- **الصمام العائم (float valve)** : يتم تركيبه بين أعمدة الحفر ورأس الحفر وهو صمام ذو سدادة طافية حيث يسمح بحركة سائل الحفر من خلاله للأسفل وتمنع صعود الموائع الطبقية ضمن مواسير الحفر ولكن لا يمكن من خلاله معرفة وقراءة قيمة ضغط مواسير الحفر من على السطح.
- **صمامات عدم رجوع** : توجد ضمن عمود مجموعة المواسير ، لها عدة أنواع :

i. **صمام قلم الحفر السفلي (Lower kelly Cock)** يوضع بين القلم وأول ماسورة حفر يسمح بتدفق السائل للأسفل فقط ، وعند الاندفاع في حالة التدفق المعاكس باتجاه الأعلى يغلق آلياً ، ثم يتم فتحة يدوياً بعد السيطرة على الاندفاع .

ii. **صمام قلم الحفر العلوي (Upper Kelly Cock)** : يتم تركيبه بين قلم الحفر والرأس الهيدروليكي (Swivel) ويتم فتحه يدوياً بعد الإغلاق ويعتبر هذا الصمام احتياطياً.

٣-٧- وحدة التغذية الهيدروليكية أسطوانات تجميع الموائع (Accumulators): [٤]

يتم التحكم بفتح وإغلاق تشـــكيلة موانع الاندفاع من خلال لوحة تحكم موجودة على ســـطح منصـــة برج الحفر والموصـــولة إلى نظام اســـطوانات الموائع الهيدروليكية المضـــغوطة التي تؤمن تشـــغيل كل عناصـــر تشـــكيلة صـــمامات مانع الاندفاع والتي ســـنتطرق إلى دراســـتها تفصيلياً في الفصول القادمة .

وهكذا يمكن تخليص تجهيزات منظومة منع الاندفاع كمايلي :

١- مجموعة تشكيلة موانع الاندفاع (BOP Stack).

٢- خطوط القتل والخنق (Kill & choke lines) ومجموعة شبكة صـمامات الخانق : (Choke Manifold) وهي عبارة عن مجموعة أنابيب ســـطحية تتصـــل مع الفراغ الحلقي لقتل البئر ولاستقبال سائل الحفر المندفع بعد إغلاق المانع وتوجيه 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.

٣- لوحة التحكم بصمامات خط الخنق ، تحوي هذه اللوحة على :

- ❖ عتلات للتحكم الآلي بإغلاق وفتح الصمام الآلي في الخطوط .
- ❖ مؤشري الضغط داخل مواسير التغليف وداخل مواسير الحفر .

٤- المحول (Diverter) وموانع الانـــدفـــاع الـــداخليـــة (Internal Blow Out Preventers) والمتمثلة بمجموعة من الصمامات التي تعمل على منع حركة الموائع الطبقية المتسربة صعوداً ضمن مواسير الحفر وتوجيهها لمسافة آمنة بعيداً عن البئر .

٥- اســـطوانات الســـائل الهيدروليكي الخاصـــة بتشـــغيل الموانع (Accumulator) التي تحتوي على سائل مضغوط وتتصل بموانع الاندفاع بوساطة خراطيم مرنة .

٦- 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 سائل الحفر.
- ✓ الثالثة لخروج الغاز إلى خط الشعلة .

الفصل الرابع :

إجراءات إغلاق موانع الاندفاع
في منصات الحفر البحرية

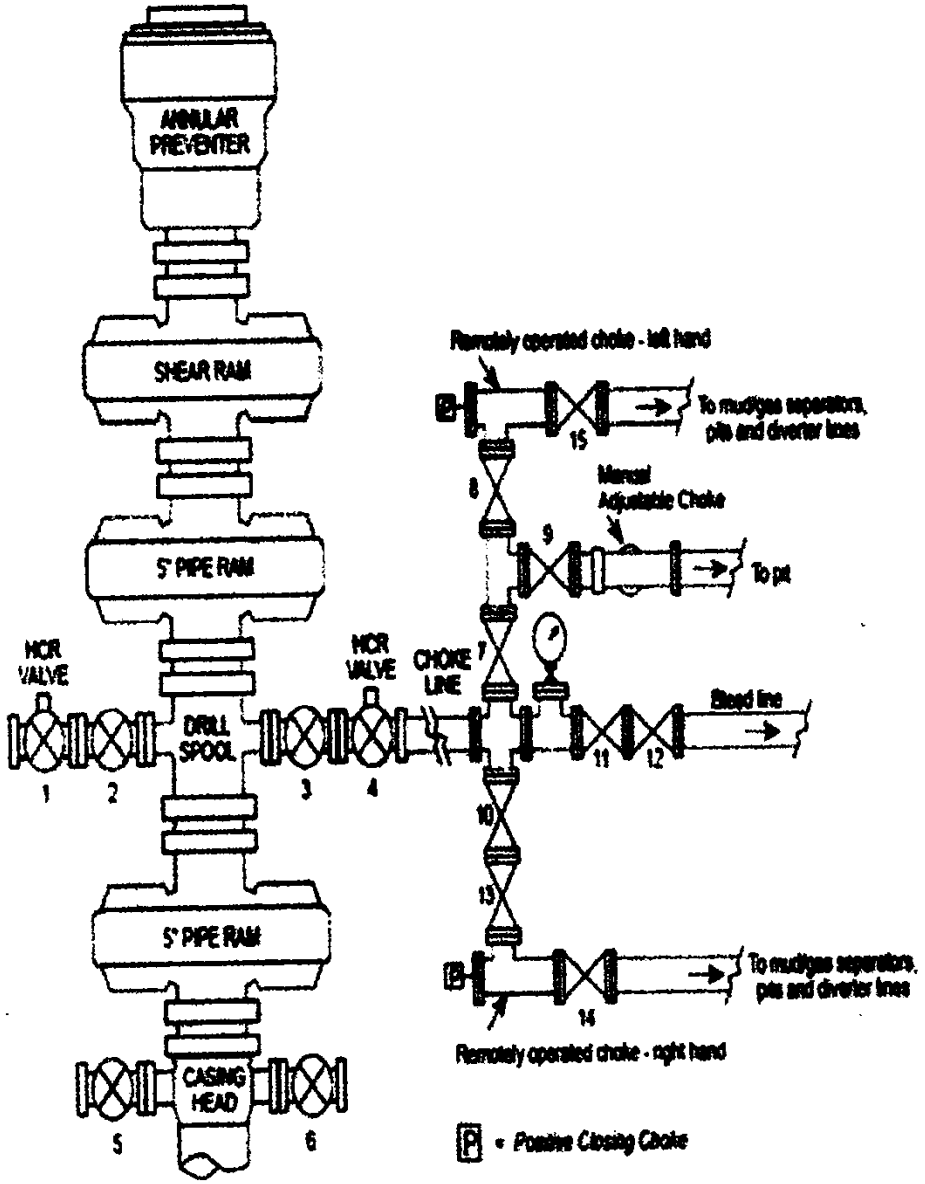
٤-١- إجراءات إغلاق موانع الاندفاع على منصة بحرية ثابتة : [

في المنصة البحرية الثابتة يكون رأس البئر ومعدات التحكم بالبئر على سطح المنصة كما في الشكل (١-٤).



الشكل (١-٤) منصة حفر ثابتة

ومخطط دارة السيطرة على البئر في المنصات الثابتة موضحة بالشكل (٢-٤)



الشكل (٢-٤) مخطط دارة السيطرة على البئر في المنصات الثابتة

عند ملاحظة أي إشارة إيجابية لركلة ، مثل زيادة مفاجئة في التدفق ، أو زيادة مستوى سائل الحفر في الخزانات ، يجب إغلاق البئر على الفور دون القيام بفحص الزيادة في التدفق إذا كان من الصـــــعب إجراء ذلك الأمر ، ثم يمكن بعد الإغلاق إجراء فحص التدفق للتأكد من تدفق البئر .

٤-١-١ إجراءات أثناء الحفر : [٥]

١- عندما يتم ملاحظة مؤشـــرات التدفق أثناء الحفر ، يتم إيقاف تدوير تشـــكيلة الحفر ورفعها مع تدوير سائل الحفر حتى تصبح التشكيلة فوق أرضية منصة الحفر .

٢- إيقاف مضخات سائل الحفر ، والتحقق من التدفق إذا كان موجباً .

٣- فتح الصمام (HCR) على خط الخانق (chock line) .

٤- إغلاق موانع الاندفاع (BOP).

٥- إغلاق الصـــمـام الخـانق ، وإذا لم يكن الاغلاق محكمـاً ، نغلق الصـــمـام downstream valve

٦- اسـتدعاء المشـرف على جهاز الحفر ، والبدء في رسـم بياني للضـغط داخل تشـكيلة الحفر مع الزمن ، ومراقبة الزيادة في حجم خزانات سائل الحفر .

٧- مراجعة الاجراءات المطلوبة للسيطرة على البئر .

٤-١-٢ إجراءات الإغلاق الطري لموانع الاندفاع أثناء الرفع والانزال : [٧]

١- إذا كان هناك مؤشـــر على وجود تدفق ، يتم إيقاف تدوير تشـــكيلة الحفر ورفعها إلى السطح مع بحيث تكون منطقة الشرار للمواسير فوق المنصة.

٢- تثبيت تشكيلة الحفر بوضع ماسكات المواسير.

٣- تكريب صمام أمان كامل الفتح .

٤- أغلق صمام الأمان .

٥- فتح الصمام على خط الخانق (HCR) على خط الخانق (Chock line) .

٦- إغلاق موانع الاندفاع BOP.

٧- مراجعة الاجراءات المطلوبة للسيطرة على البئر .

٨- استدعاء المشرف على جهاز الحفر وتسجيل ضغط مواسير الحفر مع الزمن والتحقق من زيادة حجم خزانات سائل الحفر.

٩- بتركيب مانع انفجار داخلي (صمام عدم رجوع) .

١٠- فتح صمام الخانق (chock line) الموجودة في شبكة الصمامات chock manifole) .

١١- تقليل الضغط داخل الفراغ الحلقي ، والبدء برفع الاندفاع أثناء الحفر .

٤-١-٣ إجراءات الإغلاق القاسي لموانع الاندفاع أثناء الحفر : [٦]

١- إذا كان هناك مؤشر على وجود تدفق ، يتم إيقاف تدوير تشكيلة الحفر ورفعها إلى السطح بحيث تكون منطقة وصل الشرار لمواسير الحفر فوق المنصة.

٢- ايقاف المضخات والتحقق من التدفق إذا كان موجباً .

٣- إغلاق موانع الاندفاع (BOP) .

٤- فتح الصمام على خط الخانق (HCR) على خط الخانق (Chock line).

٥- استدعاء المشرف على جهاز الحفر ، والتحقق من الضغوط (المواسير والفراغ الحلقي) ، والتحقق من زيادة حجم خزانات سائل الحفر .

٤-١-٤ إجراءات الإغلاق السريع لموانع الاندفاع أثناء الحفر: [٦]

١- إذا كان هناك مؤشر على وجود تدفق ، يتم إيقاف تدوير تشكيلة الحفر ورفعها إلى السطح بحيث تكون منطقة وصل الشرار فوق المنصة.

٢- ايقاف المضخات والتحقق من التدفق إذا كان موجباً.

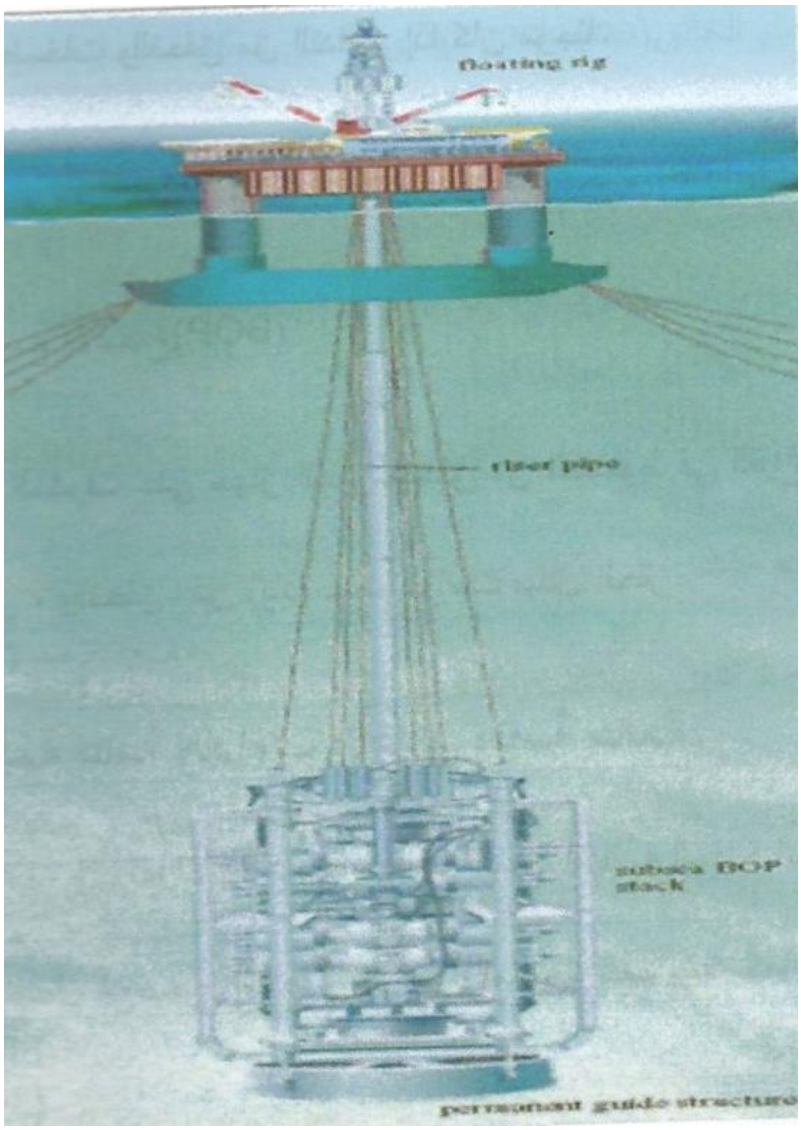
٣- فتح الصمام على خط الخانق (HCR) على خط الخانق (chock line).

٤- إغلاق موانع الاندفاع (BOP) .

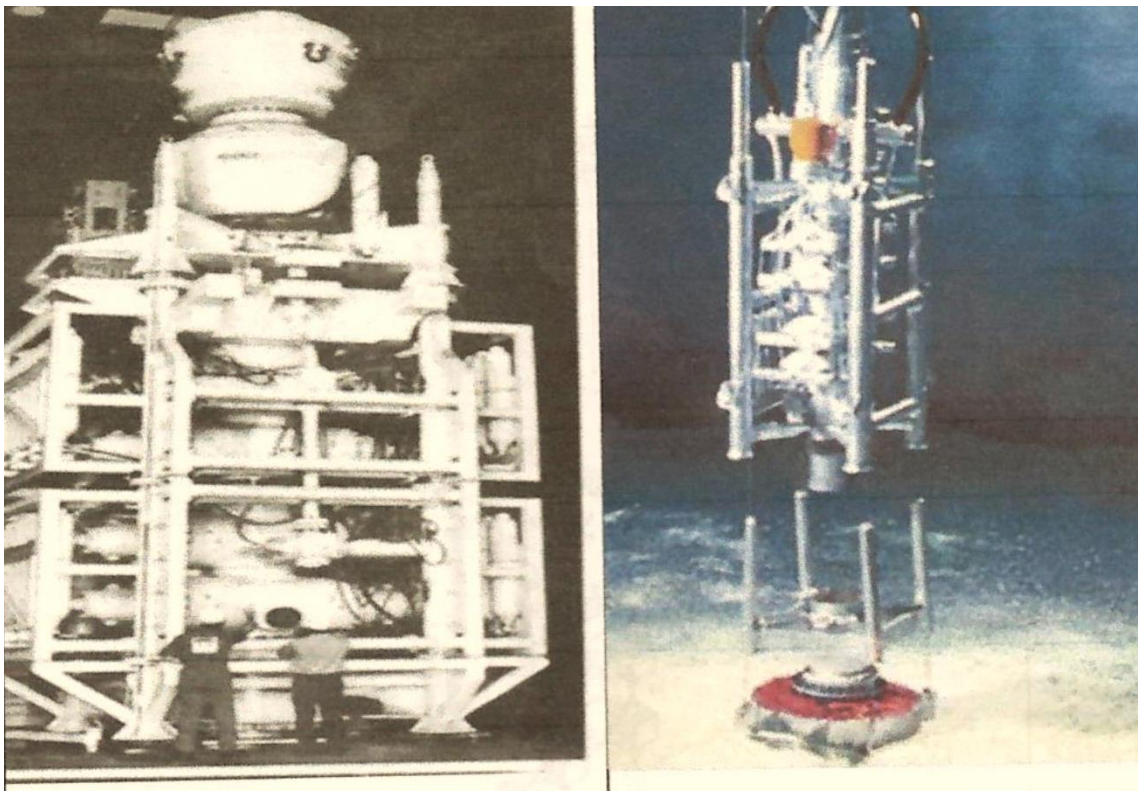
٥- استدعاء المشرف على جهاز الحفر وتحقق من الضغوط في الفراغ الحلقي وداخل تشكيلة ، والتحقق من زيادة حجم خزانات سائل الحفر.

٤-١- مقدمة عامة لإجراءات الإغلاق منصة عائمة : [٥]

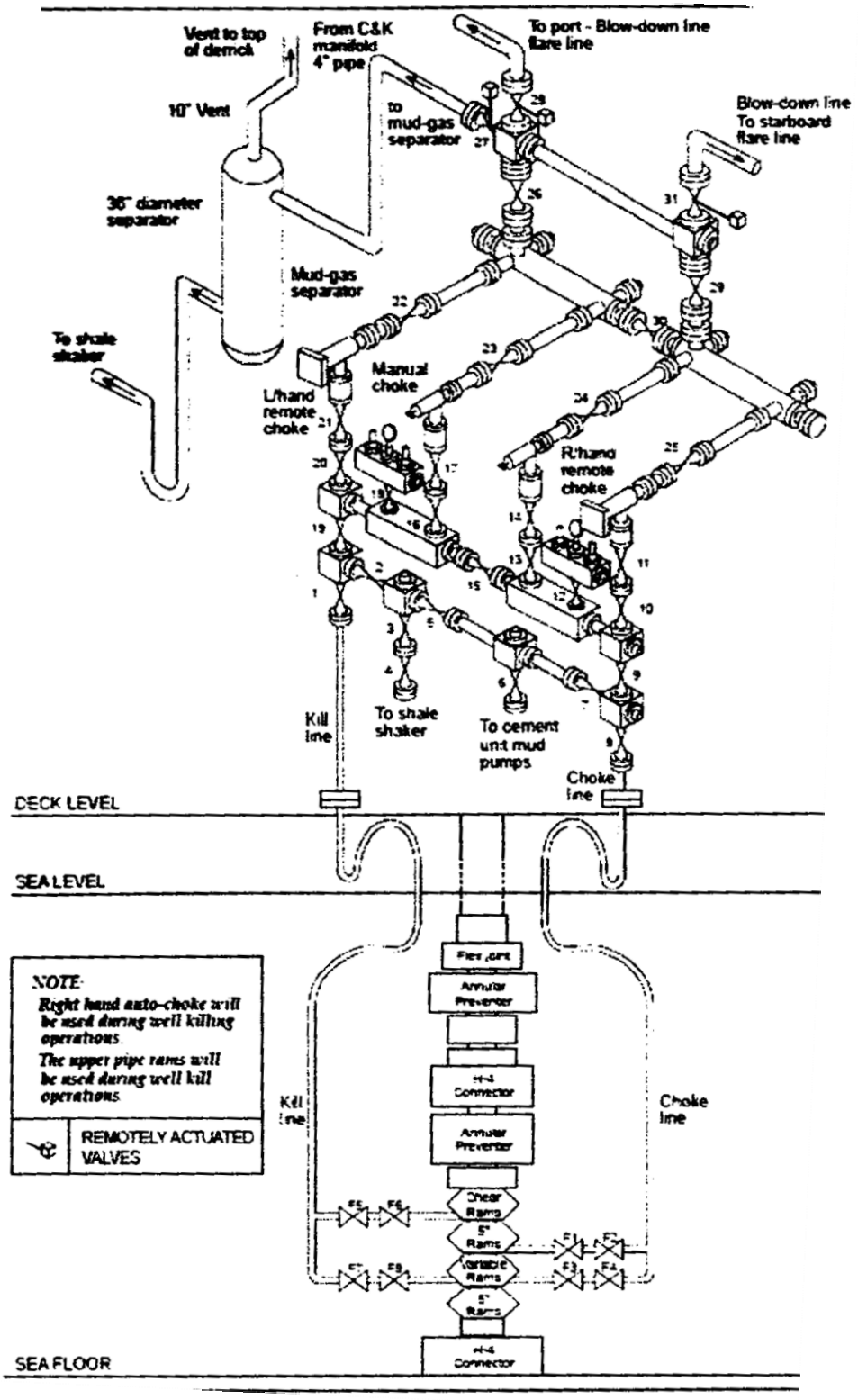
يكون رأس البئر وموانع الاندفاع في منصات الحفر العائمة على قعر البحر ، والاتصال مع سطح المنصة يتم عبر الماسورة الصاعدة ، كما هو موضح بالشكل (٣-٤).



والشكل (٤-٤) يبين موانع الاندفاع البحرية المثبتة على قعر البحر



والشكل (٥-٤) يبين مخطط السيطرة على البئر في المنصات العائمة



والشكل (٥-٤) يبين مخطط السيطرة على البئر في المنصات العائمة

عند ملاحظة أي إشـــارة إيجابية لركلة ، مثل زيادة مفاجئة في التدفق ، أو زيادة مســـتوى خزانات ســـائل الحفر ، يجب إغلاق البئر على الفور دون القيام بالتدفق من التحقق إذا كان من الصعب اكتشاف الزيادة في التدفق للحصول على فحص تدفق دقيق نقوم بما يلي:

أ) إيقاف تدوير تشكيلة الحفر .

ب) ايقاف مضخات الحفارات .

ت) مراقبة خزان الاصطياد .

ث) أغلق صمام المناخل الهزازة .

ج) خزان الاصطياد مملوء نصفه بسائل الحفر ، وإجراء فحص التدفق .

٤-٢-١ إجراءات الاغلاق اللين لموانع الاندفاع أثناء الحفر : [٧]

١- عند ملاحظة أي مؤشـــر تدفق في البئر أثناء الحفر ، نوقف تدوير تشـــكيلة الحفر ونرفعها عن القاع مع استمرار تشغيل مضخات سائل الحفر ، حتى تصبح الوصلة (منطقة الشرار) فوق مانع اندفاع المواسير وتحت مانع الاندفاع العام (بحيث يغلق مانع الاندفاع العام على جسم الماسورة) .

٢- إيقاف مضخات سائل الحفر والتحقق من وجود التدفق ، إذا كان نعم نتابع خطوات الإغلاق .

٣- فتح صمام الأمان (fail – safe valva) صمام يغلق ذاتياً عند فقدان الطاقة وفتح خط (chock line) المؤدي إلى مجموعة الحنفيات (chock manifold).

٤- نغلق مانع الاندفاع العام (annular) ومكبس المعوض (compenator) في المنتصف .

٥-إغلاق الصـــمام الخانق الموجود في مجموعة الحنفيات الصـــمام downstream (valve)

٦- الاتصال بالمشرفين والبدء في رسم بياني لتغير ضغط تشكيلة الحفر مع الزمن ، والضغط في الفراغ الحلقي ، والتحقق من زيادة حجم خزانات سائل الحفر.

٧-اغلاق مانع اندفاع التعليق بضغط أقل من ضغط الاغلاق بقليل (ضغط الاغلاق حوالي 1500psi ، والتقليل من ضغط الإغلاق لمانع الاندفاع العام وذلك لسماح بانزلاق المواسير داخله دون حدوث تآكل للقم العزل المطاطية ، ثم تحميل تشكيلة الحفر لتصل وصلة المواسير إلى مانع اندفاع التعليق ونحمل كامل وزن تشكيلة الحفر على مانع اندفاع التعليق ، ثم نرفع ضغط الإغلاق إلى (1500 psi) نفتح مانع الاندفاع العام .

٨-نغلق مسمار الأمان (يمنع ميكانيكياً مانع الاندفاع من الحركة)، ونضبط المعوض ليدعم غلق مانع الاندفاع ، ويتحمل وزن التشكيلة زائداً وزنها بقيمة (20000lb) .

٤-٢-٢ إجراءات الاغلاق القاسي على منصة عائمة : [٦]

١- عند ملاحظة أي مؤشر تدفق في البئر أثناء الحفر ، نوقف تدوير تشكيلة الحفر ونرفعها عن القاع مع استمرار تشغيل مضخات سائل الحفر ، حتى تصبح الوصلة (منطقة الشرار) فوق مانع اندفاع المواسير وتحت مانع الاندفاع العام (بحيث يغلق مانع الاندفاع العام على جسم الماسورة) .

٢- إيقاف مضخات سائل الحفر والتحقق من وجود التدفق ، إذا كان نعم نتابع خطوات الإغلاق.

٣- نغلق مانع الاندفاع العام (annular) ومكبس المعوض (compensator) في المنتصف .

٤- فتح صمام الأمان (fail-safe valve) صمام يغلق ذاتياً عند فقدان الطاقة وفتح خط (chock line) المؤدي إلى مجموعة الحنفيات (chock manifold).

٥- الاتصال بالمشرفين والبدء في رسم بياني لتغير ضغط تشكيلة الحفر مع الزمن، والضغط في الفراغ الحلقي ، والتحقق من زيادة حجم خزانات سائل الحفر.

٦-إغلاق مانع اندفاع التعليق بضغط أقل من ضغط الإغلاق بقليل (ضغط الإغلاق حوالي 1500psi والتقليل من ضغط الاغلاق لمانع الاندفاع العام وبذلك للسماح بانزلاق المواسير داخله دون حدوث تآكل للقم العزل المطاطية ، ثم تحميل تشكيلة الحفر لتصل وصلة المواسير إلى مانع اندفاع التعليق ونحمل كامل وزن تشكيلة الحفر على مانع اندفاع التعليق ، ثم نرفع ضغط الاغلاق إلى 1500 psi ونفتح مانع الاندفاع العام .

٧- ضبط المعوض ليعدم غلق مانع الاندفاع ويتحمل وزن التشكيلة زائداً وزنها بقيمة (20000 lb) .

٤-٢-٣ إجراءات الاغلاق السريع على منصة عائمة : [٦]

١- عند ملاحظة أي مؤشر تدفق في البئر أثناء الحفر، نوقف تدوير تشكيلة الحفر ورفعها عن القاع مع استمرار تشغيل مضخات سائل الحفر ، حتى تصبح الوصلة (منطقة الشرار) فوق مانع اندفاع المواسير وتحت مانع الاندفاع العام (بحيث يغلق مانع الاندفاع العام على جسم الماسورة).

٢- إيقاف مضخات سائل الحفر والتحقق من وجود التدفق .

٣- فتح صمام الأمان (fail-safe valve) صمام يغلق ذاتياً عند فقدان الطاقة وفتح خط (chock line) المؤدي إلى مجموعة الحنفيات (chock manifold).

٤- نغلق مانع الاندفاع العام (annular) ومكبس المعوض compenator في المنتصف.

٥- الاتصال بالمشرفين والبدء في رسم بياني لتغير ضغط تشكيلة الحفر مع الزمن ، والتحقق من زيادة حجم خزانات سائل الحفر .

٦- إغلاق مانع اندفاع التعليق بضـغط أقل من ضـغط الاغلاق بقليل (ضـغط الاغلاق حوالي 1500psi والتقليل من ضـــغط الاغلاق لمانع الاندفاع العام وذلك لســـماح بانزلاق المواســير داخله دون حدوث تأكل للقم العزل المطاطية ، ثم تحميل تشــكيلة الحفر لتصــل وصــلة المواســير إلى مانع اندفاع التعليق ونحمل كامل وزن تشــكيلة الحفر على مانع اندفاع التعليق ، ثم نرفع ضغط الاغلاق إلى 1500 psiونفتح مانع الاندفاع العام .

٧- نغلق المسـار الامان (يمنع ميكانيكيا مانع الاندفاع من الحركة) ، ونضـبط المعوض ليدعم غلق مانع الاندفاع ، ويتحمل وزن التشكيلة زائداً وزنها بقيمة (20000lb).

النتائج والمقترحات

النتائج:

١- تعد مشكلة اندفاع الآبار النفطية والغازية من أخطر المشاكل التي تحدث عند حفر الآبار .

٢- لا تقتصر خطورة مشكلة اندفاع الآبار على الخسارة المكمنية (ضغط الطبقة المنتجة ، مخزون المواقع الطبقية) أو خسارة الوقت في معالجة المشكلة وتكلفة المعالجة ، بل يتعدى ذلك إلى أضرار بيئية تؤثر في البيئة المحيطة بالبئر المندفعة بشكل سلبي.

٣- لا تحدث مشكلة الاندفاع بشكل مباشر أو بشكل فوري ، بل تحدث تدريجياً بدءاً من دخول المواقع الطبقية لداخل البئر وانخفاض الوزن النوعي لسائل الحفر وازدياد حجم سائل الحفر من تشكل مخدات غازية ضمن البئر .

٤-تعد الأسباب المتعلقة بالطاقم الفني المشرف على عملية الحفر (عدم تركيب موانع الاندفاع المناسبة ، عدم تحضير سائل الحفر ذو الوزن النوعي المناسب والمطلوب لحفر الطبقات المنتجة) من أهم الأسباب التي تؤدي لحدوث الاندفاع .

٥- إهمال تعبئة البئر خلال عمليات الرفع وعدم الانتباه إلى البئر لم يأخذ الكمية المطلوبة من سائل الحفر لتعويض حجم المواسير المرفوعة وتشكل نسبة ٤٢% أسباب حدوث الاندفاع .

٦-إن عدم ملاحظة مؤشرات حدوث الركلة ومعالجتها بشكل فوري يؤدي إلى حدوث الاندفاع .

٧- إجراء الاختبارات الدورية والصيانة من فترة لأخرى لموانع الاندفاع وذلك تحسباً لأي طارئ.

٨- تشكل مشاكل التهريب الجزئي أو الكلي لسائل الحفر سبباً هاماً في حدوث السريع للتشكيلة التي تؤدي لتشقق الطبقات وتمثل نسبة ٢٢% من أسباب حدوث الاندفاعات.

٩- ظاهرة الشفط (Swabbing) الناتجة عن عمليات الرفع السريعة لتشكيلة الحفر تسبب حدوث الاندفاعات الطبقية بنسبة ١٦% في الحقول النفطية.

المقترحات:

من خلال الدراسة السابقة نقترح مايلي :

١- تحضير سائل الحفر بالوزن النوعي المناسب .

٢-معالجة مجالات فقدان سائل الحفر أثناء حفر الطبقة المنتجة وإغلاقها بشكل كامل إن أمكن ذلك .

٣- المراقبة الجديدة لمؤشرات حدوث الركلة لمعالجة السبب بشكل فوري .

٤-ينصح برفع المواسير ببطء وتعبئة البئر باستمرار لتجنب هبوط الضغط خصوصاً عند استخدام سائل لزج وفراغ حلقي صغير لتجنب حدوث ظاهرة الشفط (Swabbing) الناتجة عن عمليات الرفع السريعة لتشكيل الحفر حيث تسبب حدوث الاندفاعات الطبقية بنسبة ١٦% في الحقول النفطية .

٥- يجب قياس حجم السائل الخارج أثناء الانزال ومقارنته مع الذي تم ضخه أثناء الرفع.

٦- تجنب الإنزال السريع الذي يؤدي لحدوث الفعل المكبسي لتشكيلة الحفر والتي تؤدي لتشقق الطبقات وتمثل ٢٢% من أسباب حدوث الاندفاعات .

٧- يتم التحكم بفتح وإغلاق تشكيلة موانع الاندفاع من خلال منظومة الدارات الهيدروليكية المؤلفة من مجموعة أقسام أبرزها وحدة اسطوانات.

٨- المراقبة المستمرة للسائل وخصوصاً من حيث ذكر طبيعة الغازات فيه وكذلك الملوحة.

٩- ضرورة التأكد من جاهزية بطاريات موانع الاندفاع .

١٠- في المنصات البحرية الثابتة والعائمة عند ملاحظة أي إشارة إيجابية لركلة أثناء الحفر وعمليات الرفع والانزال نقوم بالإغلاق الطرق (اللين) لموانع الاندفاع وفي حال وجود تدفق نقوم بالإغلاق القاسي.

المراجع العلمية

• المراجع العربية :

١- أ. د . طاهر نصور ، د. مسرور سليمان ، هندسة الحفر (٣) – القسم النظري – كلية الهندسة الكيميائية والبترولية ، منشورات جامعة البعث (٢٠٠٩-٢٠٠٨) .

٢- د. مسرور سليمان ، د. عدنان ابراهيم البارودي – هندسة الحفر (٣) – القسم العملي – كلية الهندسة الكيميائية والبترولية ، منشورات جامعة البعث .

٣- الشركة السورية للنفط ، تقارير آبار الشركة السورية للنفط .

٤- مشاريع تخرج سابقة .

• المراجع الانكليزية :

5_ Blowout and well Handbook – Robert D grace.

6_ ABERDEEN DRILLING SCHOOLS & Well control Training Center – WELL CONTROL For the Rig- site Drilling Team – 2002.

7_Cameron international Crop – Cameron whitby 2008.