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

تصميم بئر استكشافية باستخدام برنامج Deep Drill

دراسة أعدت لنيل درجة الاجازة في هندسة البترول

اشراف

الدكتور المهندس يوسف فرج **المهندس راتب جمول**

اعداد الطالب

أنس عمار نجوم

2025م-1446هـ

الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(وَلَقَدْ مَنَنَّا عَلَيْكَ مَرَّةً أُخْرَىٰ)

(فَاسْتَجَابَ لَهُمْ رَبُّهُمْ أَنِّي لَا أُضِيعُ عَمَلَ عَامِلٍ مِّنكُم)

الحمدالله والصلاة والسلام على النبي المجاهد الشهيد سيدنا محمد صلى الله عليه وآله وسلم

اهدي هذا المشروع الى التي أفضلها عن نفسي والتي ضحت من أجلي والتي لم تدخر
يوما ما في سبيل اسعادي الى من كانت ملجأي في أحلك الأيام

امي (سهاد محمد تركي خطاب)

نور دربي وسبب نجاحي بعد الله سبحانه وتعالى لقد كنتي وما زلتي سندا لي طوال سنين حياتي واطلب من الله ان يمد في عمرك وان يمد في عمري لكي أرد لك بعض من هذا الدين

الى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريقي والذي كان الداعم الأول لي دائما وأبدا الى من كان يدي اليمنى الى من أبصرت به الطريق

أبي (عمار خالد نجوم)

أطال الله في عمرك ارجو من الله ان تكون فخورا بي وان أكون عند حسن ظنك

الى الذي كان سندا لي في كامل مسيرتي, الى من اشاركه الافراح والاحزان , الى الذي ائتمنه على حياتي

أخي (خالد عمار نجوم)

الى قدوتي الأولى, الى حبي الأول , التي بثت بي الرغبة على مواصلة مشواري الى التي افتخر بها , الى ملجأي في اصعب الأوقات

أختي الدكتورة (آمال عمار نجوم)

الى أصغر العنقود , الى من شاركني معظم تفاصيل حياتي , الى من أتمنى ان يكون أفضل مني

أخي (أسامه عمار نجوم)

الى من كان لي أبا وعما وصديقا وأخا الى من ترك بصمة في حياتي الى من ساندني في أصعب الأوقات

عمي (كرم خالد نجوم)

الى الذي جمعتني الظروف به واشكر الله على هذه الظروف الى من أصبح بمثابة أخ لي الى من انا له وهو لي

(أنس حسن المرعي)

الى صديق الطفولة وصديق الحاضر والمستقبل الى من كان لي معه احلى الذكريات

(جوزيف عبدالله سلمو)

الى من لم يبخل علي بالعلم , والى من يدفعني دائما الى أقصى امكانياتي , الى دكاترتي الأعزاء

(الدكتور يوسف رضوان , الدكتور يوسف فرج)

الى من ظهر من العدم وهز كيان عالمي الى من اعطاني الامل مرة أخرى

(حنان نجم البحر)

اللهم بارك لي في هذا العمل , واجعله فاتحة خير لطريق جديد ومرحلة جديدة في حياتي ووفقني لما تحبه وترضاه

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

الفهرس

الموضوع	الصفحة
المقدمة	8
الفصل الأول: تغليف الآبار	9
1-1- مقدمة	9
1-2-مراحل تغليف البئر	9
1-3-تصميم برنامج التغليف	14
1-4-تصميم مواسير التغليف	16
الفصل الثاني :سمنتة الآبار	22
2-1- مقدمة	22
2-2- أهداف السمنتة	23
2-3- طرق السمنتة	23
2-4 -تصميم العمليات الإسمنتية	28
الفصل الثالث: تشكيلة الحفر	34
3-1 - مقدمة	34
3-2 الإجهادات التي تتعرض لهاتشكيلة الحفر(مجموعة مواسير الحفر)	37
3-3-تصميم مجموعة مواسير الحفر	47
الفصل الرابع: الحسابات التصميمية للبئر المقترحة	53
4-1-تصميم برنامج التغليف	53
4-2-الحسابات التصميمية لمواسير التغليف	55
4-3-حسابات عملية السمنتة	58
4-4- تصميم تشكيلة الحفر	70

الفصل الخامس: تصميم بئر استكشافي باستخدام برنامج DeepDrill	79
5-1-واجهة المستخدم	79
5-2- واجهة إدخال البيانات	80
5-3- نتائج حسابات برنامج Deep Drill	90
5-4 النتائج	92
5-5- مقترحات مستقبلة لتطوير البرنامج	92
المراجع العلمية	94

مقدمة

ازداد الدور الذي تلعبه التقنيات الحديثة والأتمتة في مجالات الصناعات المختلفة, وخصوصاً الصناعات النفطية, التي تعتمد في الكثير من مراحلها على حسابات دقيقة من شأنها اختصار الوقت والكلفة المادية وتخفيف العبء الواقع على العنصر البشري, من هنا جاءت فكرة المشروع في البحث عن برنامج حاسوبي قد يسهم في الاستفادة من التقنيات الحاسوبية الحديثة في الصناعة النفطية, وتعد دراسة تصميم بئر استكشافي من المهام التي تحتاج لدراسة دقيقة ومعمقة, فعليها تعتمد المراحل التالية التي تمثل المرحلة التنفيذية لهذه المهمة, لذلك بدأ البحث عن فكرة إيجاد برنامج حاسوبي يقوم بهذه المهمة .

يهدف هذا المشروع إلى إنشاء برنامج حاسوبي لحساب تصميم بئر استكشافي وذلك بالاعتماد على المعلومات الجيولوجية المتوفرة لدى المهندس المختص وذلك من خلال الأهداف التالية:

الفصل الأول: ونتناول فيه عملية تغليف االآبار, تصميم برنامج التغليف , والعلاقات المستخدمة في تصميم مواسير التغليف .

الفصل الثاني: ونتناول فيه عملية سمنتة الآبار, والعلاقات المستخدمة في تصميم عملية السمنتة.

الفصل الثالث: ويتضمن تشكيلة الحفر , والعلاقات المستخدمة في تصميم تشكيلة الحفر.

الفصل الرابع : ويتضمن حسابات تصميم بئر استكشافي.

الفصل الخامس: وهو القسم العملي الذي يتضمن تصميم بئر استكشافي ياستخدام برنامج Deep Drill.

وفي النهاية قدمنا بعض المقترحات المستقبلية لتطوير هذا البرنامج. ونحن اذ نقدم هذا العمل نأمل يكون فيه كل ما هو مفيد لزملائنا الطلبة العاملين في مجال هندسة الحفر ابار النفط وذلك مساهمة" بتنمية صناعتنا النفطية الوطنية.

الفصل الأول

تغليف الابار

Well Casing

1-1- مقدمة :

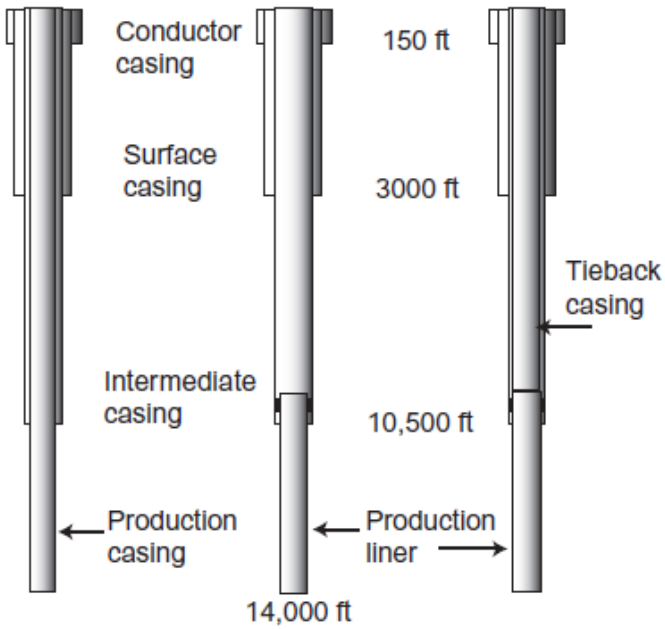
إن جميع الآبار التي تحفر لإنتاج النفط والغاز أو لحقن الموائع في الطبقة ,يتم تدعيم جدرانها الصخرية بمجموعة من الأنابيب المعدنية اتفق على تسميتها بمواسير التغليف (Casing) .حيث يضخ سائل إسمنتي كي يملأ الفراغ الحلقي بين القطر الخارجي لمواسير التغليف وجدران البئر, والذي يتصلب بعد فترة من الزمن كي يؤمن للمواسير متانة وعازلية كافية لتأدية وظائفها الرئيسة في:

- الحفاظ على ثبوتية جدران البئر, أي تؤمن دعم جدران البئر مقابل الطبقات الضعيفة والمتشققة، ومنع تكهف جدران البئر خلال عمليات الحفر.
- عزل الطبقات المسامية التي تحتوي على موائع طبقية ذات خواص فيزيائية مختلفة، وتتواجد ضمن شروط طبقية مختلفة . وينجز ذلك من خلال العمل المشترك لعمليات التغليف والسمنتة.
- منع تلوث الطبقات القريبة من السطح والحاملة للمياه العذبة بسائل الحفر.
- التحكم بضغوط الآبار خلال عمليات الحفر والإنتاج والإصلاح , كما أنها تشكل قاعدة متينة ومحكمة لتثبيت المعدات المختلفة التي تنزل في البئر أو التي تجهز بها فوهته أثناء الحفر(كأجهزة منع الانفجارBOPs)، أو كشجرة الميلاد ومواسير الإنتاج أثناء الإنتاج.
- تؤمن بئراً بقطر وعمق مناسبين يمكّنا من إنزال أجهزة الاختبار وتجهيزات الإنهاء للآبار.

وعملية التغليف هي عبارة عن سلسلة من الإجراءات الضرورية التي يتم بموجبها إنزال مواسير التغليف في البئر حتى عمق محدد , وذلك بشكل يلائم قطر رأس حفر الذي حفرت به ، أي استبدال جدران البئر الصخرية بجدران معدنية أكثر مقاومة .

1 -2- مراحل تغليف البئر(Casing stages)[4] :

في الواقع فإن حفر بئر بقطر واحد من السطح وحتى العمق النهائي للبئر يؤمن انجاز بئر بأقل كلفة , ولكن من جهة أخرى فإن وجود طبقات ذات ضغوط طبقية مختلفة , وغلى أعماق مختلفة بالإضافة إلى وجود طبقات ضعيفة أو طبقات غير متماسكة أو طبقات من الشيل التي تؤدي إلى تهدم جدران البئر , كل ذلك يتطلب إنزال مواسير لعزل تلك الطبقات التي تؤدي على مشاكل كثيرة ولتسمح بالحفر للوصول إلى العمق النهائي للبئر لذلك يتم حفر البئر على مراحل حيث يتم حفر مجالات معينة ، ثم تنزل مجموعة من مواسير التغليف التي تثبت بالإسمنت ، الذي يملأ الفراغ الحلقي بينها وبين جدران البئر بشكل كامل ، يتابع الحفر بعد ذلك من خلال هذه المواسير باستخدام رأس حفر جديد ذي قطر أصغر من السابق، حتى الوصول إلى عمق معين جديد ، حيث تنزل مجموعة أخرى من مواسير التغليف تكرّر العملية بين حفر وتغليف حتى الوصول إلى العمق النهائي المقرر للبئر. والشكل (1–1) يبين مراحل التغليف العامة لآبار النفط والغاز



الشكل (1–1) : مراحل التغليف العامة لآبار النفط والغاز

يتألف برنامج التغليف آبار النفط والغاز من المراحل الآتية[1,3,4]:

1–2–1– مواسير التغليف الدليلة (Conductor pipe or drive pipe or stove pipe)

: يطلق على هذه الماسورة اسم المرحلة الدليلة لأنها تدل على فوهة البئر أي تحفظ فوهة البئر من

انجراف التربة السطحية حيث تنجز حفرة مربعة الشكل عند فوهة البئر يتراوح طول ضلعها بين 0.8 – 1.0 m وعمقها بين 3 – 6 m تنزل في الحفرة ماسورة تغليف بقطر كبير(أكبر من أقطار بقية المراحل التي سوف تستعمل أثناء إنجاز البئر) يتراوح بين 20–30 in. وإلى عمق يتراوح بين 20 ft إلى عدة مئات من الأقدام . يرفع رأس هذه الماسورة عن سطح الأرض إلى ارتفاع يحدده نوع جهاز الحفر المستخدم ، بحيث تصل إلى مستوى منصة الطاحون . و يملأ الفراغ خارج الماسورة بالإسمنت تؤدي ماسورة التغليف الدليلة الوظائف الآتية :

1 – توجيه سائل الحفر الصاعد من البئر إلى ارتفاع معين ، كي يتمكن من الجريان بشكل حر إلى الخزانات بعد مروره بأجهزة تنظيفه من نواتج الحفر ، ومن أجل تحقيق هذه الوظيفة الأساسية لهذه الماسورة يتم تجهيزها بوصلة تصريف جانبية عند طرفها العلوي لخروج السائل عبرها.

2 – حماية الطبقات غير المتماسكة القريبة من السطح من الانهيار نتيجة استمرار دوران سائل الحفر .

3– حماية الطبقات الحاوية على المياه العذبة من التلوث بالمواد الكيميائية التي يعالج بها سائل الحفر

4– تحفظ فوهة البئر والقواعد الإسمنتية التي يثبت عليها جهاز الحفر من التأثر المستمر بسائل الحفر.

1-2-2-مرحلة التغليف السطحية (Surface casing) :

تغلف الطبقات السطحية من القشرة الأرضية وإنزالها إلزامي في جميع أنواع الآبار النفطية والغازية وتعتبر مواسير التغليف السطحية هي المرحلة الأولى من حيث الأهمية لأنها تشكل قاعدة لتثبيت أجهزة منع الاندفاع.

إن عمق إنزال مواسير التغليف السطحية يتغير بشكل كبير ، ويحدد بحيث تنزّل حتماً قبل الوصول إلى أية طبقة خازنة للمركبات الهيدروكربونية (نفط ، غاز) ، لأن اختراق هذه الطبقات مع عدم وجود أجهزة منع الاندفاع على فوهة البئر يمكن أن يتسبب بكارثة عند حدوث الاندفاع الذي لا يمكن السيطرة عليه. يتراوح عمق إنزالها من 200 قدم إلى عدة ألاف من الأقدام ,أما قطرها يتراوح بين 20 – 5/8 9 in , ويعتمد القطر المختار على عدد مراحل التغليف ، حيث أنه كلما زاد عدد مراحل إنجاز البئر كلما كبر قطر مواسير التغليف السطحية كما يعتمد على نوع البئر إذ تستخدم مواسير تغليف سطحية بقطر كبير في الآبار الاستكشافية.

تؤدي مواسير تغليف المرحلة السطحية الوظائف الآتية :

1 — تشكل قاعدة لتثبيت أجهزة منع الاندفاع على فوهة البئر التي تستخدم للتحكم في البئر أثناء الحفر, وهي الوظيفة الأساسية لهذه المواسير.

2- عزل الطبقات السطحية غير المتماسكة والطبقات التي تؤدي لتهريب سائل الحفر.

3 – حماية الطبقات السطحية الحاملة المياه العذبة من التلوث بالمواد الكيميائية التي يعالج بها سائل الحفر ومن التلوث بالموائع الطبقية التي تصادف أثناء حفر المراحل التالية . يستخدم الماء العذب لحفر هذه المرحلة من البئر عندما تتواجد طبقات غضارية (من النوع البنتونيتي القابل للتشرد في الماء) ضمن صخور هذه المرحلة، ويكفي ناتج الحفر فيها لرفع لزوجة الماء إلى الحد الذي يمكنه من تأدية وظائفه العامة كسائل حفر (تشكيل ضغط معاكس على جدران البئر، رفع نواتج الحفر إلى السطح، تنظيف قاع البئر من نواتج الحفر . . . إلخ). أما في حال عدم وجود طبقات غضارية ضمن المجال السطحي من البئر فتتم إضافة الغضار إلى الماء على السطح دون أية معالجات أخرى

4 – تتحمّل ثقل مواسير التغليف للمراحل التالية (الوسطية والإنتاجية) إضافةً إلى ثقل قسم من أجهزة الإنتاج (مواسير الإنتاج، شجرة الميلاد . . . إلخ). لذلك يجب أن تعزل مواسير هذه المرحلة بالإسمنت بشكل كامل (من القاع إلى السطح)، وذلك من أجل زيادة قدرتها على تحمّل الإجهادات .

1-2-3- مرحلة التغليف الوسطية (Intermediate or protective casing) :

هذه المرحلة تلي مرحلة التغليف السطحية ، وتعرف أيضاً بمواسير الحماية(protective casing) ، لأنها تحافظ على ثبوتية جدران البئروبالتالي تساعد في الوصول إلى العمق النهائي المقرر للبئر . وهذه المرحلة تتطلبها الشروط الجيولوجية فقط وهي التي تحدد العمق الذي تنزل إليه هذه المواسير، بحيث يتم عزل أو إغلاق جميع الطبقات التي تسبب مشاكل وتمنع من استمرار الحفر أو للوصول إلى العمق النهائي للبئر. وعندما تكون شروط الحفر معقدة ، تستخدم أكثر من مرحلة وسطية ، قد تصل إلى ثلاث مراحل (مرحلة وسطية أولى ، مرحلة وسطية ثانية مرحلة وسطية ثالثة) ، ونادراً ما تستخدم أربع مراحل وسطية يتراوح أقطار) مواسير التغليف الوسطية بين in 3/8 13 – 7

وفي مايلي نذكر بعض الوظائف التي تؤمنها مواسير التغليف الوسطية :

1- عزل الطبقات الاسفلتية (وتبعاً لدرجة خطورتها) والتي تتطلب استخدام سائل حفر يوزن نوعي مرتفع خاصةً إذا كانت الطبقات التي تليها تتطلب استخدام سائل حفر بوزن نوعي قليل .

2- عزل الطبقات أو المجالات ذات النفوذية المرتفعة والمتشققة ، والتي تؤدي إلى تهريب شديد لسائل الحفر ، خاصةً إذا كانت الطبقات التي تليها تتطلب استخدام سائل حفر بوزن نوعي مرتفع (تحوي موائع تحت ضغط مرتفع ، طبقات قابلة للانهيار, طبقات إسفلتية).

3-عزل الطبقات الحاوية على موائع واقعة تحت ضغط مرتفع (ماء مالح ، غاز) وتمنع دخولها إلى البئر ، الأمر الذي يؤدي في حال حدوثه إلى تغيير كبير في خواص سائل الحفر ، ويزيد من احتمال

حدوث صعوبات أخرى جديدة داخل البئر (تهدم جدران البئر ، اندفاع الغازات ، استعصاء مجموعة مواسير الحفر . . . إلخ) .

4 –عزل الطبقات التي تتأثر بشدة بسائل الحفر(طبقات ملحية ، طبقات غضارية ... إلخ)

1-2-4- مرحلة التغليف الإنتاجية (Production casing) :

تعتبر مواسير التغليف الإنتاجية المجموعة الثانية من حيث الأهمية وتكمن أهميتها في أنه من خلالها يتم استثمار محتويات الطبقات التي تشكل الهدف النهائي للبئر. يتراوح قطر مواسير الإنتاجية (قطر البئر في هندسة الإنتاج)

بين 7 in – 4 ½ .

يتم اختيار قطر مواسير التغليف للمرحلة الإنتاجية (وهو الأساس في تصميم برنامج التغليف) اعتماداً على:

- الإنتاجية المتوقعة من البئر.
- نوع المكمن (نفط أو غاز).
- طرق الإنتاج المحتمل اعتمادها أثناء استثمار محتويات المكمن.
- عدد مراحل التغليف وعمق البئر.

تقوم مواسير التغليف للمرحلة الإنتاجية بالوظائف الآتية :

1 – تشكل قناة لنقل الموائع الطبقية من الطبقة حتى السطح ، لأن معظم عمليات الإنتاج تتم من خلال مواسير الإنتاج التي تنزل داخل مواسير التغليف الإنتاجية .

2 – تمكّن من الاستثمار المنفصل للمجالات الخازنة للموائع الطبقية بطريقة مثالية، من خلال وصل البئر داخل مواسير التغليف الإنتاجية مع هذه المجالات فقط من خلال التثقيب .

3–تمكّن من إجراء عمليات تحسين (التحميض ، التشقيق الهيدروليكي . . إلخ) نفوذية المناطق المجاورة للآبار وذلك لزيادة معدل تدفق النفط أو الغاز منها باتجاه البئر.

4 – تمكّن من مراقبة الضغط والتحكم به داخل البئر أثناء إنتاج الموائع الطيقية , وكذلك تمكّن من حقن الموائع في الطبقة (ماء أو غاز) لزيادة ضغطها أو للمحافظة عليه عند قيم ثابتة .

ويمكن الاستغناء عن مواسير التغليف الإنتاجية في الآبار الاستكشافية في حال التأكد من عدم وجود النفط أو الغاز ضمن المجال المستهدف للحفر.

1-3- مواسير التغليف الضائعة (Liner Casing) :

تسمّى مواسير التغليف بعمود كامل (Full casing) عندما تنزل من السطح وحتى قاع البئر. أما عندما تستخدم مواسير تغليف بطول أقل من عمق البئر فتسمى مواسير التغليف الضائعة (عدم إمكانية استعادة أي جزء منها بعد تثبيتها في البئر), حيث يتم تعليقها داخل مواسير التغليف السابقة (على ارتفاع 50 – 150 m من نهايتها السفلى) وذلك باستخدام أجهزة تعليق المواسير الضائعة (liner hanger) .

1-4-تصميم برنامج التغليف (Design of casing program)[1] :

يتضمن تصميم برنامج التغليف تحديد العناصر الآتية:

- تحديد عدد مراحل التغليف اللازمة لإنجاز البئر، وعمق إنزال كل مرحلة. ويتم ذلك اعتماداً على العمود الجيولوجي المتوقع مصادفته أثناء الحفر. ويجب أن تؤخذ بالاعتبار مجموعة العوامل التي ذكرت سابقاً (الفنية والتقنية والاقتصادية).
- تحديد نوع رؤوس الحفر (أو رؤوس التلبيب) وفقاً لنوعية الصخور.
- تحديد أقطار مواسير التغليف وكذلك أقطار رؤوس الحفر لكل مرحلة من مراحل التغليف في حساب برنامج التغليف نبدأ من قطر مواسير التغليف للمرحلة الإنتاجية، والذي يعطى عادةً أو يتم اختياره، لأن هذا القطر يشكّل الهدف الذي يجب الوصول إليه، أي أن تصميم برنامج التغليف يتم بعكس التنفيذ، أي يتم الانطلاق من حساب مواسير التغليف الإنتاجية، والانتهاء بمواسير التغليف للمرحلة السطحية، بينما يبدأ التنفيذ بالمرحلة السطحية وينتهي بالإنتاجية.

بعد اختيارقطر مواسير التغليف للمرحلة الانتاجية يحسب قطرمجموعة رؤوس الحفرلهذه المرحلة وذلك بالعلاقة الآتية:

$$D_B = D_{ecsg}' \times f \qquad (1\text{-}1)$$

D_B: قطر رأس الحفر الحسابي في المرحلة الإنتاجية للبئر.

f : عامل يأخذ قيم تتراوح بين (1.4 – 1.1) تبعاً لدرجة ثبوت الصخور المتوقع اختراقها و درجة تأثرها بسائل الحفر المستخدم ، طول المجال المفتوح من البئر (غير المغلق) قطر مواسير التغليف وأخيراً مجموعة من العوامل تتعلق بخواص سائل الحفر .

تستخدم القيم القريبة من النهاية الصغرى عندما تكون شروط الحفر عادية والطبقات الجيولوجية المفتوحة لا تتسبب أية مشاكل هامة أما عند الحفر ضمن شروط جيولوجية معقدة مع احتمال كبير لحدوث مشاكل خطره يجب استخدام القيم الأكبر لنسبة الفراغ الحلقي الشعاعي .

إن القيم المثالية لنسبة الفراغ الحلقي الشعاعي(f) هي القيمة الصغرى التي تمكن من تغليف البئر دون صعوبات تذكر، مع تأمين عزل محكم وتام للطبقات المفتوحة أثناء تثبيت مواسير التغليف بالأسمنت .

تتأثر نسبة الفراغ الحلقي الشعاعي بسلسلة من العوامل مثل : طول المجال المفتوح من البئر , قطر ونوع مواسير التغليف , خصوصية البئر في المجال الذي سيغلق (درجة الشاقولية ,الوضع العام للبئر – نوعية الصخور – سائل الحفر المستخدم وخواصه .. الخ) تستخدم القيم الكبيرة لنسبة الفراغ الحلقي الشعاعي عند تغليف مجالات طويلة و تضم طبقات تتسبب في بعض المشاكل (تهدم – تضيق – استعصاء ..... الخ) .

بعد تعيين قيمة المعامل (f) اعتماداً على نسبة الفراغ الحلقي المختارة يحسب قطر رأس الحفر للمرحلة الإنتاجية . ثم يختار القطر الحقيقي / الصناعي / الأقرب من جداول رؤوس الحفر . يتم تصميم مواسير التغليف للمرحلة الوسطية بحساب القطر الداخلي الأصغري الذي يمكن من إمرار رؤوس الحفر للمرحلة الإنتاجية و ذلك بالعلاقة الآتية :

$$D_{min} = D_B + 2\,a \qquad (2\text{-}1)$$

حيث :

D_B : قطر رأس الحفر الحقيقي للمرحلة الإنتاجية (m . m) .

a : معامل الفراغ الحلقي الشعاعي بين رأس الحفر و القطر الداخلي لمواسيرالتغليف .

تعتمد قيمة هذا المعامل على نوع رأس الحفر المعتمد و قطر مواسير التغليف و شكل و اتجاه البئر (عمودي أو مائل) عند استعمال رؤوس حفر بتروس مخروطية أو الماسية تختار قيمة المعامل (a) ضمن المجال mm (4 --- 2) .

يبحث في جدول مواسير التغليف عن الأنابيب التي لها قطر داخلي أصغري الأكبر مباشرة أو على الأقل المساوي للقطر الداخلي الحسابي (D_{min})

يؤخذ القطر الخارجي عند الرأس لهذه المواسير (أيضا من جداول المواسير) ثم يحسب قطر رأس الحفر للمرحلة الوسطية . تكرر هذه العمليات الحسابية حتى الوصول إلى تحديد قطر مواسير التغليف للمرحلة السطحية و رؤوس الحفر لهذه المرحلة .

1-5- تصميم مواسير التغليف :

المقصود بتصميم مواسير التغليف تحديد سماكة الجدار و نوعية المعدن و نوع نقاط الوصل . عادة يتم تصميم مواسير التغليف على أساس جهد الشد و الضغط الخارجي المؤثرين بشكل منفصل في الآبار الضحلة ويشكل موحد في الآبار العميقة .

- **تصميم مواسير التغليف اعتماداً على جهد الشد فقط :**

يتم تصميم مواسير التغليف (السطحية , الوسطية) وفق هذه الطريقة عند التأكد من عدم تعرض مواسير التغليف للضغط الخارجي (عدم حدوث تهريب لسائل الحفر في الطبقة , الوزن النوعي لسائل الحفر الذي يستخدم خلال متابعة الحفر من خلالها أكبر أو على الأقل مساوياً للوزن النوعي لسائل الحفر الذي استخدم قبل إنزالها) في أي مرحلة من مراحل العمل داخل البئر.

- **تصميم مواسير التغليف اعتماداً على الإجهادات المركبة (بتطبيق النظرية الرابعة من مقاومة المواد)[1] :**

إن تصميم مواسير التغليف الثقيلة (التي تستخدم لتغليف الآبار العميقة) يتطلّب فرض تعرضها لجهدي الشد والضغط الخارجي في آنٍ واحد (أي لا يمكن تصميمها اعتماداً على أحد الجهدين) ، ثم التحقق من قدرتها على تحمل الإجهادات الأخرى. ومن المواسير التي تصمم بهذه الطريقة، تلك التي تقع ضمن المجال اللدن أو الانتقالي (وفقاً للضغط الخارجي). تعتمد هذه الطريقة في التصميم على تطبيق نظرية العمل الميكانيكي الأعظمي للتغيير (المعروفة بالنظرية الرابعة في مقاومة المواد)، وهي تبدأ من معادلة الجهد المكافئ الناتج عن الإجهادات العمودية على المحاور الثلاثة الرئيسية، والموضحة في الشكل (1-2)، وهي الآتية

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_{x.y} + \sigma_{y.z} + \sigma_{z.x})} \quad (3-1)$$

حيث إن :

-

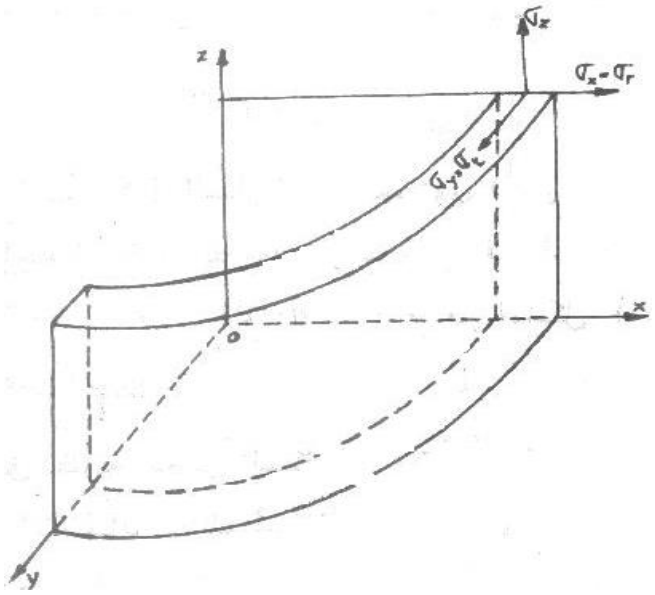
σ_x – الجهد الحدي النظامي باتجاه نصف القطر، والناتج عن الضغط الخارجي، ويسمى أيضاً بالجهد الخارجي الشعاعي (σ_r).

σ_y – الجهد الحدي النظامي باتجاه المماس للمواسير، والناتج عن الضغط الخارجي، ويسمى أيضاً بالجهد الخارجي المماسي (σ_t) .

σ_z – الجهد الحدي النظامي باتجاه المحور، وينتج عن جهد الشد.

إذا أهملنا الجهد الخارجي الشعاعي (σ_r) ذا التأثير القليل على مقاومة المواسير قياساً لتأثير الجهد الخارجي المماسي (σ_t)، وحددنا قيمة الجهد المكافئ بالنهاية الحدية لانسياب المعدن $\sigma_{eq} = \sigma_c$ عند ذلك فإن العلاقة (1–3) تأخذ الشكل الآتي:

$$\sigma_C^2 = \sigma_t^2 + \sigma_Z^2 - \sigma_t.\sigma_Z \qquad (4–1)$$



الشكل ()

نقسم طرفي هذه العلاقة على مربع النهاية الحدية للانسياب σ_c فنحصل على :

$$(\frac{\sigma_t}{\sigma_C})^2 - \frac{\sigma_t}{\sigma_C}.\frac{\sigma_Z}{\sigma_C} + (\frac{\sigma_Z}{\sigma_C})^2 = 1 \qquad (5–1)$$

إذا أدخلنا الرموز الآتية :

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_C} = y \quad \text{و} \quad \frac{\sigma_Z}{\sigma_C} = Z$$

فإن العلاقة السابقة تصبح على الشكل الآتي :

$$y^2 - y.Z + Z^2 = 1 \qquad (6\text{-}1)$$

تمثل العلاقة في المستوي (Y O Z) قطعاً ناقصاً بمحاور مائلة بزاوية ($\alpha = 45^0$) ، والذي يعرف باسم القطع الناقص المرن ، حيث أن :

$$a = \sqrt{2} \qquad , \qquad b = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

وعلى الشكل نمثل هذا القطع الناقص المرن .

إن تطبيق نظرية العمل الميكانيكي الأعظمي للتغيير في تصميم مواسير التغليف، وبفرض الإجهادات المركبة المكونة من جهد الشد والضغط الخارجي، تبين أن الضغط الخارجي الحدي الذي يمكن أن تتحمله المواسير محدد بقيم جهد الشد المؤثّر عليها (إضافةً إلى نوعية المعدن الذي صنعت منه وسماكة الجدار).

من الشكل نلاحظ أن الإجهادات المركبة التي يجب أن تعتمد في تصميم مواسير التغليف تقع ضمن الربع الرابع (حيث تشير القيم الموجبة إلى الشد، والسالبة للانضغاط).

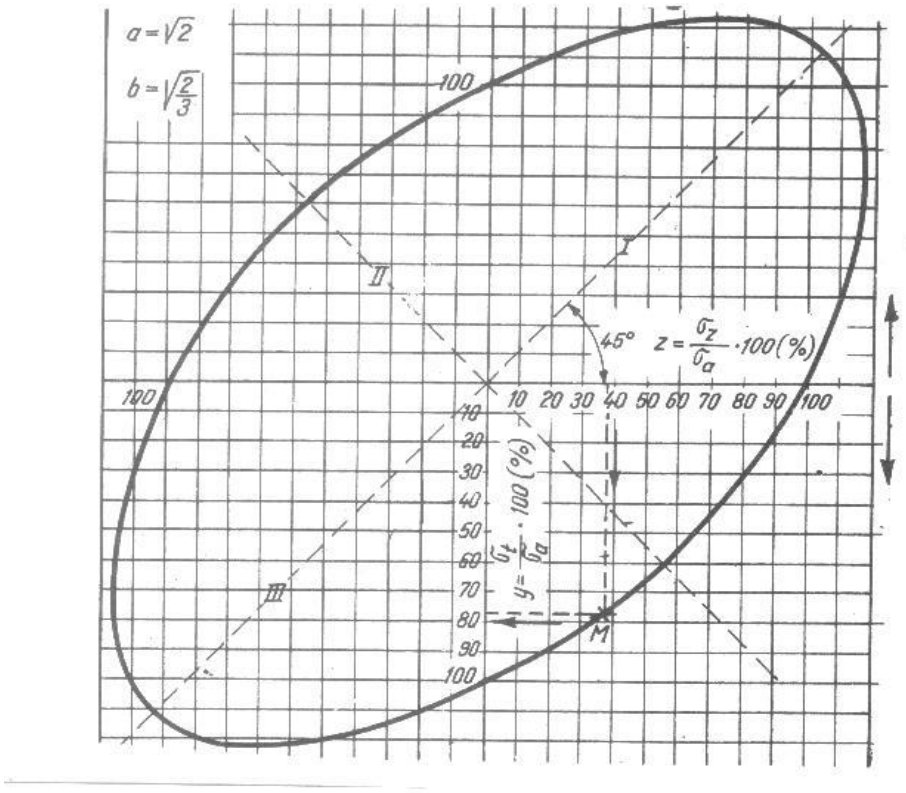
وإذا أخذنا في الاعتبار قيم (y و Z) في الربع الرابع من القطع الناقص المرن، وأن Z موجبة و y سالبة فإن العلاقة تأخذ الشكل الآتي:

$$y^2 + y.Z + Z^2 = 1 \qquad (7\text{-}1)$$

نبدأ بتصميم المواسير بهذه الطريقة – كما في الطريقة السابقة – من الأسفل باتجاه الأعلى، إذ تختار مواسير القسم الأول بفرض تعرضها للضغط الخارجي فقط وتحقق الشرط الآتي:

($H_{ad1} \geq H$).

إن تحديد طول مواسير القسم الأول يعتمد على نوعية مواسير القسم الذي يليه من الأعلى، ويتم بعدة طرق، نذكر منها:



الشكل (1–2) : القطع الناقص المرن .

I – يقابل جهد شد وضغط داخلي.

II – يقابل انضغاط محوري وضغط داخلي.

III – يقابل انضغاط محوري وضغط خارجي.

IV – يقابل جهد شد وضغط خارجي.

•التصميم بفرض الإجهادات المركبة، وباستخدام الطريقة البيانية(أو التجريبية):

إذا فرضنا أن الجهد الحدي المماسي (σ_t) الذي يظهر تأثيره على جسم مواسير التغليف المعرّضة للضغط الخارجي يتناسب مع الضغط الخارجي الفعلي المؤثر عليها (P_{ef})، عندئذٍ يمكن الحصول على العلاقة الآتية (مع وجود عامل الاحتياط للضغط الخارجي):

$$y = \frac{\sigma_t}{\sigma_C} = \frac{P_{ef}}{P_{ad}} = \frac{H_{ef}}{H_{ad}} \qquad (8\text{–}1)$$

•

كذلك إذا أخذنا نقطة ما من مواسير التغليف معرضة لجهد شد ناتج عن ثقل المواسير الواقعة أسفلها (F_P)، وأن مساحة المقطع العرضي للمواسير في النقطة المفترضة يساوي (A)، عندئذٍ يمكن استبدال النسبة Z على النحو الآتي:

$$Z = \frac{\sigma_Z}{\sigma_C} = \frac{F_P}{A.\sigma_C} \qquad (9\text{-}1)$$

بيّنا سابقاً أن طول كل قسم من مواسير التغليف يعتمد على مقاومة المواسير التي تليها مباشرةً إذن، من أجل القسم الأول يمكن أن نكتب النسبتين الآتيتين:

$$y_1 = \frac{H_{ef2}}{H_{ad2}} = \frac{H - l_1}{H_{ad2}} \qquad (10\text{-}1)$$

$$Z_1 = \frac{F_A}{A_2.\sigma_C} = \frac{l_1.g_1}{A_2.\sigma_C} \qquad (11\text{-}1)$$

حيث إن: H – عمق البئر (m).

H_{ad2} – العمق الذي يمكن أن تنزل إليه مواسير القسم الثاني.

أما من أجل القسم الثاني، فإن النسب هي الآتية:

$$y_2 = \frac{H_{ef3}}{H_{ad3}} = \frac{H - l_1 - l_2}{H_{ad3}} \qquad (12\text{-}1)$$

$$Z_2 = \frac{F_A}{A_3.\sigma_C} = \frac{l_1.g_1 + l_2.g_2}{A_3.\sigma_C} \qquad (13\text{-}1)$$

وهكذا حتى الوصول إلى النسب العامة الآتية:

$$y_n = \frac{H - \sum_{i=1}^{n} l_i - l_n}{H_{ad(n+1)}} \qquad (14\text{-}1)$$

$$Z_n = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_i.g_i + l_n.g_n}{A_{n+1} + \sigma_C} \qquad (15\text{-}1)$$

يتم تحديد طول كل قسم باختيار طول ما، ثم تحسب إحداثيات النقطة المقابلة لهذا الطول بواسطة النسب. بعد ذلك يجري التحقق من صحة الاختيار باستخدام معادلة القطع الناقص المرن على

النحو الآتي (يمكن التحقق من صحة الاختيار بواسطة القطع الناقص نفسه بتمثيل النقطة y و Z شريطة أن يرسم بدقة كافية):

- نعوّض قيم y و Z في معادلة القطع الناقص، ويتم التحقق من النتيجة، أو نمثل النقطة بيانياً، والتحقق من وقوعها على منحني القطع الناقص المرن.
- إذا وقعت النقطة y و Z على المنحني أو أعطى التعويض في المعادلة قيمة تساوي الواحد، فهذا يدل على صحة اختيار طول القسم.
- إذا وقعت النقطة خارج القطع الناقص المرن، أو في حال أعطى التعويض في معادلته قيمة تتجاوز الواحد فإن طول القسم المختار يكون صغيراً، أي أن مواسير القسم الذي يليه سوف تستخدم في أعماق تتجاوز H_{ad2} ، وفي هذه الحالة نختار طولاً جديداً أكبر، وتحسب مجدداً قيم y و Z ويجري التحقق مجدداً من صحته.
- أما في حال وقوع النقطة داخل القطع الناقص، والتي يقابلها قيمة أقل من الواحد عند استخدام المعادلة الرياضية، فإنه يدل على اختيار للطول أكبر من اللازم، أي سوف تستخدم مواسير أقل جودةً، إذن، تزداد كلفة التغليف دون مبرر. لذلك يختار طول جديد أقل، ويعاد حساب y و Z تتبع بالتحقق مجدداً من صحة الاختيار.

يتطلب تعيين طول كل قسم عدة محاولات، والتي تقل مع زيادة الخبرة.

بعد تحديد طول القسم الأول يتم تعيين طول القسم الثاني (من المواسير الأقل جودةً، أي من النوع الذي يليه مباشرةً)، ثم القسم الثالث، وهكذا.

يتم الاستمرار في تطبيق هذه الطريقة حتى الوصول إلى السماكة ما قبل الأخيرة لمواسير التغليف (توجد بعض الحالات عندما لا نتمكن من تطبيق هذه الطريقة إلى هذه السماكة، وخاصةً إذا كان طول المواسير كبيراً، أو في حال استخدام سائل حفر بوزن نوعي مرتفع). من هذه السماكة وحتى السطح تصمم المواسير اعتماداً على جهد الشد فقط.

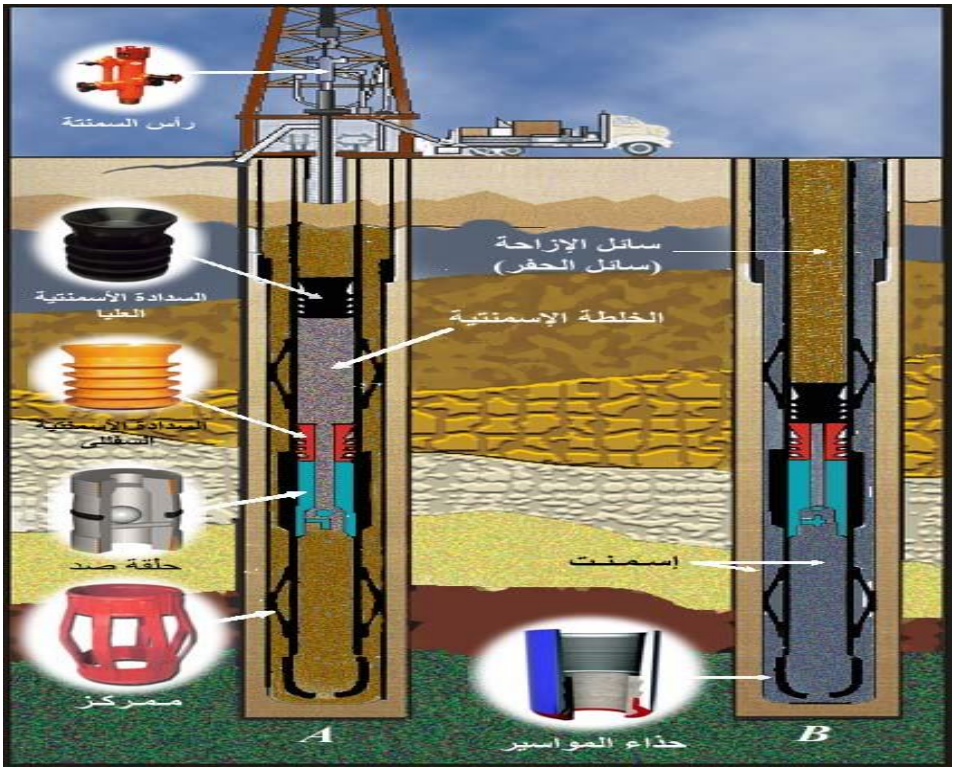
الفصل الثاني

سمنتة الابار

well cementing

2-1- مقدمة :

تعرف عملية السمنتة (الشكل 2-1) بأنها ضخ السائل الإسمنتي (مسحوق الإسمنت ,الماء الإضافات) داخل مواسير التغليف حيث يدفع بواسطة سائل الإزاحة (Displacement fluid) ليصل إلى الفراغ الحلقي بين القطر الخارجي لمواسير التغليف وجدار البئر والذي يتصلب بعد فترة قصيرة من الزمن ليشكل كتلة صلبة أو حجرا إسمنتيا (set cement) خلف هذه المواسير مهمتها تدعيم جدران البئر وعزل الطبقات عن بعضها.



الشكل (2-1):عملية السمنتة

2-2-أهداف السمنتة (purposes for cementing)[3,4] :

تجرى عملية السمنتة (*c*ementing job*s*) في أبار النفط والغاز لعدة أسباب هي :

1-تدعيم مواسير التغليف (*casing support*) من خلال تشكيل حجر من الإسمنت المقاوم الذي يربط بين السطح الخارجي لمواسير التغليف وجدار البئر.

2-حماية مواسير التغليف وجدار البئر، من خلال مقاومة التشوهات اللدنة التي تبديها الصخور اللدنة (الغضارية , الملحية) المحيطة وبذلك تمنع جدران البئرمن الانهيار.

3-عزل الطبقات (*zonal isolation*) الجيولوجية عن بعضها البغض وهي الوظيفة الأساسية لعملية السمنتة , لمنع انتقال الموائع الطبقية من الطبقات ذات الضغط المرتفع إلى الطبقات ذات الضغط المنخفض وكذلك منع الغاز أو الموائع الطبقية ذات الضغط العالي من الانتقال خلال الفراغ الحلقي إلى السطح، والتي يمكن أن تسبب مشاكل وصعوبات نتيجة عبور هذه الموائع.

4-حماية مواسير التغليف من التعرض للتأثير التآكلي (corrosion protectio*n*) من خلال منع الموائع الطبقية ذات التركيز المختلف بالأملاح أو الغازات الحمضية من التلامس مع مواسيرالتغليف.

5- تزودنا بقاعدة متينة ومحكمة لتجهيزات التحكم والسيطرة والأمان، التي توضع على رأس**البئر**

2-3- طرق السمنتة (Method of cementing)[3] :

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

2-لسمنتة الثانوية (*secondary cementing*) أو الإصلاحية (*Remedial* (*Cementation* :

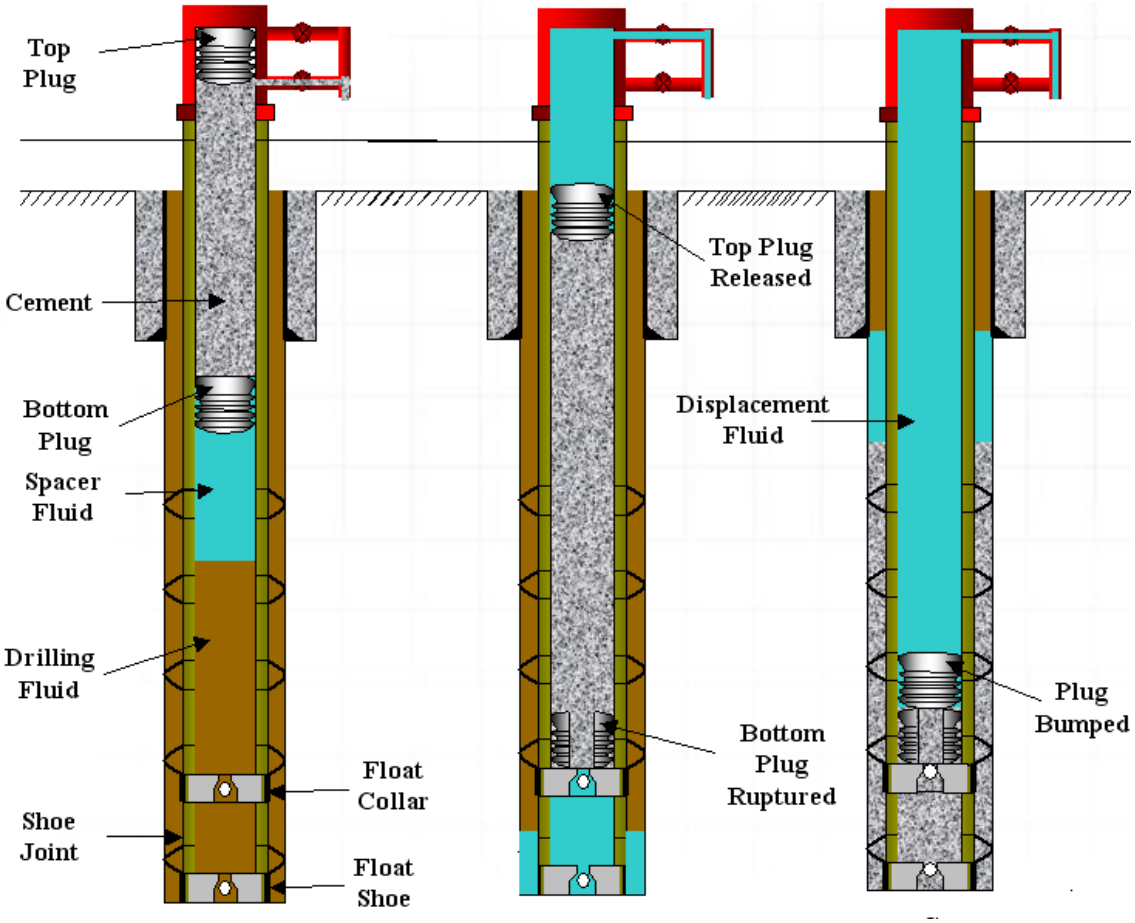
تستخدم السمنتة الثانوية لإغلاق الطبقات غير المنتجة، أو الطبقات المستنزفة، وكذلك لمعالجة مناطق تسرب سوائل الحفر، ولإصلاح التسرب في مواسير التغليف، وأحيانا لإصلاح عمليات السمنتة الأولية.

3- السمنة الخاصة :إن الهدف الرئيسي لعملية السمنتة الخاصة هو بشكل عام عزل طبقات معينة مفتوحة على البئر قد تقع على القعر أ,بعيدة عنه, وكذلك عزل جزء من البئر ويحقن الإسمنت إما تحت الضغط (*Squeeze job*)، أو بعدم باستخدام ضغط ضخ كبير كما في إنشاء الجسور و السدادات الإسمنتية (*Plug – Back cementation*) داخل الآبار.

السمنتة الأولية (Primary cementing:: وتشمل :

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

تستعمل عادة هذه الطريقة لسمنتة مواسير التغليف الموجهة ومواسير التغليف السطحية ، حيث يتم تحضير الخلطة الإسمنتية وضخها داخل مواسير التغليف. يبين الشكل (2-2) عملية السمنتة بمرحلة واحدة . بعد إنزال مواسير التغليف داخل البئر يتم إجراء دوران لسائل الحفر الموجود داخل البئر بهدف تجانسه، ومن ثم ينزل الفاصل الإسمنتي الأول (السفلي) ويضخ سائل الفصل (spacer) والسائل الإسمنتي على التوالي. وباستمرار الضخ يدفع السائل الإسمنتي الفاصل الإسمنتي داخل مواسير التغليف حتى يصل إلى مقعده على حلقة الصد. ومع استمرار الضخ أيضا"يتمزق الغشاء المركزي في الفاصل الإسمنتي، وبذلك يسمح للسائل الإسمنتي بالمرور من خلاله باتجاه الفراغ الحلقي. وعند الانتهاء من ضخ الحجم الكلي للسائل الإسمنتي، ينزّل الفاصل الإسمنتي الثاني (العلوي)، وذلك من خلال حل مسمار حفظ الفاصل في رأس السمنتة)، ويباشر بضخ سائل الحفر(سائل الإزاحة)، الذي يدفع الفاصل العلوي باتجاه الأسفل، سامحا"للسائل الإسمنتي بالتوضع خلف مواسير التغليف في الفراغ الحلقي. تعتبر عملية السمنتة منتهية عندما يستقر الفاصل الإسمنتي العلوي فوق الفاصل الإسمنتي السفلي . يغلق البئر ويترك السائل الإسمنتي ليتصلب في الفراغ الحلقي.



الشكل (2-2): عملية السمنتة بمرحلة واحدة

◆السمنتة متعددة المراحل (Multi-stage cementing)

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

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

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

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

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

5–عند حدوث تسرب للسائل الإسمنتي في الطبقات أثناء عملية السمنتة العادية , ولم يرتفع السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي إلى المكان المحدد له.

6–عند سمنتة الطول الكامل لمواسير التغليف.

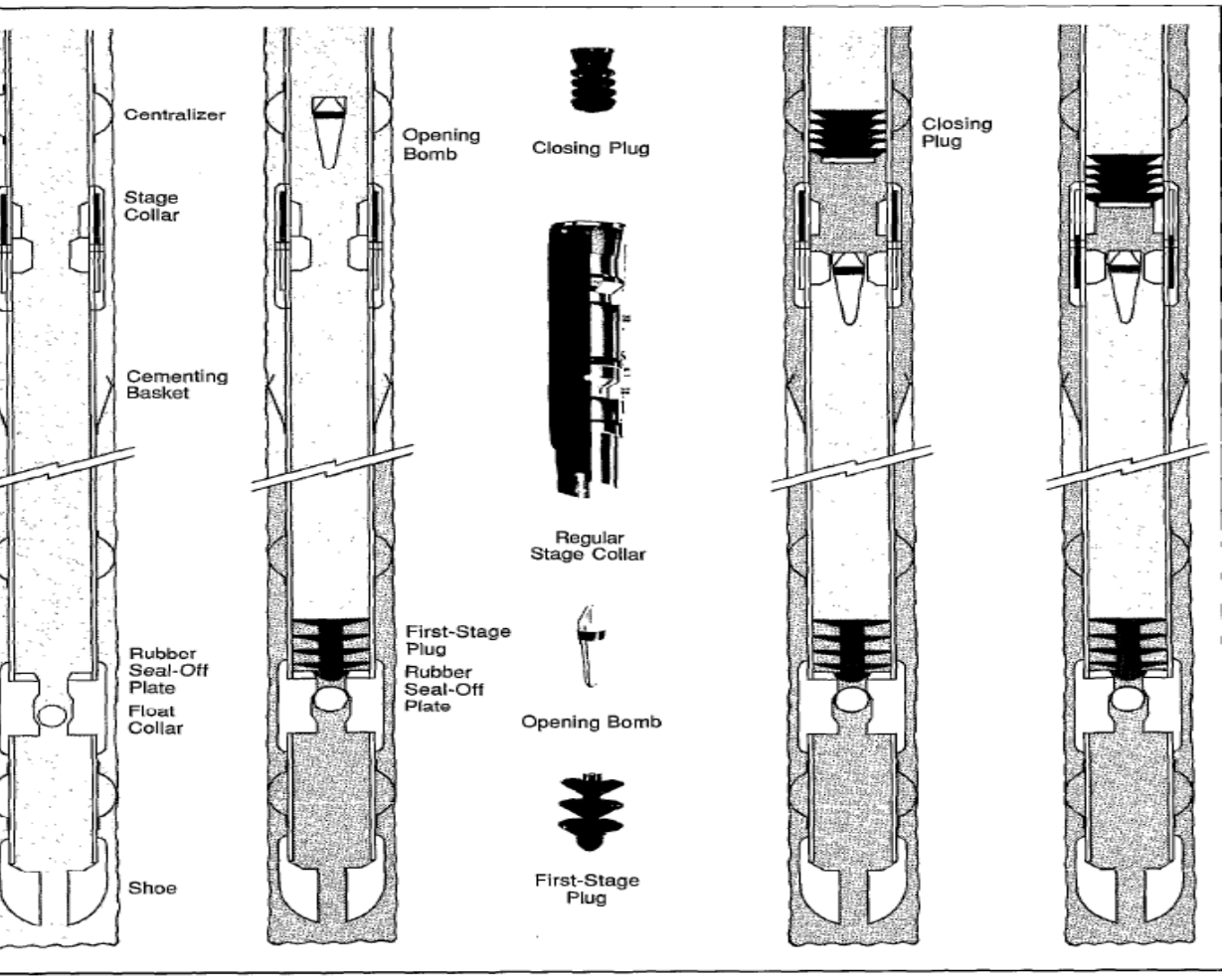
تتم عملية السمنتة على مرحلتين من خلال استخدام وصلة مثقبة تدعى الوصلة الإسمنتية (Stage cementing collars)، التي يتم اختيار عمق تثبيتها اعتماداً على ارتفاع عمود السائل الإسمنتي، وعلى مقاومة الطبقات. يتم تثبيت وصلة السمنتة بمرحلتين على ارتفاع يتراوح بين (50-150 m) فوق الطبقة الضعيفة. بعد إنزال مواسير التغليف إلى قاع البئر يتم إجراء دوران لسائل الحفر بحجم مساوٍ لضعف حجم البئر، وذلك بهدف التأكد من عمل معدات الطفو (حذاء مواسير التغليف, حلقة الصد) بصورة ملائمة وكذلك لتحديد ضغط الدوران.

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

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

بعد الانتهاء من ضخ السائل الإسمنتي للمرحلة الثانية يدفع بفاصل الإغلاق(closing plug), ويتبع بضخ سائل الإزاحة، وتستمر عملية الضخ هذه حتى وصول فاصل الإغلاق إلى الوصلة

الإسمنتية (يطبق عليه ضغط قدره 1500 psi إضافة إلى الضغط اللازم لتدوير سائل الحفر)، حيث يدفع أمامه المسند العلوي upper sleeve للوصلة الإسمنتية ويغلق ثقوبها، ويمنع الاتصال بين داخل مواسير التغليف والفراغ الحلقي، وبذلك تنتهي عملية السمنتة، والتي تلاحظ بالارتفاع الحاد للضغط عند متابعة الضخ. يبين الشكل (2-3) مخطط عملية السمنتة على مرحلتين.



الشكل (2-3): عملية السمنتة على مرحلتين.

في حال تنفيذ عملية السمنتة على ثلاث مراحل تستعمل وصلتان إسمنتيتان (Tow stage cementing) حيث يتم تنفيذ المرحلة الأولى من خلال حذاء مواسير التغليف(casing shoe)،

أما المرحلة الثانية فتتم من خلال الوصلة الإسمنتية الأولى، بينما المرحلة الثالثة فتنجز من خلال الوصلة الإسمنتية الثانية.

2-4-تصميم العمليات الإسمنتيةCementing design

❖ حسابات عمليات السمنتة بمرحلة واحدة [1]:

1 - حساب حجم السائل الإسمنتي (V_{fc}) :

$$V_{fc} = \left[(k_1 {D_B}^2 - {d_e}^2).H_C + {d_i}^2.h\right] \qquad (1-2)$$

حيث **أن** :

V_{fc}– حجم السائل الإسمنتي ، m^3

D_B – قطر البئر ، المفترض أنه يساوي قطر رأس الحفر ، m

d_e, d_i – القطر الخارجي ، ثم الداخلي لمواسير التغليف ، m

h – ارتفاع حلقة الصد من حذاء مواسير التغليف ، m

K_1 - عامل احتياط ، يأخذ بالاعتبار تزايد قطر البئر بسبب الانزلاقات والتهدمات عن جدرانه . وفي حال عدم إجراء قياس لقطر البئر قبل التغليف يمكن أخذ القيم الآتية لهذا المعامل ($K_1 = 1.1 - 1.2$) .

2 - حساب كمية مسحوق الاسمنت :

$$G_C = K_2.g_C.V_{fC} \qquad (2-2)$$

حيث **أن** :

g_C– كمية مسحوق الإسمنت اللازمة لتحضير 1 m^3 من السائل الإسمنتي ، وهي تعين:

$$g_C = \frac{\gamma_C.\gamma_W}{m.\gamma_C + \gamma_W} \qquad (3-2)$$

K_2- عامل احتياط لتغطية الهدر في مسحوق الاسمنت على البئر, أو أثناء تعبئة جهازالنقل والخلط من محطة تخزين الإسمنت, يأخذ هذا العامل قيم محصورة في المجال(1.1 -$K_2$1.05)

γ_C– الوزن النوعي لمسحوق الإسمنت المستخدم .

γ_W– الوزن النوعي للماء.

γ_{fC}– الوزن النوعي للسائل الإسمنتي .

m– نسبة وزن الماء إلى وزن مسحوق الإسمنت المعتمدة تعيّن بالعلاقة الآتية :

=

$$m=\frac{\gamma_W(\gamma_C-\gamma_{fC})}{\gamma_C(\gamma_{fC}-\gamma_W)} \qquad (4-2)$$

3 – حساب حجم الماء :

– يعيّن حجم الماء بالعلاقة الآتية :

$$V_w=\frac{K_{3.}\ m\ .\ g_{C.}V_{fC}}{\gamma_W} \qquad (5-2)$$

K_3 – عامل احتياط لتغطية الهدر في الماء أثناء تحضير الخلطة الإسمنتية k_3=(1.5−1.1)

4 – حساب حجم سائل إزاحة :

إن حجم سائل الإزاحة الذي يضخ بعد إنزال الفاصل الإسمنتي الثاني خلف السائل الاسمنتي عند استخدام طريقة السمنتة بفاصلين و لمرحلة واحدة – يساوي إلى الحجم الداخلي لمواسير التغليف من حلقة الصد حتى السطح . وهو يعين باستخدام العلاقة الآتية :

$$V_{fd}=\frac{\pi}{4}.{d_i}^2\ (H-h) \qquad (6-2)$$

عند استخدام مواسير تغليف بسماكات جدار مختلفة يؤخذ قطر داخلي وسطي, أو تحسب سعة المتر الطولي لكل قسم منها, ثم الحجم الداخلي له (جداء سعة المتر الطولي × طول القسم) تجمع حجوم الأقسام إلى بعضها فنحصل على الحجم الكلي لسائل الإزاحة.

حساب ضغط الضخ الأعظمي :

تعتمد قيمة الضغط الذي تتعرض له اجهزة الضخ على وضع السوائل في البئر(المكان الذي يتواجد عنده كل من سائل الحفر و السائل الإسمنتي وسائل الإزاحة) وكذلك على نوع جريانها (كتلي– خطي – مضطرب) ويحسب بالعلاقة التالية :

$$P_{pmax} = P_{\gamma max} + P_C + P_{fr} \qquad (7-2)$$

$P_{\gamma max}$: الضغط الناتج عن الفرق في الأوزان النوعية بين السوائل الموجودة داخل وخارج مواسير التغليف .ويحسب بالعلاقة التالية :(عند استخدام سائل الحفر نفسه كسائل إزاحة وهذا ما يعتمد عملياً في معظم عمليات السمنتة) .

$$P_{\gamma max} \qquad (8\text{-}2) \qquad =0.1[(H_C - h)(\gamma_{fC} - \gamma_f)\,]$$

P_C : الضغط الضائع أثناء جريان السوائل داخل وخارج مواسير التغليف بفعل احتكاكها الداخلي ومع السطوح التي تحتك معها (السطوح الداخلية والخارجية لمواسير التغليف ، جدران البئر) ويمكن اعتماد العلاقة الآتية ، التي تم التوصل إليها اعتماداً على المعطيات الحقلية والخبرة :

$$P_C = 0.02\ H + (\ 8 \text{ or } 16\ )\ ,\ Kgf/cm^2 \qquad (9\text{-}2)$$

حيث أن :H : عمق البئر

إذا كان $H \le 2000$ m تؤخذ زيادة على قيمة الضغط المحدد بالعلاقة السابقة مقدارها ($8\ kgf/cm^2$) ، أما إذا كان ($H > 2000$ m) فتؤخذ الزيادة بمقدار($16\ kgf/cm^2$).

P_{fr} :الضغط الإضافي اللازم لمقاومة احتكاك السوائل في حذاء مواسير التغليف , والتجويف المركزي للفاصل الإسمنتي ,الأول وفي رأس السمنتة و أنابيب وصله مع وحدات الضخ ,

وأخيراً لدفع الفواصل الإسمنتية للحركة داخل مواسير التغليف . وتقدر قيمة هذا الضغط تبعاً لنوعية العناصر المذكورة سابقاُ وهي بحدود (5 Kgf/cm^2) .

6 – حساب عدد أجهزة الضخ :

يتم حساب عدد وحدات الضخ اللازمة أثناء عملية السمنتة اعتمادا" على الزمن الذي تستغرقه عملية السمنتةبحيث يكون زمن عملية السمنتة (زمن ضخ السائل الإسمنتي + زمن ضخ سائل الإزاحة) أقل ، أوعلى الأكثرمساوياً لزمن تكاثف السائل الإسمنتي (زمن بدء الشك) عدد وحدات الضخ يحدد باستخدام العلاقة الآتية:

$$n= \frac{t_C}{t_{ad}} + 1 \qquad (10\text{-}2)$$

حيث أن :

t_C– الزمن الذي تستغرقه عملية السمنتة بفاصلين عند استخدام جهاز ضخ وحيد، وهو يعيّن بدوره بالعلاقة الآتية :

$$t_C = t_{fC} + t_{fd} + t_d \quad ; \ \min \qquad (11-2)$$

t_{ad} - الزمن الذي يمكن خلاله متابعة دفع السائل الإسمنتي للحركة في الفراغ الحلقي. تؤخذ قيمة هذا الزمن مساويةً لثلاثة أرباع زمن التصلب($t_{ad} = 0.75\ t_p$)

t_p– زمن بدء التصلب للسائل الإسمنتي (زمن بدء الشك) ، ويحدد مخبرياً وفق الشروط الموجودة في البئر (min) .

t_{fC}– الزمن الذي يستغرقه ضخ السائل الإسمنتي داخل مواسير التغليف (min).

t_{fd}– الزمن الذي يستغرقه ضخ سائل الإزاحة داخل مواسير التغليف (min).

t_d– الزمن اللازم لإنزال الفاصل الإسمنتي الثاني ، وهو يعتمد على نوع رأس السمنتة المستخدم وتتراوح قيمة هذا الزمن بين ($t_d = 10 - 15$ min)

❖ **حسابات عمليات السمنتة بمرحلتين** [1]: إن العنصر الأساسي الذي يميز عملية السمنتة بمرحلتين (مقارنة مع حسابات عملية السمنتة بمرحلة واحدة) هو تعيين الارتفاع الذي تثبت عندة الوصلة الاسمنتية .أما بقية عناصر عملية السمنتة فتحسب بشكل مشابه تماما للسمنتة وحيدة المرحلة .

اذا كانت عملية السمنتة مقررة لرفع السائل الاسمنتي حتى السطح تعين قيمة ($\alpha = A_a/Ai$)

1–اذا كانت قيمة ($\alpha \geq 1$): فإن ارتفاع الوصلة الإسمنتية يحسب بالعلاقة التالية[1]:

$$h_m=(H+H_C)/3 \qquad (12\text{-}3)$$

A_a:مقطع الفراغ الحلقي خلف مواسير التغليف .

A_i:المقطع الداخلي لمواسير التغليف فوق الوصلة الاسمنتية

حيث يحسب الضغط الذي يتعرض له جهاز الضخ في نهاية كل مرحلة –عند السمنتة بمرحلتين مستمرتين بدون فاصل غير مسمنت فيما بينهما على النحو الآتي :

$$P_1=0.2[\ h_m\ (\gamma_{fc}-\gamma_f\ )-(\ H-h_m)(\ \gamma_{fc}-\gamma_f)]+P_{c1} \qquad (13\text{-}2)$$

$$P_2=0.2(H_c-h_m)(\ \gamma_{fc}-\gamma_f)+P_{c2} \qquad (14\text{-}2)$$

–اذا كانت قيمة ($\alpha < 1$): فإن ارتفاع الوصلة الإسمنتية يحسب بالعلاقة التالية:

$$h_m=[(1+\alpha)/(2+\alpha)]\ .H_c \qquad (15\text{-}2)$$

تحسب قيم الضغط الذي تتعرض له وحدات الضخ في نهاية كل من المرحلتين على النحو التالي:

$$P_1=0.2[\ h_m\ (\gamma_{fc}\ -\gamma_f\ )\ -h_2\ (\ \gamma_{fc}\ -\gamma_f)]+P_{c1} \qquad (16\text{-}2)$$

$$P_2=0.2(H_c-h_m)(\ \gamma_{fc}\ -\gamma_f)+P_{c2} \qquad (17\text{-}2)$$

حيث أن: p_1 , p_2 ضغط الضخ الذي يتعرض له جهاز الضخ في نهاية المرحلة الأولى ثم الثانية .

H– العمق الذي تنزل إليه مواسير التغليف في البئر.

H_C– ارتفاع السائل الاسمنتي في الفراغ الحلقي .

h_m– ارتفاع الوصلة الإسمنتية عن حلقة الصد أو عن حذاء أنابيب التغليف

h_2– الارتفاع الذي يشغله السائل الإسمنتي للمرحلة الثانية داخل مواسير التغليف, وهو يحدد اعتمادا" على معرفة حجمه على النحو التالي:

$$h_2=(H_c-h_m)\ A_a/A_i \qquad (18\text{-}2)$$

الفصل الثالث

تشكيلة الحفر(مجموعة مواسير الحفر)

Drill String or Drill Stem

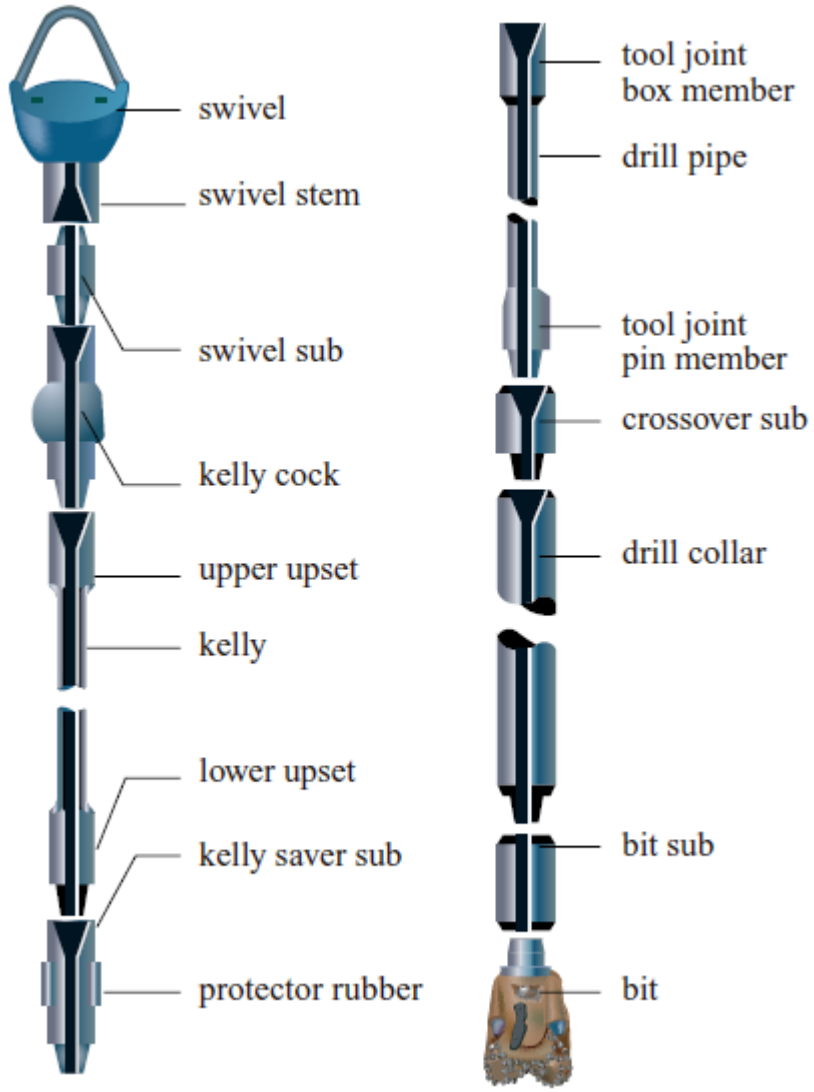
3-1- مقدمة:

تشـكيلة الحفر هي مجموعة من الأنابيب (Tubulars) والملحقات (Accessories) التي تصـل بين رأس الحفر الموجود على قاع البئر والأجهزة السـطحية وتتألف من الأجزاء الرئيسـية الآتية: الشكل (3-1, a) :

- قلم الحفر (الماسورة المضلعة) (Kelly)
- مواسير الحفر (Drill pipes ,DP)
- أعمدة الحفر (Drill Collars , DC)

وبالإضافة إلى ذلك فإن تشكيلة الحفر تتضمن متممات أو ملحقات[4] وهي التالية :

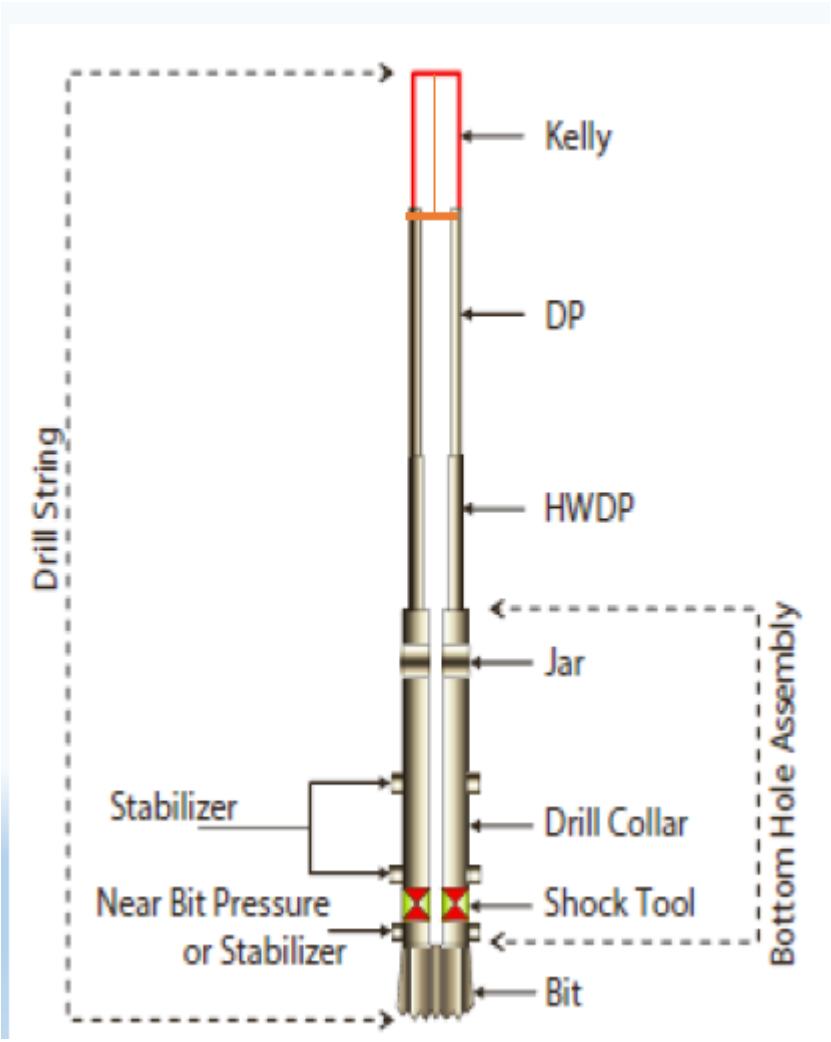
- مواسير حفر مثقلة أو ثقيلة الجدار ((HWDP) Heavy – Wall Drill Pipe) .
- المطرقة الهيدروليكية (Drilling Jar) .
- الممركزات (Stabilizers) .
- القواشط (Reamers).
- ماص الصدمات (المخمد) (Shock Sub , Shock Absorber).
- الوصلات ما بين أجزاء مجموعة مواسير الحفر (Bit Sub , Crossover Sub).
- رأس الحفر (Drill Bit) .



(الشكل 3, a–1)

تتألف مجموعة قاع البئر (Bottom hole assembly) الشكل (3,b–1) من الأجزاء التالية :

أعمدة الحفر –الممركزات و القواشط , المطرقة الهيدروليكية , ماص الصدمات ,



الشكل (3,b–1))

تقوم مجموعة مواسير الحفر أثناء الحفر الطاحوني بالوظائف التالية[1] :

1– نقل الحركة الدورانية من الطاحون إلى رأس الحفر.

2– التحميل على رأس الحفر بترك جزء من وزنها على هذا الرأس لتأمين دخول أسنانه في الصخر.

3–نقل سائل الحفر إلى قاع البئر في جميع طرق الحفر، وذلك لتأمين تبريد رأس الحفر وتنظيف البئر

4– تقوم برفع وإنزال رأس الحفر والتوربين والمعدات المساعدة الأخرى من البئر وإليه.

5- تأمين إنجاز الأعمال المساعدة في عملية الحفر (توسيع المناطق المتضيقة من البئر بفعل انتفاخ الصـــخور أخذ العينات الأســـطوانية ، اختبار الطبقات لمعرفة إمكانية احتوائها على الموائع الهيدروكربونية اصطياد المعدات التي تسقط إلى قاع البئر . . إلخ) .

3-2-الإجهادات التي تتعرض لها مجموعة مواسير الحفر[1] :

تتحدد نوعية الإجهادات التي تتعرض لها مجموعة مواســـير الحفر بطريقة الحفر المتبعة (حفر طاحوني أو بمحركات مغمورة . . إلخ) ، وبالشروط التي يتم مصادفتها أثناء الحفر ، وأيضاً العمليات المختلفة التي تجري أثناء الحفر (حفر ، رفع ، إنزال . . إلخ). وتقسم الإجهادات إلى نوعين :

1 – إجهادات سكونية : وتتميز بأن قيمتها ثابتة ولا تتغير مع الزمن .

2 – إجهادات متغيرة (ديناميكية) .

ويمكن أن تؤثر الإجهادات على مجموعة المواسير بشكل منفصل أو بشكل موحد ، وفي الحالة الأخيرة هذه تسمى بالإجهادات المركبة . إلا أنه من الصعب تعيين الإجهادات المؤثرة على مجموعة مواسير الحفر بدقة كافية لذلك فإن حساب الإجهادات تقريبي ، ويمكن الاستعاضة عن القوى التي لا تحسب بعامل أمان، يحدد على أساس الخبرة . وعند حساب الإجهادات سوف نفرض أن مجموعة الحفر إما أن تكون مجموعة وحيدة القطر ، وهي عبارة عن مواسير لها القطر نفسه وسماكة الجدار نفســـها ، أو مجموعة متعددة الأقطار ، وفي هذه الحالة تتكون من عدة قطاعات ، كل منها وحيدة القطر .

تتعرض مجموعة مواسير الحفر عند الحفر للإجهادات التالية

1 – جهد الشد .

2 – جهد الانضغاط المحوري .

3 – جهد الفتل .

4 – جهد الانحناء .

5 – جهد الضغط الداخلي .

6 – جهد الضغط الخارجي .

7 – الاهتزازات الطولية والعرضية التي تنشأ عن رد فعل الصخر على رأس الحفر ، أو عند استخدام معدات غير مناسبة ضمن مجموعة مواسير الحفر.

والإجهادات عند الحفر باستخدام محركات مغمورة هي من النوع السكوني لأن مجموعة المواسير في هذه الحالة لا تدور ، بينما تتميز بالديناميكية عند استخدام طريقة الحفر الطاحوني .

وفيما يلي سنقوم بدراسة هذه الإجهادات بالتفصيل .

3-1-1-جهد الشد (Tensile or Tension Stress) :

تتعرض مجموعة مواسير الحفر لجهد الشد باستمرار طيلة زمن وجودها في البئر ، ويبلغ قيمته العظمى على السطح . وتحسب قيمة جهد الشد – تبعاً للوضعية التي يوجد فيها رأس الحفر في البئر – على النحو الآتي

1– في حالة وجود رأس الحفر فوق القاع (لا يلامس القاع) ، وبفرض أن البئر شـــاقولية ، ولا يوجد دوران لسائل الحفر في البئر :

يبلغ هذا الجهد قيمة عظمى على السطح ، وقيمته الصغرى عند رأس الحفر وتساوي الصفر القيمة العظمى لجهد الشد الذي يتعرض له القسم العلوي من مواسير الحفر تحسب بالعلاقة الآتية :

$$\sigma_t = \frac{W_{ds}\, b}{A_p} = \frac{\left(K.L_P q_p + L_C.q_C + G_m + G_{acss}\right)b}{A_P} \quad (1-3)$$

حيث أن :

W_{ds} : وزن تشكيلة الحفر

K – عامل يأخذ بالاعتبار وزن الوصلات الخاصة لمواسير الحفر وللنهايات المغلظة وتأثيرها على وزن واحدة الطول لجسم المواسير. قيمة هذا المعامل تتراوح ما بين (1.08– 1.05)= K

q_C, q_P – وزن واحدة الطول لمواسير الحفر , ثم لأعمدة الحفر .

L_C, L_P – طول مواسير الحفر وأعمدة الحفر على التوالي .

G_m – وزن المحرك المغمور (التوربين أو المحرك الكهربائي) مع رأس الحفر ، وعند الحفر الطاحوني فإن قيمة هذا الحد تهمل ، لأن وزن رأس الحفر صغير ($G_m \approx 0$) .

G_{accs} – وزن الملحقات أو المتممات لتشكيلة الحفر .

A_P – مساحة المقطع العرضي لمواسير الحفر ، وتحسب من العلاقة التالية :

$$A_P = \frac{\pi}{4}({d_{ep}}^2 - {d_{ip}}^2)$$

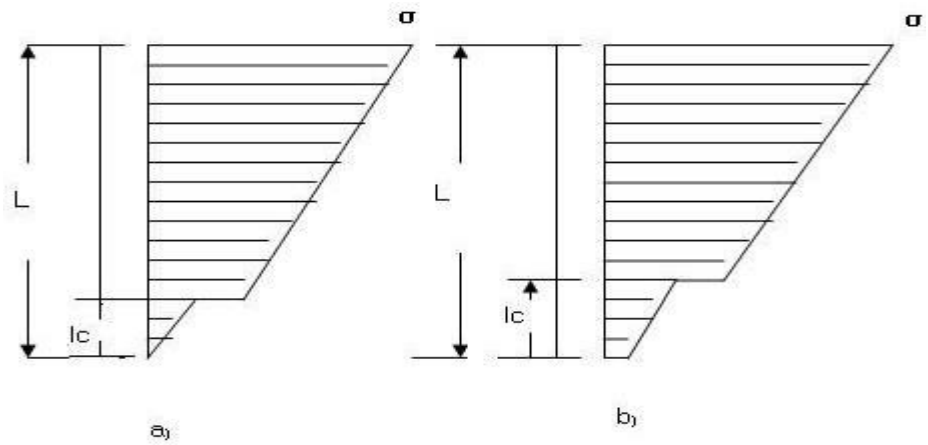
d_{iP}, d_{eP} – القطر الخارجي والداخلي لمواسير الحفر على التوالي .

b – عامل الطفو(Buoyancy Factor) ويحسب من العلاقة الآتية :

$$b = 1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_s}$$

γ_O, γ_f – الوزن النوعي لسائل الحفر وللمعدن المصنوعة منه أعمدة الحفر (الفولاذ)

يأخذ عامل الطفو في الحسبان وزن مجموعة مواسير الحفر وهي مغمورة في سائل الحفر ، وهو أقل من وزنها في الهواء . ويؤخذ هذا العامل في الاعتبار عند حفر الآبار الإنتاجية ، وعندما يتم التأكد من أن البئر سوف تبقى مملوءة بسائل الحفر ، أي أنه لن يحصل تهريب كلي للسائل يؤدي إلى إفراغ البئر . أما في الآبار الاستكشافية فلا يؤخذ هذا العامل في الحسبان لأن الشروط الجيولوجية للبئر غير معروفة ، ويمكن أن يفرغ البئر من السائل وتبقى مجموعة المواسير معلقة في الهواء ، وتكون قيمة جهد الشد في هذه الحالة أكبر ، ويمكن أن تنقطع المواسير ، خصوصاً أنها مصممة بحيث تتحمل ثقلها وهي مغمورة في السائل .



الشكل (3-1): رسم تخطيطي لتغير جهد الشد .

a – عند عدم وجود دوران لسائل الحفر. b – عند وجود دوران لسائل الحفر.

2– وجود رأس الحفر بعيداً عن القاع، وعند دوران سائل الحفر في البئر الشكل (1–3,b):

تصادف عادةً هذه الوضعية عند استهلاك رأس الحفر ، إذ يرفع عن القاع قليلاً مع متابعة ضخ سائل الحفر لتنظيفه من نواتج الحفر قبل البدء بالرفع لاستبدال رأس الحفر المستهلك بآخر جديد . قيمة جهد الشد في هذه الوضعية أكبر من قيمتها في الوضعية السابقة وتحسب القيمة العظمى لجهد الشد عند السطح بالعلاقة الآتية :

$$\sigma_{tc} = \sigma_t + P_C \frac{A_{iP}}{A_P} \qquad (2-3)$$

حيث ان:

P_C :الضغط الضائع داخل مجموعة مواسيرالحفر(قلم الحفر,المواسير,الوصلات , الأعمدة ,رأس الحفر)

A_{IP} :مساحة مقطع حريان سائل الحفر داخل مجموعة مواسير الحفر(مساحة المقطع الداخلي لمواسير الحفر) وتحسب من العلاقة :

$$A_{iP} = \frac{\pi}{4} {d_{ip}}^2$$

1– عند رفع مجموعة مواسير الحفر وبفرض أن البئر شاقولية :

آ– عند عدم وجود دوران لسائل الحفر :

$$\sigma_{te} = \sigma_t . K_1 . K_2 . K_3 \qquad (3-3)$$

ب– عند وجود دوران لسائل الحفر :

$$\sigma_{teC} = \sigma_{tC} . K_1 . K_2 . K_3 \qquad (4-3)$$

حيث أن :

K_1 :عامل يأخذ بالاعتبار اختكاك مجموعة المواسير مع جدران البئر وياخذ قيماً تقع قي المجال K_1=1.1–1.2

K_2 : عامل يأخذ الاعتبار تأثير تسارع مجموعة المواسيرعند الرفع وياخذ قيماً تقع قي المجال K_2=1.02–1.04

K_3 : عامل يأخذ يالاعتباراستعصاء مجموعةالمواسيروضرورة شدها من أجل تحريرها من الاستعصاء, وياخذ قيماً تقع قي المجال K_3=1.1−1.25

2- جهد الشد عند إنزال مجموعة المواسير :

آ- **عند عدم وجود دوران لسائل الحفر :**

$$\sigma_{ti} = \sigma_t . K_1^{'} . K_2^{'} \qquad (5-3)$$

ب- عند وجود دوران لسائل الحفر :

$$\sigma_{tiC} = \sigma_{tC} . K_1^{'} . K_2^{'} \qquad (6-3)$$

حيث أن :

$K_1^{'}$:عامل يأخذ بالاعتبار تناقص الوزن نتيجة اخنكاك مجموعة المواسير مع جدران البئر وياخذ قيماً تقع قي المجال 0.8−0.9

$K_2^{'}$: عامل يأخذ الاعتبار تأثير تسارع مجموعة المواسيرعندالإنزال وياخذ قيماً تقع قي المجال 1.2−1.4

3- حساب جهد الشد عند العمل العادي لرأس الحفر على القاع :

في هذه الحالة يترك عليه جزء من وزن أعمدة الحفر (الحمل المطبق على رأس الحفر). قيمة جهد الشد هنا تقل عن سابقاتها بما يساوي الوزن المحمول على رأس الحفر ، حيث تحسب القيمة العظمى لجهد الشد عند السطح بالعلاقة الآتية :

$$\sigma_{tw} = \frac{\left(K . L_P q_p + L_{Ct} . q_C + G_m + G_{acss}\right) b \ + P_C \, A_{ip}}{A_P} \qquad (7-3)$$

أو باستخدام العلاقة التالية :

$$\sigma_{tw} = \sigma_{tC} . - \frac{W_{oB}}{A_p}$$

حيث أن :

L_{Ct} – طول الجزء المعرض لجهد الشـد من أعمدة الحفر (الجزء الواقع فوق المقطع الحر للأعمدة) ويحسب بالعلاقة :

$$L_{Ct} = (1 - C)\, L_C$$

C – نسبة التحميل من وزن الأعمدة (70 – 80 %) = C

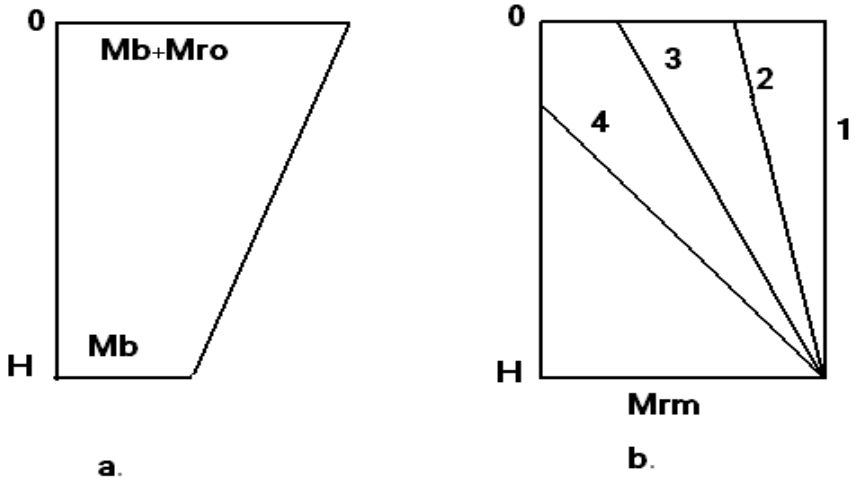
L_C – الطول الكلي لأعمدة الحفر .

3-1-2-جهد الفتل Torsion Stress :

يحسب جهد الفتل في الحالات الآتية :

1- جهد الفتل عند عمل رأس الحفر على قاع البئر :

تتعرض مجموعة مواســير الحفر لعزم فتل بســبب تأثير قوتين متعاكســتين في الاتجاه على كل من طرفيها أثناء عملية الحفر الفعلية ، فعند الطرف العلوي تؤثر قوة دورانية باتجاه اليمين تنتقل إليها من قبل الطاحون ، أما في الطرف السفلي فتتعرض لرد فعل الصخر على رأس الحفر،والذي يساوي الحمل المطبق عليه من قبل أعمدة الحفر وبالتالي فإن مجموعة مواســير الحفر تتعرض أثناء الحفر الطاحوني لجهد فتل له قيمة عظمى على السطح الشكل (3-2-a) يمكن حسابها بالعلاقة الآتية :



الشكل (3-2) : رسم تخطيطي لتغير جهد الفتل في حالة :

a – الحفر الطاحوني . b – الحفر التوربيني .

$$\tau_{max} = \frac{M_{max}}{M_P} = \frac{N}{\omega . M_P} = \frac{30(N_P + N_B)}{\pi . n . M_P} \quad (8-3)$$

حيث أن :

$M_{\max}$ – عزم الفتل الذي ينقل من الطاحون إلى قلم الحفر .

M_p – معامل عزم المقاومة القطبي (Polar Modulus) لمساحة المقطع العرضي لجسم أعلى ماسورة حفر ، والذي يحسب بالعلاقة التالية :

$$Mp = \frac{\pi}{16} . \frac{dep^4 - dip^4}{d_{ep}}$$

حيث أن :

ω – السرعة الزاوية لدوران مجموعة مواسير الحفر (rad/s) .

N_p – الاستطاعة (الطاقة) اللازمة لتدوير مجموعة مواسير الحفر ، وتستهلك هذه الطاقة خلال احتكاك مجموعة مواسير الحفر مع جدران البئر ومع سائل الحفر الموجود في الفراغ الحلقي ، وتعتمد على طول وقطر وعدد دورات مجموعة مواسير الحفر،وكذلك على نوعية البئر(عمودية أو مائلة – خطية أو متعرجة)، وخواص سائل الحفر . وتحسب قيمة الطاقة باستخدام علاقة فيودوروف (Fedorov) الآتية:

$$Np = d_\alpha . \gamma_f . \left(L_p . dep^2 + l_C . dec^2 + \ ...\right) n^{1.7} \qquad \text{(KW)}$$

حيث أن :

d_α – معامل ذو قيمة متغيرة ويعتمد على درجة ميل البئر α ويؤخذ من الجدول (1-3) :

α(º)	3	3-5	6-9	10-16	18-25	26-35
$d_\alpha.10^{-5}$	18.8	22.6-28.8	30.8-34.3	35.2-40.3	41.5-46.6	47.5-52.2

جدول (3-1).

γ_f – الوزن النوعي لسائل الحفر (gf/cm^3)

d_{ec}, d_{ep} – القطر الخارجي لمواسير الحفر ثم لأعمدة الحفر , m

L_c, L_p – طول مواسير الحفر ثم طول أعمدة الحفر على التوالي , m

n – عدد دورات مجموعة مواسير الحفر , rot/min

N_B – الطاقة اللازمة لحت الصخور وتدوير رأس الحفر (الاستطاعة أو الطاقة المستهلكة من قبل رأس الحفر) وتعتمد على نوع وأبعاد ودرجة تآكل رأس الحفر , ونظام الحفر المعتمد , والخصائص الميكانيكية للصخور , وخواص سائل الحفر . . . إلخ . وقد أدت الأبحاث النظرية إلى اعتماد العلاقة الآتية لحساب هذه الطاقة :

$$N_B = (2.2 \ldots . 3.2)\ 10^{-4}\ \sqrt{W_{OB}}\ \ D_B{}^{1.75}\ .\ n\ \ (KW)$$

حيث أن :

W_{OB} – الحمل المطبق على رأس الحفر ton.f

D_B – قطر رأس الحفر cm

n – عدد دورات رأس الحفر rot/min

تعتمد القيم الصغرى للمعامل العددي عند حفر الصخور القاسية ، أما القيم الكبيرة فتعتمد في حالة الصخور الطرية (اللدنة) .

أما في حالة الحفر التوربيني وحيث أن مجموعة مواسير الحفر لا تدور فإن القيمة العظمى لجهد الفتل تكون عند رأس الحفر والصغرى عند النهاية العليا لمجموعة المواسير، وتتعلق القيمة الصغرى لهذا الجهد بدرجة احتكاك هذه المجموعة مع جدران البئر ، حيث تقل كلما ازداد الاحتكاك ، الشكل (b–37–4) .

2– جهد الفتل الذي تتعرض له مجموعة مواسير الحفر عندما يكون رأس الحفر غير مستند على القاع :

في هذه الحالة فإن جهد الفتل الذي يتعرض له القسم العلوي في المواسير يعطى بالعلاقة :

$$\tau = \frac{30N_P}{\pi . n . M_P} \qquad (10-3)$$

3– جهد الفتل الذي يتعرض له قلم الحفر :

يعطى حسب شكل مقطع القلم على الشكل الآتي :

آ- في حالة استخدام قلم الحفر ذي المقطع الرباعي :

$$\tau_{max} = \frac{18(N_P + N_B)}{\pi . n \left[1 - 0.7(\frac{d_i}{2a})^4 \right] a^3} \qquad (11-3)$$

حيث أن :

d_i - القطر الداخلي لقلم الحفر ذي المقطع الرباعي .

a - نصف طول ضلع المربع ويساوي $d_{ek}/2$.

حيث أن:

d_{ek} : القطر الخارجي لقلم الحفر ذي المقطع الرباعي

ب- في حالة استخدام قلم الحفر ذي المقطع السداسي :

$$\tau_{max} = \frac{20(N_P + N_B)}{\pi . n \left[1 - 0.852(\frac{d_i}{2b})^4 \right] b^3} \qquad (14-3)$$

حيث أن :

d_i - القطر الداخلي لقلم الحفر ذي المقطع السداسي .

b - نصف المسافة بين وجهين متقابلين للمسدس .

4- جهد الفتل عند التوقف المفاجئ لرأس الحفر عن الدوران :

وهنا ينتج جهد فتل إضافي نتيجةً للتوقف المفاجئ لرأس الحفر عن الدوران ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$\tau_d = \frac{\omega d_{ep}}{2} \sqrt{\frac{G \ \gamma_S}{g}} \qquad (15-3)$$

حيث أن :

G - معامل المرونة العرضي لمواسير الحفر ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

E - معامل المرونة الطولي للفولاذ (معامل يونغ) (Young's Modulus of steel):

μ – عامل بواسون للفولاذ وتؤخذ قيمته $\mu = \frac{1}{4}$

$$E = 210x10^9\, N/m^2 \Rightarrow G = 84x10^9\, n/m^2$$

ω – السرعة الزاوية لدوران رأس الحفر قبل توقفه مباشرةً وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$\omega = \pi.n/30$$

ويكون جهد الفتل الكلي في هذه الحالة :

$$\tau_t = \tau_d + \tau_{min}$$

حيث أن :

$\tau_{\min}$ – جهد الفتل الأصغري الذي يأخذ قيمة صغرى فوق رأس الحفر مباشرةً ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$\tau_{min} = \frac{30N_B}{\pi.n.M_C} \qquad (16-3)$$

حيث أن :

M_C – معامل عزم المقاومة القطبي لأعمدة الحفر ، والذي يحسب بالعلاقة الآتية :

$$M_c = \frac{\pi}{16}.\frac{{d_{ec}}^4 - {d_{ic}}^4}{d_{ec}}$$

حيث أن :

d_{ic}, d_{ec} – القطر الخارجي ثم القطر الداخلي لأعمدة الحفر .

– يتم تعيين الجهد المكافئ للإجهادات المركبة المتولدة عن كل من جهد الشـــد $\sigma_{t\max}$ وجهد الفتل $\tau_{\max}$ بالعلاقة الآتية :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 4\tau_{\max}^2}$$

– من أجل التأكد من قدرة المواســير على تحمل الإجهادات التي تتعرض لها مهما كانت الشــروط ، يجب أن يتحقق الشرط الآتي :

$$\frac{\sigma_c}{s_f} \geq \sigma_{eq}$$

$$\sigma_c = \sigma_{eq}\ .s_f$$

حيث أن :

σ_C – الجهد الذي تتحمله مواسير الحفر ويدعى بالنهاية الحدية لانسياب المعدن المصنوعة منه ، أو مقاومة الخضوع الصغرى (Minimum Yield Strength)

S_f– عامل أمان (Safety Factor) ، وهو النسبة ما بين النهاية الحدية لانسياب المعدن والجهد الكلي الناتج عن جهدي الشد والفتل :

$$S_f = \frac{\sigma_C}{\sigma_{eq}} \geq 1.5$$

3-3-تصميم مجموعة مواسير الحفر(Drill String Design)[1,4] :

المقصود بتصميم مجموعة مواسير الحفر : تحديد قطرها والعمق الذي يمكن أن تستعمل عنده ، ذلك أن اختيار نوع المعدن المصنوعة منه يتم اعتماداً على الإجهادات التي يمكن أن تتعرض لها هذه المجموعة .

3-3-1-تصميم أعمدة الحفر :

1–تحديد قطر أعمدة الحفر :

يتم تحديد قطر رأس الحفر من برنامج التغليف ، أما قطر أعمدة الحفر فيختار تبعاً لقطر رأس الحفر ، وبالتالي لقطر البئر وحسب وضعيته (شاقولية أو مائلة) ، أي أن القطر الخارجي لأعمدة الحفر يتراوح بين قطر أصغري وقطر أعظمي

- **القطر الأعظمي لأعمدة الحفر يعتمد على :**

1 – قطر البئر وعلى تكوين فراغ حلقي (Annular Size) مناسب لاستعمال أجهزة الاصطياد.

2 – السماح بدوران سائل الحفر بأقل فقدان للضغوط .

3 – خطورة الالتصاق بسبب فرق الضغط التفاضلي .

- **أما القطر الخارجي الأصغري لأعمدة الحفر** فيتعلق مباشرةً بقساوة أعمدة الحفر . يحدد القطر الأصغري لأعمدة الحفر التي يمكن أن تستخدم لحفر بئر بقطر نموذجي مع الأخذبالاعتبار ثبوتية الجزء السفلي من مجموعة مواسير الحفر (Bottom Hole Assembly (BHA)) باستخدام مبدأ النواس بالعلاقة الآتية :

$$D_{ec} = 2D_{ecsg} - D_B$$

حيث أن : D_{ecsg} – القطر الخارجي لمواسير التغليف عند الرأس (النهاية المغلظة) .

D_B – قطر رأس الحفر .

2- تحديد الطول الأصغري لأعمدة الحفر :

الطول الأصغري لأعمدة الحفر الذي يجب إنزاله في البئر يحدد من العلاقة الآتية:

$$L_{DC} = \frac{W_{OB}}{\cos\alpha.C.q_C.b} \qquad (17-3)$$

حيث أن : L_{DC} – طول أعمدة الحفر المطلوب ، m

W_{OB} – الحمل الذي سوف يترك على رأس الحفر ، والذي يحدد تبعاً لقساوة الصخر ، وبحيث يكون كافياً لتحطيمه .

α – زاوية ميل البئر عن الشاقول .

C – متحول يبين النسبة من طول أعمدة الحفر التي تستخدم في التحميل على رأس الحفر ، ويحدد قيمته مهندس البئر وذلك تبعاً لطريقة الحفر (حفر عادي أو تلبيبي) .

q_C – وزن واحدة الطول من أعمدة الحفر (kgf/m) .

b – عامل الطفو(Buoyancy Factor) ويحسب من العلاقة التالية :

$$b = 1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_s} \qquad .$$

γ_s , γ_f الوزن النوعي لسائل الحفر و للمعدن (الفولاذ) المصنوعة منه أعمدة الحفر.

2-3-3- تصميم مواسير الحفر :

1- تحديد قطر مواسير الحفر :

يحدد قطر مواسير الحفر بحيث يكون الضغط الضائع في أثناء دوران سائل الحفر في البئر أصغرياً ، أي يجب أن يتحقق الشرط الآتي :

$$\Delta p_{ip} + \quad \Delta p_{ep} = \min \qquad (18-3)$$

Δp_{ip} : الضغوط الضائعة نتيجة جريان سائل الحفر داخل مواسير الحفر. ويحدد بالعلاقة الآتية :

$$\Delta P_{ip} = \alpha_{ip}\, \mathrm{L}\, \gamma_f \quad Q^2 \qquad (19-3)$$

Δp_{ep}: الضغوط الضائعة نتيجة جريان سائل الحفر خارج مواسير الحفر. ويحدد بالعلاقة الآتية :

$$\Delta P_{ep} = \alpha_{ep}\, \mathrm{L}\, \gamma_f \quad Q^2) \qquad (20-3)$$

حيث أن :

•

Q – غزارة سائل الحفر

d_{ip}– القطر الداخلي لمواسير الحفر .

d_{ep}–القطر الخارجي لمواسير الحفر.

D_B– قطر رأس الحفر.

γ_f – الوزن النوعي لسائل الحفر.

L – طول مواسير الحفر (L = H ، H عمق البئر) .

α_{ip} , α_{ep} – ثوابت ضياع الضغط (معاملات فقدان الضغوط) داخل مواسير الحفر وخارجها على التوالي .

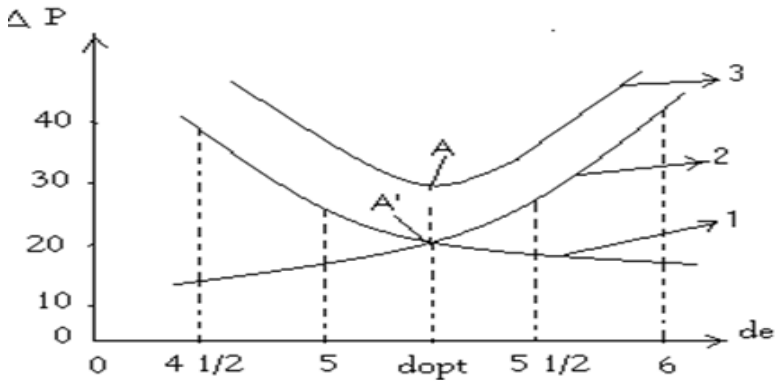
الطريقة البيانية :

يحدد قطر مواسير الحفر بالطريقة البيانية وفق الخطوات الآتية :

1 – تؤخذ عدة أقطار لمواسيرالحفر (ثلاثة أقطار على الأقل) ، وكلما كان العدد أكبر كانت الطريقة أكثر دقةً

2 – تحسب الضغوط الضائعة داخل هذه المواسير وخارجها مع الأخذ بالاعتبار الشروط التي سوف تصادف في البئر من غزارة سائل الحفر وخواصه .

3 – تمثل قيم الضغوط الضائعة بيانياً بالعلاقة مع تغير أقطار المواسير ((ΔP_i , ΔP_e) = f (d_e)) ، ثم منحني تحول الضغط الكلي الذي تتعرض له مضخات سائل الحفر داخل مواسير الحفر وخارجها (منحني المحصلة ، ويساوي مجموع المنحنيين السابقين). وكما يظهر من هذا الشكل فإن لمنحني المحصلة نهاية صغرى تقابل نقطة تقاطع المنحنيين ، أي تساوي الضغط الضائع داخل المواسير وخارجها . ويقابل نقطة التقاطع هذه قطر لمواسير الحفر يحقق الشرط (3-5) . وقد لا يصنع هذا القطر ، وفي هذه الحالة يؤخذ القطر الأقرب لهذا القطر الحسابي(سواءً الأصغر أو الأكبر)، والذي يسمى بالقطر المثالي لمواسير الحفر.



الشكل (3-5) تحول الضغط الضائع تبعاً لقطر مواسير الحفر .

1- منحني تحول الضغط الضائع داخل المواسير .

2- منحني تحول الضغط الضائع خارج المواسير .

3- منحني المحصلة للضغط الضائع داخل المواسير وخارجها .

في العلاقات السابقة تم فرض أن للمواسير قطرين داخلي وخارجي ثابتين ، أي أنها لا تحوي وصلات أو نهايات مغلظة ، ولذلك ، ومن أجل المواسير الحقيقية ، حيث تستخدم وصلات ذات أقطار داخلية وخارجية متغيرة وتختلف عن قطر مواسير الحفر يؤخذ قطر أصغر من القطر الحسابي

3-3-3- تحديد العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسير الحفر ذات قطر معين:

لتحديد العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسير الحفر ذات قطر معين نميز الحالات الآتية:

أولاً – المواسير معرضة لجهد الشد فقط :

هذه الحالة تصادف عند الحفر التوربيني أو الحفر بمحركات مغمورة . وتوجد حالتان:

آ – مجموعة المواسير متجانسة القطر :

عند استخدام مجموعة مواسير حفر متجانسة القطر(إما مواسير حفر أو أعمدة حفر) فإن القيمة العظمى لجهد الشد تعطى بالعلاقة :

$$\sigma_s = \frac{\sigma_c}{S_f} = L_P q_p \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_s}\right)\frac{1}{A_P} \qquad (21-3)$$

وبالتالي فإن طول مواسير الحفر يحسب بالعلاقة :

$$L_P = \frac{\sigma_c}{S_f}\frac{1}{\gamma_S - \gamma_f}$$

حسب هذه العلاقة فإنه لا يمكن استخدام مواسير الحفر بمفردها (أي دون وجود أعمدة حفر) ، لأن مواسير الحفر لا يمكنها تأمين الحمل المطلوب على رأس الحفر ، ولذلك فإن هذه العلاقة تستخدم عندما تكون مجموعة مواسير الحفر مكونة من أعمدة الحفر فقط (دون وجود مواسير الحفر)، وهذا ما يطبق عملياً أثناء حفر المرحلة السطحية، وذلك لإنجازها بأكبر شاقولية ممكنة (بسبب القساوة الكبيرة لأعمدة الحفر)

ب – مجموعة المواسير غير متجانسة القطر :

تستخدم في هذه الحالة مواسير حفر وأعمدة حفر . القيمة العظمى لجهد الشد في هذه الحالة عند الطرف العلوي لمواسير الحفر تعطى بالعلاقة :

$$\sigma_s = \frac{\sigma_c}{S_f} = \frac{L_P q_p + L_C q_c}{A_P}\left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_s}\right) \qquad (22-3)$$

ويكون طول المواسير في هذه الحالة :

$$L_P = \frac{\sigma_c}{S_f}\frac{1}{\gamma_S - \gamma_f} - L_C q_c \frac{A_C}{A_P} \qquad (23-3)$$

حيث أن : A_P, A_C – مساحة المقطع العرضي لأعمدة الحفر ، ثم لمواسير الحفر .

ثانياً – المواسير معرضة لجهدي الشد والفتل (حالة الحفر الطاحوني) :

أ– عند استخدام مجموعة مواسير حفر غير متجانسة القطر (أعمدة حفر ومواسير حفر) :

أن طول مواسير الحفر يعطى بالعلاقة التالية:

$$L_P = \sqrt{\frac{(\frac{\sigma_C}{S_f})^2 - 4.{\tau_{max}}^2}{(\gamma_s - \gamma_f)^2}} - \frac{(W_{DC} + W_{acss})}{q_p} \qquad (24-3)$$

حيث أن:

W_{DC} : وزن أعمدة الحفر.

W_{acss} وزن متممات تشكيلة الحفر

ب – عند استخدام مجموعة مواسير حفر متجانسة القطر:

ويكون طول المواسير :

$$L_P = \sqrt{\frac{(\frac{\sigma_C}{S_f})^2 - 4.{\tau_{max}}^2}{(\gamma_s - \gamma_f)^2}} \qquad (25-3)$$

في العلاقات السابقة فرضنا أن البئر شاقولية ، كما أخذنا في الاعتبار تأثير عامل الطفو ، لذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار احتمال ميل البئر والزيادة في جهد الشد أثناء رفع مجموعة مواسير الحفر ، والناتجة عن احتكاكها مع جدران البئر ، هذه الزيادة تؤخذ عادةً 20% من وزن مجموعة المواسير ، ويمكن تغطيتها بزيادة قيمة عامل الأمان بحيث تكون قريبة من $S_f = 2$ ، كما أن طول مواسير الحفر في الآبار الاستكشافية يحسب بإهمال عامل الطفو ، ويمكن استخدام عامل أمان كبير يغطي مثل هذه الزيادة .

يختار قطر الوصلات تبعاً لقطر مواسير الحفر ، الذي يحدد بدوره بحيث تتعرض مضخات سائل الحفر لأصغر ضغط ممكن أثناء ضخها لسائل الحفر ضمن هذه المواسير .

الفصل الرابع

الحسابات التصميمية للبئرالمقترحة

4-1-تصميم برنامج التغليف :

1- تحديد قطر مواسير التغليف للمرحلة الانتاجية:

$D_{csg}=7"=1778mm$

$D_{csg}'=194.5mm$

- حساب قطر رأس الحفر للمرحلة الانتاجية:

$D_B= =194.5\times1.11=215.89\ mm$

- من جدول رؤوس الحفر نختار قطر رأس الحفر الاقرب الى القطر الحسابي:

$D_{Bst}=8\frac{1}{2}"-=215.9mm$

2- حساب قطرمواسير التغليف و قطررؤوس الحفر:

نحسب القطر الداخلي الاصغري من العلاقة(3-2):

$d_{imin}= =215.9+2\times2.6=221.1mm$

من جداول مواسير التغليف نبحث عن قطرداخلي لمواسيرتغليف اكبراو يساوي القطرالداخلي الحسابي:

$222.38mm>221.1mm$

- القطر الخارجي لمواسير التغليف المرحلة الوسطية :

$D_{csg}=9\frac{5}{8}"=244.5mm$

$D_{csg}'=269.9mm$

- قطر رأس الحفر للمرحلة الوسطية يحسب من العلاقة (3-1):

$D_{Bi}= 269.9\times1.2=323.88mm$

- من جدول رؤوس الحفر القياسية يكون قطر رأس الحفر:

$D_{Bst}=12\frac{1}{4}=311.2$ mm

- حساب قطرمواسير التغليف و قطررؤوس الحفر للمرحلة السطحية:

نحسب القطر الداخلي الصغري:

$d_{imin}= =311.2+2\times2=315.2$ mm

نبحث عن مواسير تغليف قطرها الداخلي أكبر او يساوي القطر الداخلي الاصغري

$di\geq d_{imin}$ $315.35>315.2$

- القطر الخارجي لمواسير التغليف للمرحلة السطحية:

$D_{csg}=13\frac{3}{8}=339.7$

$D_{csg}'=365$mm

- حساب قطر رأس الحفر للمرحلة السطحية:

$D_{Bst}= =365\times1.3=474.5$mm

ويكون قطرالحفر القياسي :

$D_{Bst}=17\frac{1}{2}"=444.5$mm

وفي الجدول (4−1):نبين حسابات برنامج التغليف للبئر المقترحة .

الجدول (4-1) : برنامج التغليف المقترح للبئر الجديدة						
المرحلة	أقطار رؤوس الحفر		القطر الخارجي لمواسير التغليف		القطر الخارجي عند الرأس	القطر الداخلي الأصغري
	Mm	in	mm	In	mm	mm
السطحية	444.5	17 ½	339.7	13 ⅜	365	315.35
الوسطية	311.2	12 ¼	244.5	9 ⅝	269.9	222.38
الإنتاجية	219.5	8 ½	177.8	7	194.5	-

4-2-الحسابات التصميمية لمواسير التغليف :

الحسابات التصميمية لمواسير التغليف الانتاجية بقطر7inوعمق إنزال 2100 m

باستخدام الطريقة التجريبية (طريقة القطع الناقص):

نحسب عمق إنزال كل نوع من أنواع مواسير التغليف:

Had (K55-20) = 1384.48

Had (K55-23) = 1984.13

Had (K55-26) =2100

نقوم باختيار الطول التجريبي L_1= 153 m

Y_1= 0.981

Z_1= 0.036

وبالتالي يكون طول المقطع

L_1 (K55 – 26) = 153 m

نقوم باختيار الطول التجريبي L_2= 743 m

Y_2= 0.9806

$Z_2 = 0.1801$

وبالتالي يكون طول المقطع

L_2 (K55 – 23) = 743 m

وبالتالي يكون طول المقطع

L_3 (K55 – 20) = 1204 m

-الحسابات التصميمية لمواسير التغليف الوسطية بقطر9 5/8 وبعمق 1100 m

نبين في الجدول(4-2): مواصفات مواسير التغليف للمرحلة الوسطية

الجدول(4-2): مواصفات مواسير التغليف للمرحلة الوسطية						
القطر الخارجي In Mm	وزن واحدة الطول Lbs/ft	نوعية المعدن –	سماكة الجدار Mm	الضغط الخارجي الحرج MPa	الجهد الحدي للحل من الشرار Ton.f	نوع الشرار
9 5/8" 244.5	36.00	K-55	8.94	14.2	192	STC

نحسب القيمة العظمى للضغط الخارجي(التاتج عن تأثير عمود سائل الحفر) الذي تتعرض له المواسير عند العمق (1100 m) :

$$P_{md} = \frac{1100 \times 1.08}{10} = 118.8 \text{ at} = 11.88 \text{ MPa}$$

عمق إنزال مواسير التغليف $(K-55,8.94)$هو:

$$H_{ad}(K-55,8.94)=1100\,m$$

وبالتالي فإن طول مواسير التغليف من نوع $(K-55,8.94)$ يكون :

$$L(K-55,8.94)=1100\ \mathrm{m}$$

نتحقق من تحمل هذه المواسير لجهد الشد :

نحسب وزن هذه المواسير :

$$G=(1100\times 36)1.488=58924.8\,Kgf$$

بالتالي فإن القيمة العظمى التي يجب أن تتحملها المواسير فهي:

$$F_{ad}(\,K-55,8.94)=\frac{192\times 10^3}{1.75}=109714.28\quad>G$$

الحسابات التصميمية لمواسير التغليف السطحية بقط 3/8 13وبعمق 250 m

نبين في الجدول(4−3): مواصفات مواسير التغليف للمرحلة السطحية .

الجدول(4−3): مواصفات مواسير التغليف للمرحلة السطحية

القطر الخارجي In Mm	وزن واحدة الطول Lbs/ft	نوعية المعدن –	سماكة الجدار Mm	الضغط الخارجيالحرج MPa	الجهد الحدي للحل من الشرار Ton.f	نوع الشرار
13 3/8" 339.7	54.50	K−55	9.65	7.9	248	STC

نحسب القيمة العظمى للضغط الخارجي(التاتج عن تأثير عمود سائل الحفر) الذي تتعرض له المواسير عند العمق (250 m) :

إن عمق إنزال مواسيرالتغليف $(K-55,9.65)$هو:

$$H_{ad}(K-55,9.65)=250\,m$$

وبالتالي فإن طول مواسير التغليف من نوع $(K-55,8.94)$ يكون :

$$L(K-55,9.65)=250\ \mathrm{m}$$

نتحقق من تحمل هذه المواسير لجهد الشد :

نحسب وزن هذه المواسير :

$$G=(250\times 54.5)1.488=20274\ Kgf$$

بالتالي فإن القيمة العظمى التي يجب أن تتحملها المواسير فهي:

$$F_{ad}(K-55,8.94)=\frac{248\times 10^3}{1.75}=141714.28\quad >G$$

وفي الجدول (4−4): تبين نتائج الحسابات التصميمية لمواسيرالتغليف للبئر المقترحة.

الجدول (4−4): الحسابات التصميمية لمواسيرالتغليف للبئر المقترحة

المرحلة	القطر In	وزن واحدة الطول Lbs/ft	نوعية المعدن –	سماكة الجدار mm	عمق الإنزال m	طول المقطع m
السطحية	13 ⅜	54.50	k-55	9.65	250	250
الوسطية	9⅝	36.00	k-55	8.94	1100	1100
الإنتاجية	7	20.00	k-55	6.91	1500	1500
		23.00	k-55	8.05	2100	600

4-3-حسابات عملية السمنتة للبئر المقترحة:

1− حسابات عملية السمنتة للمرحلة السطحية:

$$\mathrm{H}=\mathrm{Hc}=250\,m$$

$$\gamma_{\mathrm{fc}}=1.85\frac{\mathrm{gf}}{\mathrm{cm}^3}$$

$$\mathrm{m}=0.485$$

$$\gamma_c = 3.15 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3}$$

$$\gamma_f = 1.08 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{h} = 30 \text{ m}$$

$$\text{K}_1 = 1.2 \ , \ \text{K}_2 = 1.05$$

$$\text{de} = 339.7 \text{ mm}$$

$$\text{D}_\text{B} = 444.5 \text{ mm}$$

$$di = de - 2t = 339.7 - 2(9.65) = 320.4\ mm$$

- حساب حجم السائل الاسمنتي

$$V_{fC} = \frac{\pi}{4}[(1.2 \times 0.44450^2 - (0.3397)^2 \times 250 + (0.3204)^2\ 30] = 26.31\ m^2$$

- حساب كمية مسحوق الأسمنت:

- نحسب كمية الاسمنت الازمة لتحضير $1m^3$ من السائل الاسمنتي

$$gc = \frac{1.85}{1 + 0.485} = 1.245 \frac{tonf}{m^3}$$

$$Gc = 1.05 \times 1.245 \times 26.31 = 34.39\ ton$$

- حساب عدد أكياس الاسمنت الازمة للتحضير من العلاقة ():

$$nc = \frac{34.39 \times 10^3}{50} = 688\ Sk$$

- حساب حجم الماء الازم بتحضير الخلطة الاسمنتية:

$$V_W = 1.05 \times \frac{3.15 - 1.85}{3.15 - 1} \times 26.31 = 16.7\ m^3$$

- حساب حجم سائل الازاحة:

$$V_{fd} = \frac{\pi}{4}(0.3204)^2(250 - 30) = 17.74\ m^3$$

- حساب ضغط الضخ الاعظمي الذي يتعرض له جهازالضخ:
- نحسب الضغط الناتج عن جريان السوائل داخل وخارج مواسير التغليف:

$$P_{C1} = 0.02 \times 250 + 8 = 13 \frac{Kgf}{cm^2}$$

-نحسب الضغط الناتج عن الفرق في الاوزان للسوائل داخل وخارج المواسير:

$$P_{\gamma max} = \frac{1}{10}[(250 - 30)(1.85 - 1.08)]$$

$$P_{\gamma max} = 16.94 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$(Pp)max = 16.94 + 13 + 8 = 37.94 \ \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

نختار اعتماداً على قيمة الضغط نوع جهاز الضخ الذي يجب استخدامه . نلاحظ أن الجهاز من نوع من النوع AC−300 , ø=4"

حساب عدد أجهزة الضخ:

نحسب زمن ضخ السائل الاسمنتي وزمن ضخ سائل الازاحة:

$$tfc + tfd = \frac{(26.31 + 17.74) \times 10^3}{635} = 69.37 \ min$$

$$tc = 69.37 + 10 = 79.37 \ min$$

$$t_{ad} = \frac{3}{4} t_p = \frac{3}{4} \times 60 = 45 \ min$$

حساب عدد اجهزة الضخ:

$$n_p = \frac{79.37}{45} + 1 = 3 \text{ اجهزة}$$

وفي الجدول (4−5) نبين مواصفات جهاز الضخ من نوع AC−300 وقطر المكبس والغزارة التي تضخها وكذلك الضغط الذي تتحمله مقابل كل سرعة:

الجدول (4-5) :مواصفات الجهاز AC-300			
قطر المكبس Ø= 4 in			
نوع الجهاز	السرعة	الضغط	الغزارة
		MPa	L/min
AC-300	I	300	100
	II	220	250
	III	100	450
	IV	60	635

2- حسابات عملية السمنتة للمرحلة الوسطية :

$$\mathrm{H} = \mathrm{H}c = 1100\,m$$

$$\mathrm{D_B} = 311.2\,mm$$

$$\mathrm{de} = 244.5\ \mathrm{mm}\,, \qquad d_i = 266.62\,mm$$

$$K_1 = 1.15 \qquad , \qquad K_2 = 1.05$$

-حساب حجم السائل الاسمنتي:

$$V_{fC} = \frac{\pi}{4}[(1.15 \times 0.3112^2 - 0.2445^2) \times 850 + 0.22662^2 \times 20 + (0.3204^2 - 0.2445^2) \times 250]$$

$$V_{fC} = 43.66\,m^3$$

-حساب كمية المسحوق الاسمنت :

نحسب كمية مسحوق الاسمنت الازمة لتحضير $1m^3$ من السائل الاسمنتي:

$$g_C == \frac{1.85}{1+0.485} = 1.245\frac{tonf}{m^3}$$

$$G_C = 1.05 \times 1.245 \times 43.66 = 57.07\ tonf$$

-حساب عدد أكياس الاسمنت:

$$n_C = \frac{57.07 \times 10^3}{50} = 1142\ sk$$

-حساب حجم الماء الازم لتحضير الخلطة الإسمنتية:

$$V_W = 1.05 \times \frac{3.15-1.85}{3.15-1} \times 43.66 = 27.71\ m^3$$

-حساب حجم سائل الازاحة:

$$V_{fd} = \frac{\pi}{4}(0.22662^2)(1100-20) = 43.56\ m^3$$

- حساب ضغط الضخ الاعظمي الذي يتعرض له جهازالضخ :

نحسب الضغط الناتج عن الفرق في الاوزان للسوائل داخل وخارج المواسير:

$$P_{\gamma max} = \frac{1}{10}[(1100-20)(1.85-1.08)] = 83.16\ Kgf/cm^2$$

-نحسب الضغط الناتج عن جريان السوائل داخل وخارج مواسير التغليف:

$$P_c = 0.02 \times 1100 + 8 = 30\frac{Kgf}{cm^2}$$

$$(Pp)max = 83.16 + 30 + 8 = 121.16\ Kgf/cm^2$$

نختار اعتماداً على قيمة الضغط هذه نوع جهاز الضخ الذي يجب استخدامه نلاحظ أن الجهاز من نوع من النوع AC−300 , ø=4".ومن أجل تحديد عدد أجهزة الضخ سوف تعتمد الطريقة البيانية والتي تتطلب تعيين احداثيات النقاط على النحو الآتي:

$$A_i = \frac{\pi}{4} \times 0.22662^2 = 0.0403\ m^2$$

$$A_a = \frac{\pi}{4}(1.15 \times 0.3112^2 - 0.2445^2) = 0.0405\ m^2$$

A(0,30)

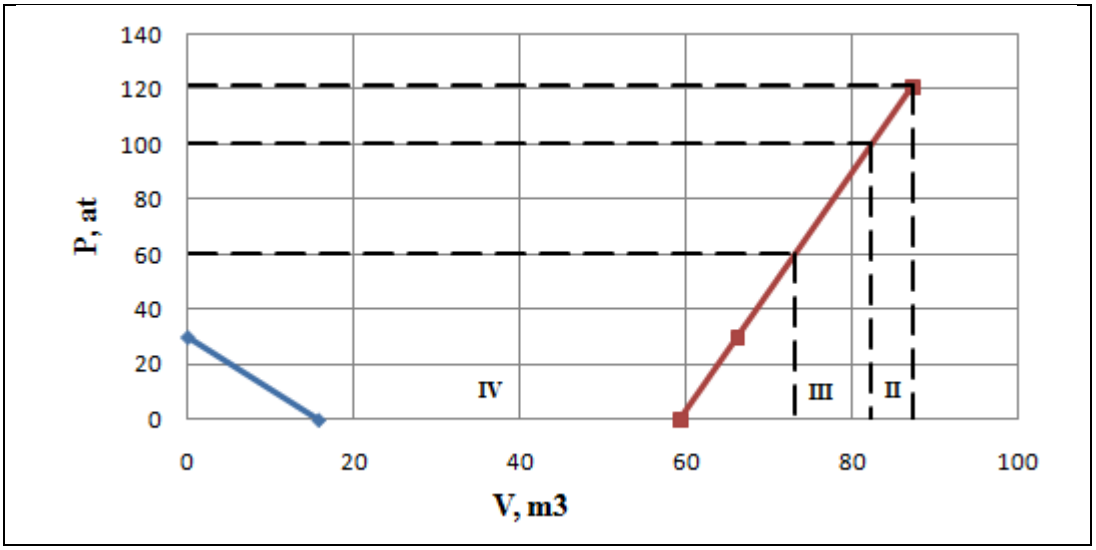
$$B(\frac{10 \times 30}{1.85 - 1.08} \times 0.0403) =$$

B (15.70 , 0)

$$C[43.66 + (1100 - \frac{43.66}{0.0808}) \times 0.0403, 30]$$

C(66.2 , 30), D(87.22 , 121.16)

وفي الشكل (4−1):نبين منخني تحول الضغط على جهازالضخ كتابع للحجم للمرحلةالوسطية



الشكل (4−1): منخني تحول الضغط على جهازالضخ كتابع للحجم –المرحلة الوسطية

نأخذ من المنحني (4−1): قيم حجوم السوائل التي تضخ بمختلف السرعات وهي الآتية:

$$V_{IV} = 73m^{3,}, V_{III} = 9.5m^{3,}$$

أما الحجم المضخ بالسرعة الثانية فهو:

$$V_{II} = 87.22 - (73 + 9.5) = 4.72m^3$$

والزمن الذي يستغرقه ضخ كل من السائل الاسمنتي وسائل الازاحة يحدد بالعلاقة() ,وبالاستعانة بالجدول () لتعيين الغزارة عند كل سرعة وفق الآتي:

$$t_{fC} + t_{fd} = \frac{V_{IV}}{Q_4} + \frac{V_{III}}{Q_3} + \frac{V_{II}}{Q_2}$$

$$= \frac{73 \times 10^3}{635} + \frac{9.5 \times 10^3}{450} + \frac{4.72 \times 10^3}{250}$$

وبذلك يكون الزمن الكلي لعملية السمنتة في حال استخدام جهازضخ وحيد هو:

$$t_C = 154.95 + 15 = 169.95\ min$$

$$t_{ad} = \frac{3}{4} t_{ad} = \frac{3}{4} \times 60 = 45\ min$$

يحدد عدد أجهزة الضخ اللازمة على النحو الآتي:

$$n = \frac{169.95}{45} + 1 = 5$$ اجهزة

3−حساب عمليات السمنتة للمرحلة الانتاجية:

D_B=215.9 mm , H=Hc=2100m, de=177.8mm

نحسب السماكة الوسطية من العلاقة:

$$t_m = \frac{600 \times 8.05 + 1500 + 6.91}{2100} = 7.23mm$$

وبالتالي فان القطر الداخلي الوسطي:

$$d_{im} = 177.8 - 2 \times 7.23 = 163.34mm$$

نحسب قيمة α من العلاقة ():

$$\alpha = \frac{1.15 \times 0.2159^2 - 0.1778^2}{0.16334^2} = 0.82 < 1$$

وبالتالي فان ارتفاع الوصلة الاسمنتية :

$$h_m = \left[\frac{1 + 0.82}{2 + 0.82}\right] \times 2100 = 1355m$$

-حسابات عملية السمنتة للمرحلة الانتاجية الاولى (السفلى):

نحسب حجم السائل الاسمنتي :

$$V_{fc} = \frac{\pi}{4}[(1.15 \times 0.2159^2 - 0.1778^2) \times 1000 + (0.22662^2 - 0.1778^2) \times 355 + 0.16334^2 \times 20]$$

$$V_{fc} = 23.19\, m^3$$

-حساب حجم الاسمنت الازمة لتحضير الخلطة الاسمنتية:

$$G_{c1} = 1.05 \times 23.19 \times 1.245 = 30.31\, ton$$

وبالتالي فإن عدد اكياس الاسمنت:

$$n = \frac{30.31 \times 10^3}{50} = 606.2 = 607\, sk$$

-حساب حجم الماء الازمة لتحضير الخلطة الاسمنتية :

$$V_W = 1.05 \times 23.19 \times \frac{3.15 - 1.85}{3.15 - 1} = 14.72\, m^2$$

-حساب حجم سائل الازاحة :

$$V_{fd} = \frac{\pi}{4}(0.16334^2)(1355 - 20) = 27.97m^3$$

-حساب ضغط الضخ الاعظمي:

-نحسب ضغط الجريان:

$$P_{C1} = 0.02 \times 2100 + 16 = 58 \frac{Kgf}{cm^2}$$

نحسب ارتفاع السائل الإسمنتي داخل المواسير للمرحلة الثانية

$$h_2 = (2100 - 1355) \times 0.82 = 610.9m \quad)$$

وبالتالي فإن ضغط الضخ الأعظمي هو:

$$P_1 = 0.1[1355(1.85 - 1.08) - 610.9(1.85 - 1.08)] + +58 + 5 =$$
$$P_1 = 120.29\ Kgf/cm^2$$

نلاحظ أن الجهاز من نوع من النوع AC-300 , ø=4" .ومن أجل تحديد عدد أجهزة الضخ سوف تعتمد الطريقة البيانية والتي تتطلب تعيين احداثيات النقاط على النحو الآتي:

$$A_i = \frac{\pi}{4}(0.16334^2) = 0.0209$$

$$Aa = \frac{\pi}{4}(1.15 \times 0.2159^2 - 0.1778^2) = 0.0172\ m^2$$

$$A(0,58)$$

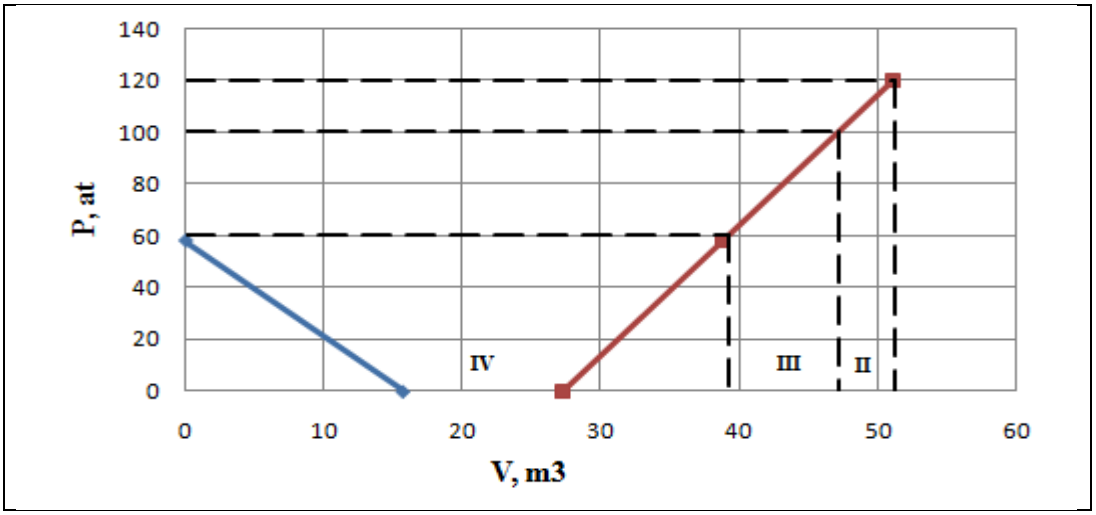
$$B(\frac{10 \times 58}{1.85 - 1.08} \times 0.0209\ ,0)$$

$$B(15.74\ ,\ 0)$$

$$C = [23.19 + (1355 - \frac{23.19}{0.0381}) \times 0.0209\ ), 58]$$

$$C(38.78\ ,\ 58)\ ,\ D(51.16\ ,\ 120.29)$$

وفي الشكل (4-2):نبين منحني تحول الضغط على جهازالضخ كتابع للحجم للمرحلةالإنتاجية الأولى(السفلى).



الشكل (4–2):نبين منخني تحول الضغط على جهازالضخ كتابع للحجم – اللمرحلةالإنتاجيةالأولى

نأخذ من المنحني (4–2): قيم حجوم السوائل التي تضخ بمختلف السرعات وهي الآتية:

$$V_{IV} = 39m^{3,}, V_{III} = 7.75m^{3,}$$

أما الحجم المضخ بالسرعة الثانية فهو:

$$V_{II} = 51.16 - (39 + 7.75) = 4.41m^3$$

إن الزمن الذي يستغرقه ضخ كل من السائل الاسمنتي وسائل الازاحة هو :

$$t_{fc} + t_{fd} = \frac{39 \times 10^3}{635} + \frac{7.75 \times 10^3}{450} + \frac{4.41 \times 10^3}{250}$$

$$t_{fc} + t_{fd} = 96.27 \text{ min}$$

$$t_c = 95.84 + 15 = 111.27\ min$$

$$\mathrm{t_{ad}} = \frac{3}{4} t_p = \frac{3}{4} \times 60 = 45\ min$$

$$\mathrm{n} = \frac{111.27}{45} + 1 = 4 \text{ أجهزة}$$

-حسابات عملية السمنتة للمرحلة الانتاجية الثانية (العليا):

-حساب حجم الخلطة الاسمنتية :

$$V_{fc} = \frac{\pi}{4}[(0.22662^2 - 0.1778^2)(2100 - 1355)]$$
$$V_{fc} = \quad 11.55\, m^3$$

-حساب كمية الإسمنت اللازمة لتحضير الخلطة الاسمنتية :

$$G_C = 1.05 \times 1.245 \times 11.55 = 15.09\, ton$$

وبالتالي فان عدد اكياس الاسمنت:

$$n_c = \frac{15.09 \times 10^3}{50} = 301.8 = 302\ \text{sk}$$

-حساب حجم الماء الازم لتحضير الخلطة الاسمنتية:

$$V_W = 1.05 \times 11.55 \times \frac{3.15 - 1.85}{3.15 - 1} = 7.33 m^3$$

-حساب حجم سائل الازاحة :

$$V_{fd} = \frac{\pi}{4} \times 0.16334^2 \times (2100 - 1355) = 15.61\, m^3$$

- حساب ضغط الضخ الاعظمي :

- نحسب ضغط الجريان :

$$P_{C2} = 0.02 \times (2100 - 1355) + 8 = 22.9\ \frac{Kgf}{cm^2}$$

وبالتالي فإن ضغط الضخ الأعظمي يساوي :

$$P_2 = 0.1(2100 - 1355)(1.85 - 1.08) + 22.9 + 5 = 85\, at$$

اعتماداً على قيمة ضغط الضخ الأعظمي يكون جهاز الضخ من نوع

AC−300 , ø=4"

−حساب عدد أجهزة الضخ :

−نحسب احداثيات النقاط التالية :

A(0 , 22.9)

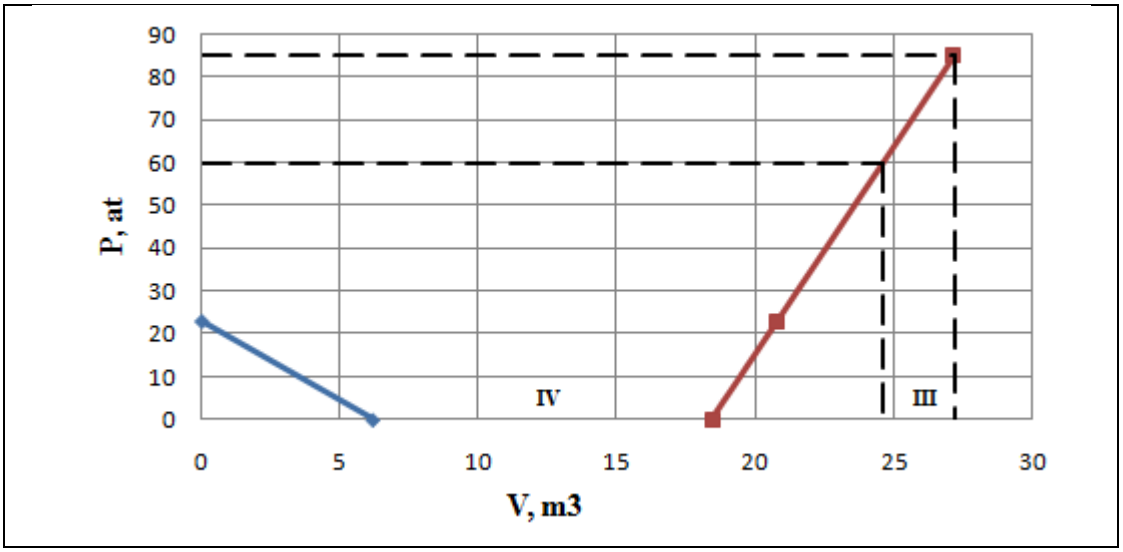
$$B = (\frac{10 \times 22.9}{1.85 - 1.08} \times 0.0209 , 0)$$

B(6.2 , 0)

$$C[11.55 + (745 - \frac{11.55}{0.0381}) \times 0.0209 , 22.9]$$

C (20.78 , 22.9), D(27.16 .85)

وفي الشكل (4−3):نبين منحني تحول الضغط على جهازالضخ) كتابع للحجم للمرحلةالإنتاجية الثانية(االعليا).



الشكل (4−3):منحني تحول الضغط على جهازالضخ كتابع للحجم−المرحلةالإنتاجية الثانية

من المنحني (4−3) نحدد حجوم السوائل المضخة عند مختلف السرعات وهي الآتية:

$$V_{IV} = 24m^{3,}\ , V_{III}\ = 27.16 - 24 = 3.16m^{3,}$$

وبالتالي فإن زمن ضخ السائل الإسمنتي وزمن ضخ سائل الإزاحة هو:

$$t_{fc} + t_{fd} = \frac{\sum Vi}{Q} = \frac{V_{IV}}{Q_4} + \frac{V_{III}}{Q_3}$$

$$t_{fc} + t_{fd} = \frac{24 \times 10^3}{635} + \frac{3.16 \times 0^3}{450}$$

$$t_{fc} + t_{fd} = 44.81\ min$$

نحسب زمن عملية السمنتة الكلي:

$$tc = 44.81 + 15 = 59.81\ min$$

$$t_{ad} = \frac{3}{4} t_p = 45\ min$$

$$n = \frac{59.55}{45} + 1 = 3$$ أجهزة

4-4-تصميم تشكيلة الحفر للبئر المقترحة:

1- تصميم تشكيلة الحفرالمرحلة السطحية :

D_{csg}=339.7mm , D_{csg}'=365mm , D_B=444.5mm, $\gamma_f = 1.08 \frac{gf}{cm^3}$

$b = 0.862, W_{OB} = 12\ \text{tf}, \text{C} = 0.75,\ \ q_c = 362\ kgf/m$

$L_{Hw} = 108\text{m}, q_{HW} = 73.4kgf/, d_{ep} = 5", q_p = 29.02\ kgf/m$

$P_C = 70\ \frac{kgf}{cm^2}$, $\text{Ap} = 34cm^2$, $A_{IP} = 92.66cm^2$

$5.25\ \text{in}, d_{ikelly} = 3.25\ ind_{ekelly} =$

-تحديد قطر أعمدة الحفر:

$$D_C = 2 \times 365 - 444.5 = 285.5mm$$

وبالتالي فإن قطر أعمدة الحفرالقياسي هو: 10 in "

نحدد طول الأعمدة:

$$L_c = \frac{12 \times 10^3}{0.75 \times 362 \times 0.862} = 51.27m$$

وبالتالي يكون عدد الأعمدة ذات الطول 9m هو :

$$\frac{51.27}{9} = 5.6 \approx 6 \text{ أعمدة}$$

وبالتالي فإن طول مواسير الحفرهو:

$$Lp = H - (Lc + L_{Hw}) = 250 - (108 + 54) = 88m:$$

-حساب الإجهادات التي تتعرض لها مجموعة مواسيرالحفرفي المرحلة السطحية:

-نحسب جهد الشد في حالة رأس الحفر فوق القاع وعند عدم وجود دوران لسائل الحفر:

$$\sigma t = \frac{(1.08 \times 88 \times 29.02 \times +54 \times 362 + 108 \times 73.4)}{34}$$

$$\sigma t = 889.21 \ \frac{kgf}{cm^2}$$

- نحسب جهدالشد حالة رأس الحفر فوق القاع مع وجود دوران سائل الحفر:

$$\sigma_{tc} = 889.2 + 70 \times \frac{92.66}{34} = 1079.98 \frac{Kgf}{cm^2}$$

-نحسب جهد الشد عند رفع مجموعةالمواسير مع دوران سائل الحفر:

$$\sigma_{tec} = 1079.98 \times 1.2 \times 1.04 \times 1.25 = 1684.76 \, Kg/cm^2$$

- نحسب جهد الفتل الذي يتعرض له قلم الحفرذي المقطع الرباعي :

نحسب الطاقة اللازمةلإدارة مجموعة مواسير الحفر:

$$N_P = 18.8 \times 10^{-5} \times 1.08(88 \times 0.127^2 + 54 \times 0.254^2 \times 108 \times 0.127^2) \times 100^{1.7}$$

$N_P = 3.$ 38 kw

نحسب الطاقة اللازمة لحت الصخور وتدوير رأس الحفر:

$$N_B = 3.2 \times 10^{-4} \times \sqrt{12}.\,(44.45)^{1.75} \times 100$$

$$N_B = 84.82\ kw$$

وبالتالي فإن الجهد الذي يتعرض له قلم الحفر ذي المقطع الرباعي

$$\tau_{kelly} = \frac{18(3.38 + 84.82) \times 10^3}{3.14 \times 100(1 - 0.7(\frac{82.55}{133.35})^4(0.066675)^3}$$

$$\tau_{kelly} = 19\ Mpa$$

نحسب الجهد المكافىء:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(168.476)^2 + 4(19)^2}$$

$$\sigma_{eq} = 172.71 \text{ Mpa}$$

وبالتالي فإنه يجب أن نستخدم مواسيرذات نهاية حدية للانسياب(مقاومة خضوع صغرى)

مقدارها $\sigma_c = 1.5 \times 172.68 = 259.06$ Mpa

نجد أن المواسيرالتي يجب استخدامهاهي من النوع E−75

تحديد العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسير الحفرللمرحلة السطحية:

نحسب جهد الفتل الأعظمي:

$$\tau_{max} = \frac{30(3.38 + 84.82) \times 10^3}{3.14 \times 100.\times 186988 \times 10^{-9}} = 45\text{MPa}$$

نحسب وزن أعمدة الحفر ووزن مواسير الحفرالمثقلة :

$$W_{DC} + W_{HW} = L_C \times q_c + L_{HE} q_{hw}$$

$$W_{DC} + W_{HW} = (54 \times 362 + 108 \times 73.4) = 27.48 \text{ tf}$$

نحسب العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسيرالحفرللمرحلة السطحية:

$$L_P = \sqrt{\frac{[(\frac{517}{1.5})^2 - 4 \times 45^2] \times 10^{12}}{[(7.85 - 1.08)^2] \times 10^8}} - \frac{(27.48 \times 10^3)}{29.02}$$

$$L_P = 4914 - 947 = 3967\, m$$

2-تصميم تشكيلة الحفرالمرحلة الوسطية:

D_{csg}=244.5mm, D_{csg}'=269.9mm ,D_B=311.2mm,

$$P_C = 120 \frac{Kgf}{cm^2} \quad W_{OB} = 18 \text{ tf}, \quad q_c = 286.4 kgf/m$$

نحسب قطر الاعمدة :

Dc =2×269.9−311.2=228.6mm

من الجدول نجد أن القطر القياسي للأعمدة 9 in

نحسب طول أعمدة الحفر:

$$Lc = \frac{18000}{0.75 \times 286.4 \times 0.862} = 97.21m$$

وبالتالي يكون عدد الاعمدة ذات الطول 9m:

$$\frac{97.21}{9} = 10.8 = 11 \text{عمود}$$

فيكون طول مواسير الحفر:

$$Lp = H - (Lc + L_{Hw}) = 1100 - (108 + 99) = 893m$$

-تحديدالاجهادات التي تتعرض مجموعة مواسيرالحفرفي المرحلة الوسطية:

نحسب جهد الشد في حالة رأس الحفر فوق القاع وعند عدم وجود دوران لسائل الحفر العلاقة:

$$\sigma t = \frac{(1.08 \times 893 \times 29.02 + 99 \times 286.4 + 108 \times 73.4)}{34}$$

$$\sigma t = 1890 \frac{Kgf}{cm^2}$$

- نحسب جهدالشد حالة رأس الحفر فوق القاع مع وجود دوران سائل الحفر:

$$\sigma_{tc} = 1890 + 110 \frac{92.66}{34} = 2189.78 \frac{kgf}{cm}$$

-نحسب جهد الشد عند رفع مجموعةالمواسير مع دوران سائل الحفر:

$$\sigma_{tec} = 2189.78 \times 1.2 \times 1.04 \times 1.25 = 3416 \frac{Kgf}{cm^2}$$

-نحسب الطاقة اللازمةلإدارة مجموعة مواسير الحفر:

$$Np = 18.8 \times 10^3 \times 1.08 \times (893 \times 0.127^2 + 99 \times 0.2286^2 + 108 \times 0.127^2) \times 120^{1.7}$$

$$Np = 14.82\ kw$$

- نحسب الطاقة اللازمة لحت الصخور وتدوير رأس الحفر:

$$N_B = 3.2 \times 10^{-4} \times \sqrt{18} \times 31.12^{1.75} \times 120$$

$$N_B = 66.8\ kw$$

وبالتالي فإن الجهد الذي يتعرض له قلم الحفر ذي المقطع الرباعي :

$$\tau_{kelly} = \frac{18(14.82 + 66.8) \times 10^3}{\pi \times 120(1 - 0.7(\frac{82.55}{133.55})^4)0.066675^3} =$$

$$\tau_{kelly} = 14.65\ Mpa$$

- نحسب الجهد المكافىء:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{341.6^2 + 4(14.65)^2}$$
$$\sigma_{eq} = 342.85\ Mpa$$

وبالتالي فإنه يجب أن نستخدم مواسيرذات نهاية حدية للانسياب(مقاومة خضوع صغرى)

$\sigma_c = 1.5 \times 342.85 = 514.27 Mpa$

نجد أن المواسيرالتي يجب استخدامهاهي من النوع E−75

- **تحديد العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسير الحفرللمرحلة الوسطية:**

نحسب جهد الفتل الأعظمي:

$$\tau_{max} = \frac{30(14.82 + 66.8) \times 10^3}{3.14 \times 120.\times 186988 \times 10^{-9}} = 34.75\text{MPa}$$

نحسب وزن أعمدة الحفر ووزن مواسير الحفرالمثقلة :

$$W_{DC} + W_{HW} = L_C \times q_c + L_{HE} q_{hw}$$
$$W_{DC} + W_{HW} = (99 \times 286.4 + 108 \times 73.4) = 36.3\ \text{tf}$$

نحسب العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسيرالحفرللمرحلة السطحية:

$$L_P = \sqrt{\frac{[(\frac{517}{1.5})^2 - 4 \times 34.75^2] \times 10^{12}}{[(7.85 - 1.08)^2] \times 10^8}} - \frac{(36.3 \times 10^3)}{29.02}$$

$$L_P = 4987 - 1251 = 3736\ m$$

3-تصميم تشكيلة الحفر للمرحلة الانتاجية:

-تحديد قطر أعمدة الحفر للمرحلة الانتاجية:

Dcsg=177.8mm ,Dcsg'=194.5mm ,DB=215.9mm

$$P_C = 90\frac{Kgf}{cm^2} \quad W_{OB} = 18\ \text{tf}, \quad q_c = 143.2\ kgf/m$$

نحسب قطر أعمدة الحفر :

Dc= =2×194.5×−215.9=173.1mm

من الجدول نجد أن القطر القياسي للأعمدة 6 1/2 in:

وبالتالي فإن طول أعمدة الحفر:

$$L_C = \frac{18000}{0.75 \times 143.2 \times 0.862} = 194.42m$$

وبالتالي يكون عدد الأعمدة ذات الطول9m:

$$\frac{194.42}{9} = 21.6 \approx 22\text{عمود}$$

$$Lp = H - (Lc + L_{Hw}) = 2100 - (198 + 108):$$

$$Lp = 1794m$$

-حساب الاجهادات التي تتعرض لها مجموعة مواسير الحفر :

جهد الشد: نحسب جهد الشد في حالة رأس الحفر فوق القاع وعند عدم وجود دوران لسائل الحفر:

$$\sigma_t = \frac{1.08 \times 1794 \times 29.02 + 198 \times 143.2 + 108 \times 73.4}{34}$$

$$\sigma_t = 2720.8 \frac{kgf}{m}$$

نحسب جهدالشد حالة رأس الحفر فوق القاع مع وجود دوران سائل الحفر:

$$\sigma_{tc} = 2720.8 + 90 \times \frac{92.66}{34} = 2966 \frac{kg}{cm^2}$$

–نحسب جهد الشد هند رفع مجموعةالمواسير مع دوران سائل الحفر:

$$\sigma_{tec} = 2966 \times 1.2 \times 1.04 \times 1.25 = 4627 \quad \frac{\text{Kgf}}{cm^2}$$

نحسب الطاقة اللازمةلإدارة مجموعة مواسير الحفر:

$$Np = 18.8 \times 10^3 \times 1.08 \times (1794 \times 0.127^2 + 198 \times 0.1651^2 + 108 \times 0.127^2) \times 90^{1.7}$$

$$Np = 15.38\ kw$$

نحسب الطاقة اللازمة لحت الصخور وتدوير رأس الحفر:

$$N_B = 3.2 \times 10^{-4} \times \sqrt{18} \times 21.59^{1.75} \times 90$$

$$N_B = 26.42\text{kw}$$

بالتالي فإن الجهد الذي يتعرض له قلم الحفر ذي المقطع الرباعي:

$$\tau_{kelly} = \frac{18(15.38 + 26.42) \times 10^3}{\pi \times 90(1 - 0.7\left(\frac{82.55}{133.35}\right)^4)(0.066675)^3}$$

$$\tau_{kelly} = 10.\ Mpa$$

نحسب الجهد المكافىء:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{462.7^2 + 4 \times 10^2} = 463.13 Mpa$$

وبالتالي فإنه يجب أن نستخدم مواسيرذات نهاية حدية للانسياب(مقاومة خضوع صغرى)

$$\sigma_c = 1.5 \times 463.13 = 694.69\ Mpa$$

نجد أن المواسيرالتي يجب استخدامهاهي من النوع G−105

- **تحديد العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسير الحفرللمرحلة االإنتاجية:**

نحسب جهد الفتل الأعظمي:

$$\tau_{max} = \frac{30(15.38 + 26.42) \times 10^3}{3.14 \times 90. \times 186988 \times 10^{-9}} = 23.73\text{MPa}$$

نحسب وزن أعمدة الحفر ووزن مواسير الحفرالمثقلة :

$$W_{DC} + W_{HW} = L_C \times q_c + L_{HE} q_{hw}$$

$$W_{DC} + W_{HW} = (198 \times 143.2 + 108 \times 73.4) = 36.3\text{ tf}$$

نحسب العمق الذي يمكن أن تستخدم عنده مواسيرالحفرللمرحلة الإنتاجية:

$$L_P = \sqrt{\frac{[(\frac{725}{1.5})^2 - 4 \times (23.73)^2] \times 10^{12}}{[(7.85 - 1.08)^2] \times 10^8}} - \frac{(36.3 \times 10^3)}{29.02}$$

$$L_P = 7105 - 1251 = 5854m$$

وفي الجدول (4−6):نبين نتائج تصميم تشكيلة الحفر للبئر المقترحة:

الجدول (4−6):نتائج تصميم تشكيلة الحفر للبئر المقترحة

المرحلة	قطر أعمدة الحفر In	طوأعمدة الحفر M	قطر مواسير الحفر المثقلة In	طول مواسير الحفرالمثقلة m	قطر مواسير الحفر in	عمق إنزال مواسير الحفر m
السطحية	10	54	5	108	5	7396
الوسطية	9	99		108		3736
الإنتاجية	6 ½	198		108		5854

الفصل الخامس

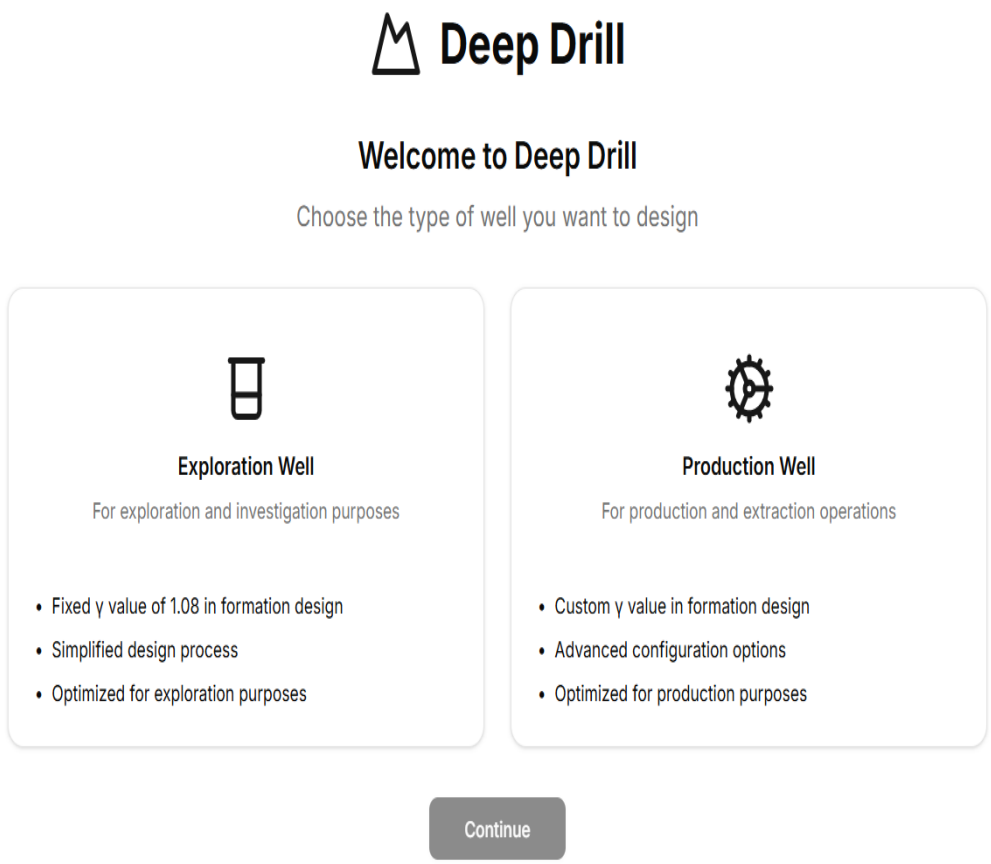
تصميم بئر استكشافي باستخدام برنامجDeep Drill

برنامج **Deep Drill**

قمنا بتصميم برنامج وموقع الكتروني من خلال التعامل مع خوارزميات الذكاء الصنعي ومن خلال خصائص تطوير المواقع لتسهيل الحسابات التي قد تستغرق أسابيع واختزالها الى عدة دقائق

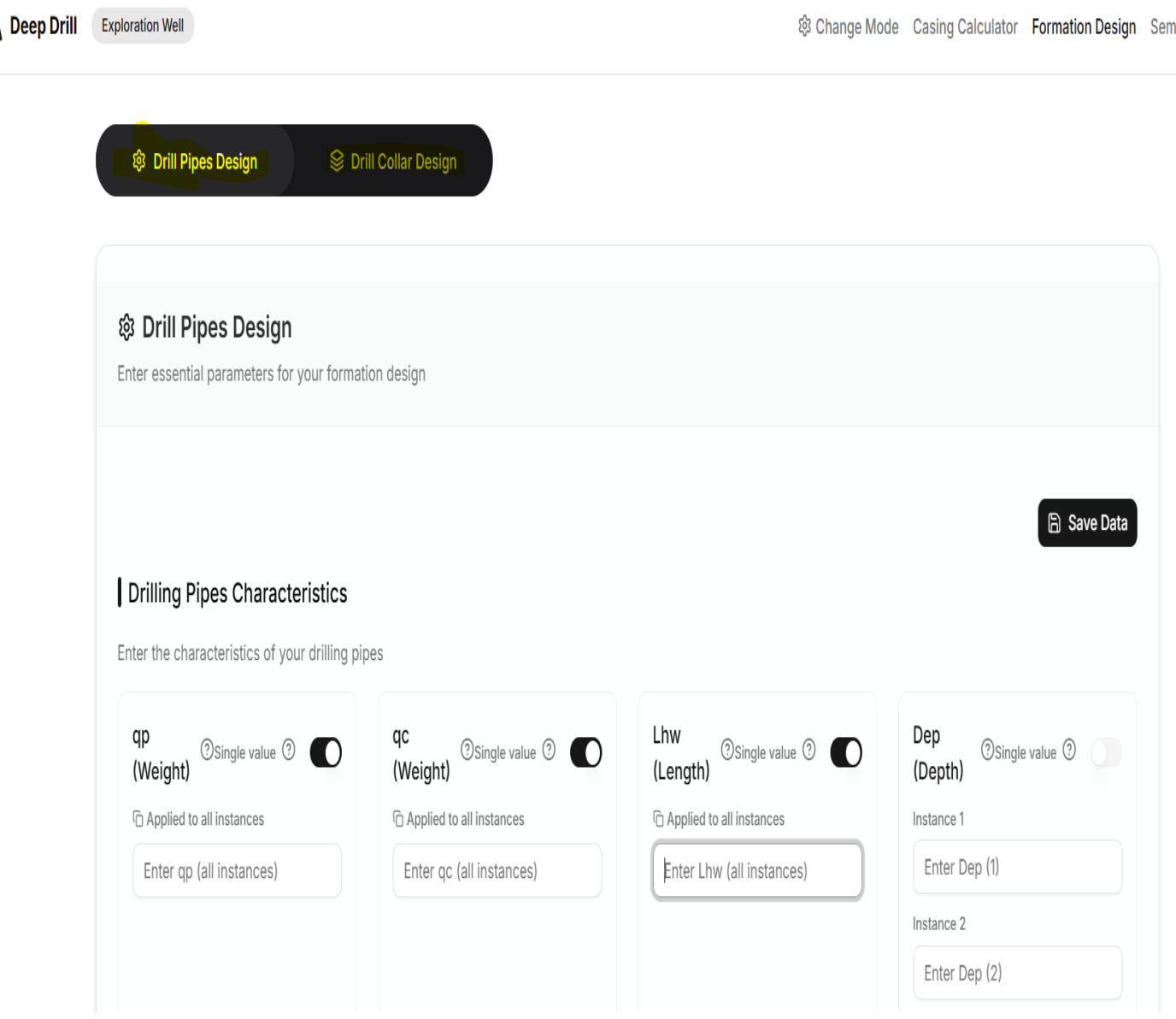
5-1 واجهة المستخدم **User interface**:

من خلال واجهة الموقع يتم اختيار نوع البئر اما استكشافي او انتاجي



5-2-واجهة ادخال البيانات Data Input Interface:

- نستطيع من هذه الواجهة الانتقال من تصميم برنامج الى التغليف الى حسابات الاسمنتية وايضا الى حسابات تشكيلة الحفر



- **في هذه الواجهة يتم ادخال المعطيات المتعلقة بحسابات تشكيلة الحفر من مواسير واعمدة الحفر**
-

مثال :

الحمل على راس الحفر **WOB**

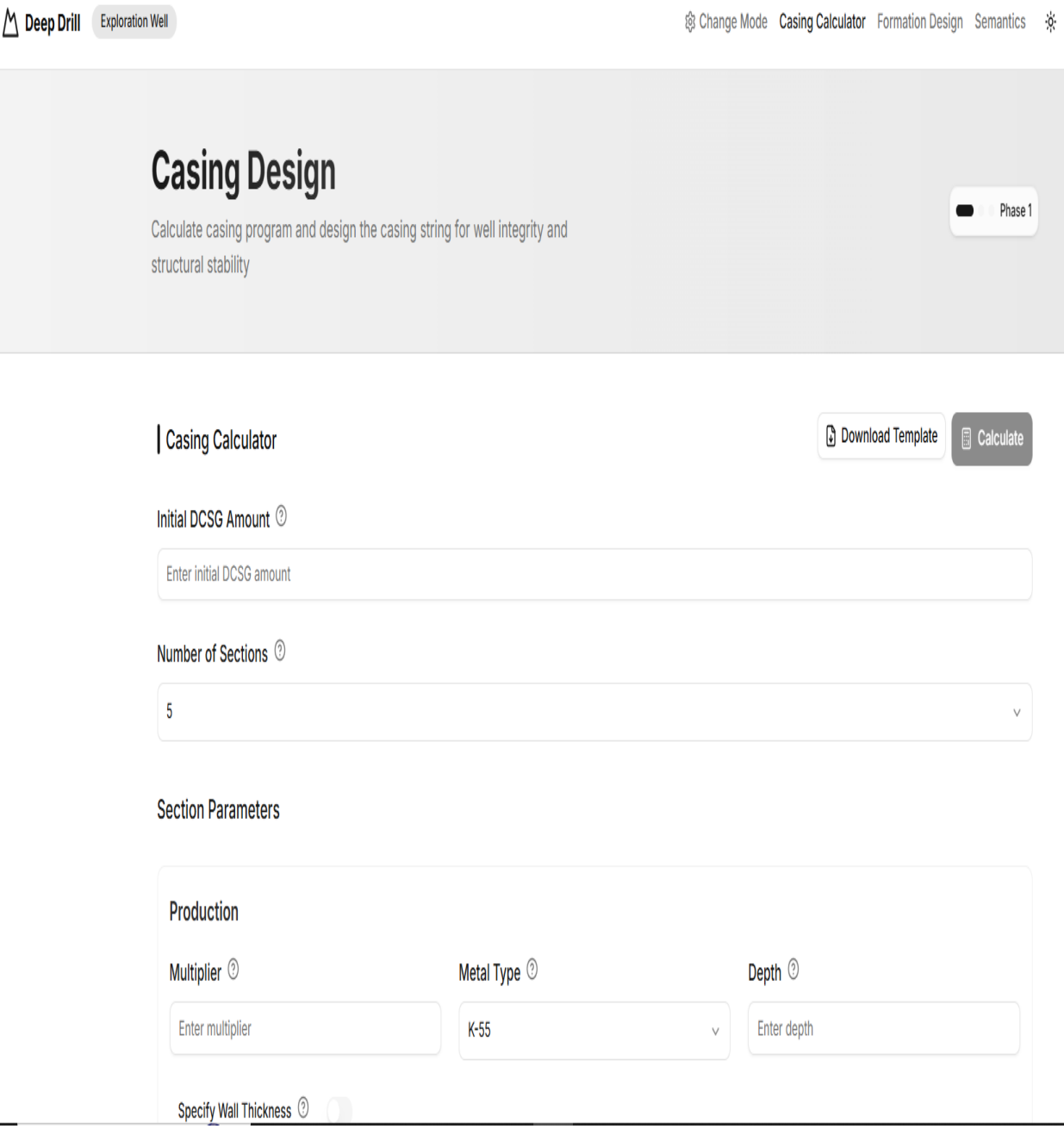
نسبة التحميل **C**

طول مواسير الحفر المثقلة **Lhw**

- يمكن الضغط على خيار **Single value** في حال كان القيمة نفسها لجميع المراحل في البئر
- بعد الضغط على زر **Calculate** يظهر لدينا الذي الحسابات التصميمة لمواسير الحفر
- يظهر لدينا نوع المعدن المستخدم والعمق الذي يمكن ان نستخدم عنده هذه المواسير
- يظهر لدينا اقطار الأعمدة وعدد الاعمدة ذات الطول 9 m في كل مرحلة

-

1) حسابات التغليف Casing Calculator :



- في هذه الواجهة يتم ادخال القيم الخاصة بحسابات مواسير التغليف
- نبدأ بإدخال قطر الخارجي لمواسير التغليف **Dcsg** الإنتاجية عند الجسم
- ثم نقوم بإدخال المعاملات الجيولوجية في خانة **Multiplier**
- نقوم بإدخال عمق كل مرحلة **Depth**
- ونقوم بإدخال نوع المعدن **Metal Type** المرد انزاله من اجل عملية تصميم مواسير التغليف
- بالإمكان تفعيل خيار **Wall Thickness** لاختيار سماكة الجدار المتوافرة بالحقل من اجل عملية تصميم مواسير التغليف
- وأيضا في خانة **Number of Sections** (عدد المراحل) يتم اختيار عدد المراحل (3 – 5) مراحل
- بالضغط على خيار **Calculate** يظهر لدينا الجداول التالية التي تبين حساب برنامج التغليف وحساب تصميم مواسير التغليف

في الجدول المبين بالشكل التالي يظهر لدينا اقطار رؤوس الحفر واقطار الخارجية لمواسير التغليف عند الجسم وعند الرأس وابضا الأقطار الداخلية وذلك لكل مرحلة :

❖ برنامج التغليف واجهة النتائج Casing Program

Casing Results

Edit Inputs | Download | Calcula

Section	Nearest Bit Size	DCSG	DCSG'	Internal Diameter
Surface	444.5 mm (444.5 mm (17 1/2"))	339.7 mm (339.7 mm (13 3/8"))	365 mm (365 mm (14 3/8"))	320.40
Intermediate	311.2 mm (311.2 mm (12 1/4"))	244.5 mm (244.5 mm (9 5/8"))	269.9 mm (269.9 mm (10 5/8"))	222.40
Production	215.9 mm (215.9 mm (8 1/2"))	177.8 mm (177.8 mm (6"))	194.5 mm (194.5 mm (7 11/16"))	-

بالضغط على خيار **Edit inputs** يمكن تغيير القيم المدخلة
خيار **Download** يسمح بتنزيل الملف المستخدم في البرنامج وتحديث القيم عليه في حال حدوث أي تعديل

❖ **الحسابات التصميمة لمواسير التغليف واجهة النتائج**

في هذا الجدول المبين بالصورة يظهر لدينا واصفات مواسير التغليف من نوع المعدن ووزن واحدة الطول وطول مقطع وعمق الانزال وذلك لكل مرحلة

يمكن الانتقال من مرحلة الى أخرى من خلال لضغط على المرحلة المراد اظهار نتائجها

Hydraulics Analysis

Detailed hydraulics data

Show Debug Info

Production Section | Intermediate Section | Surface Section

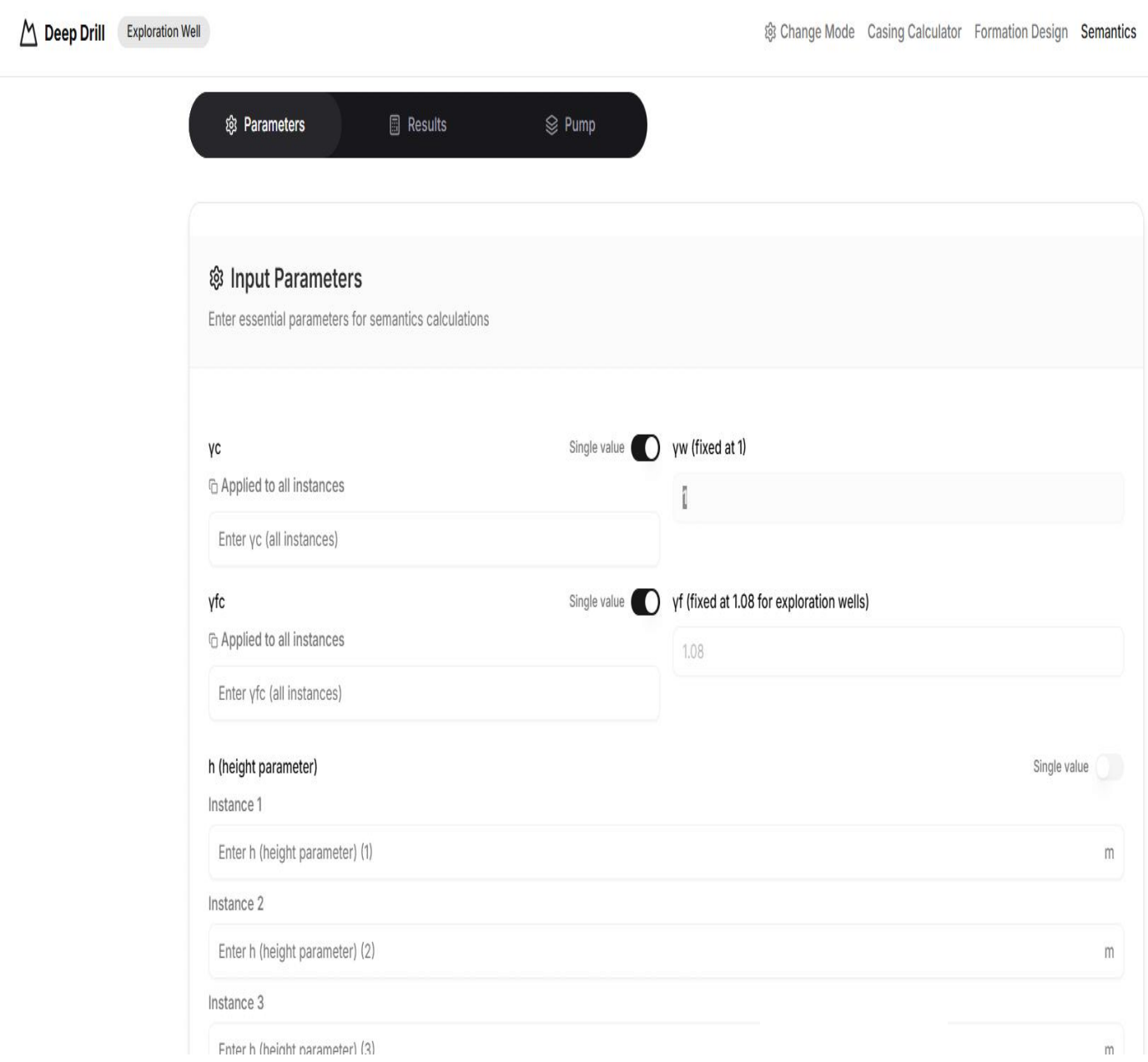
At Head: 194.5

Row	HAD	External Pressure (MPa)	Internal Diameter (mm)	Metal Type	Tensile Strength (MPa)	Unit Weight (kg/m)	Lvalue (m)	y value	z value	Condition Check
3	1384.48	15.70	164.00	K-55	141.00	20.00	1204.87	-	-	-
2	1984.13	22.50	161.70	K-55	163.00	23.00	742.34	0.87	0.22	0.9999966539208266 Valid
1	2100.00	29.80	159.40	K-55	185.00	26.00	152.78	0.98	0.04	1.0000443519363782 Valid

- هذا الجدول يبين حساب تصميم مواسير التغليف للبئر المدروسة
- يمكن اظهار الحسابات التصميمة لمرحلة أخرى من خلال الضغط على المرحلة في القائمة أعلاه

❖ **حسابات عملية السمنتة :**

- يتم ادخال الوزن النوعي لمسحوق الاسمنت في خانة Yc
- يتم ادخال الوزن النوعي للسائل الاسمنتي في خانة Yfc
- يتم ادخال ارتفاع حلقة الصد في خانة h



- يتم ادخال العوامل التي تأخذ بعين الاعتبار تزايد قطر البئر في خانة **K**
- يتم ادخال الزمن اللازم لانزال الفاصل الاسمنتي الثاني في خانة **td**
- يمكن اختيار **Single Value** اذا كانت القيمة نفسها في جميع المراحل

بالضغط على زر **Calculate** تظهر لدينا الحسابات على الشكل التالي

NewGcc/Gc' Calculation Results

View cement grade calculation parameters

Instance	Vcf	NewGcc	Gc' (Gc prime)	nc (sacks)	Vw	Vfd	Pymax	Pc	Pfr	Ppmax
3	26.3146	1.2454	34.4108	688	15.91	17.74	16.94	13.00	5.00	3.49 MPa/10

3-5- نتائج حسابات برنامج Deep Drill :

سوف نستعرض الان نتائج الحسابات العملية للبئر الاستكشافية التي قام بها البرنامج

1. برنامج التغليف :

Casing Results

Edit Inputs | Download | Calculate | X Clear

Section	Nearest Bit Size	DCSG	DCSG'	Internal Diameter	Dim
Surface	444.5 mm (444.5 mm (17 1/2"))	339.7 mm (339.7 mm (13 3/8"))	365 mm (365 mm (14 3/8"))	320.40	345.70 (Di)
Intermediate	311.2 mm (311.2 mm (12 1/4"))	244.5 mm (244.5 mm (9 5/8"))	269.9 mm (269.9 mm (10 5/8"))	222.40	252.02 (Di)
Production	215.9 mm (215.9 mm (8 1/2"))	177.8 mm (177.8 mm (6"))	194.5 mm (194.5 mm (7 11/16"))	-	162.85

2. الحسابات التصميمة لتشكيلة الحفر :

Calculate and analyze drill collar specifications based on well parameters

Drill Collar Results

Download | Debug Data | Calculate | X Clear

Section	At Head	Bit Size	Drill Collar	Number of Columns
Surface	365 mm (14 3/8")	444.5 mm (17 1/2")	254 mm (10")	6
Intermediate	269.9 mm (10 5/8")	311.2 mm (12 1/4")	228.6 mm (9")	11
Production	194.5 mm (7 11/16")	215.9 mm (8 1/2")	165.1 mm (6 1/2")	22

3.الحسابات التصميمة لمواسير التغليف :

سطحية

Hydraulics Analysis

Detailed hydraulics data

Surface Section | Intermediate Section | Production Section

At Head: 365

Row	HAD	External Pressure (MPa)	Internal Diameter (mm)	Metal Type	Tensile Strength (MPa)	Unit Weight (kg/m)	Wall Thickness (mm)	Lvalue (m)
1	250.00	7.80	320.40	K-55	380.00	54.50	9.65 mm	250.00

وسطية

Hydraulics Analysis

Detailed hydraulics data

Surface Section | Intermediate Section | Production Section

At Head: 269.9

Row	HAD	External Pressure (MPa)	Internal Diameter (mm)	Metal Type	Tensile Strength (MPa)	Unit Weight (kg/m)	Wall Thickness (mm)	Lvalue (m)
1	1100.00	14.00	226.60	K-55	251.00	36.00	8.94 mm	1100.00

إنتاجية

Hydraulics Analysis

Detailed hydraulics data

Surface Section | Intermediate Section | Production Section

At Head: 194.5

Row	HAD	External Pressure (MPa)	Internal Diameter (mm)	Metal Type	Tensile Strength (MPa)	Unit Weight (kg/m)	Wall Thickness (mm)	Lvalue (m)
3	1384.48	15.70	164.00	K-55	141.00	20.00	6.91 mm	1204.87
2	1984.13	22.50	161.70	K-55	163.00	23.00	8.05 mm	742.34
1	2100.00	29.80	159.40	K-55	185.00	26.00	9.19 mm	152.78

4.حسابات عملية السمنتة :

NewGcc/Gc' Calculation Results

View cement grade calculation parameters

Instance	Vcf	NewGcc	Gc' (Gc prime)	nc (sacks)	Vw	Vfd	Pymax	Pc	Pfr	Ppmax
3	26.3146	1.2454	34.4108	688	19.09	17.74	16.94	13.00	5.00	3.49 MPa

Surface

Compare: AC-300 Speed 4

Recommended **AC-300** (Speed: 4)

Diameter 4"	Speed 4	Pressure 6 MPa	Flow 635 L/min
Cement Fill Time 34.69 min	Displacement Time 34.69 min	Total Time 79.37 min	Required Pressure 3.49 MPa/10
tfc+tfd 69.37 min	Additional Time (td) 10.00 min	tc = tfc+tfd + td 79.37 min	
Constant Time (tp) 60.00 min	Additional Time (tad) 45.00 min		

4-5 النتائج

من خلال تقصي نتائج حسابات البرنامج والحسابات اليدوية وجدنا ما يلي:

- النتائج كانت دقيقة مئة بالمئة وفي بعض الحالات كان البرنامج يعطينا نتائج ادق
- الوقت الزمني المستغرق في حسابات البرنامج لا يتجاوز ال 5 دقائق بينما زاد الوقت المستغرق في الحسابات اليدوية عن أسبوع
- مرونة البرنامج في تغيير بعض المعطيات لنقوم بحسابات جديدة كانت مميزة في حين انه في الحسابات اليدوية علينا ان نقوم بعملية الحساب من جديد
- نتيجة لاستخدام بعض خوارزميات الذكاء الصنعي الذي اعطى البرنامج المزيد من المرونة في الحسابات وملاحقة الأخطاء الناتجة عن الحسابات وتعديلها

5-5- مقترحات مستقبلية لتطوير البرنامج

- يحتاج البرنامج إلى الكثير من حسابات تصميم البئر, بحيث تتوفر المدخلات والنتائج لإجراء معايرة للبرنامج في شروط مختلفة.
- إضافة مخططات بيانية لتصميم البئر تبين الشكل الهندسي لبنية البئر مزودة برسوم بيانية وجداول حسابية.
- كتابة النتائج على شكل تقرير منسق, ومرفق معه مخططات بيانية, حيث يمكن حفظه كملف pdf

المراجع

- **باللغة العربية :**

1- نصور. طاهر , هندسة الحفر-2 منشورات جامعة البعث 1993-1992.

2- خضور, محمد , فرج . يوسف , هندسةالحفر- 1 القسم العملي .

3- فرج , يوسف 2012. نحسين جودة سمنتة وعازلية الآبارباستخدام خلطات اسمنتية مخففة ومتوسعة خلف مواسيرالتغليف .أطروحة دكتوراه , جامعة البعث ,كلية الهندسة الكيميائية والبترولية .

-باللغة الإنكليزية :

4-H.R.,**well engineering and construction** ,2000