**الجمهورية العربية السورية**

الجامعة السورية الخاصة

كلية هندسة البترول

# عنوان المشروع

# (( التصميم الهيدروليكي لرؤوس الحفر ذات التروس المخروطية ))

دراسة أعدت لنيل إجازة في الهندسة البترولية

**إعداد**

**علاء الدين محمد نبيل سرور عبد المنعم سلامة الفندي**

**إشراف**

**الدكتور المهندس**

**عدنان إبراهيم البارودي**

العام الدراسي

2018-2017

# الإهداء

- إلى من كلله الله بالهيبة والوقار . . إلى الذي علمني العطاء دون انتظار . . إلى من احمل اسمه بكل افتخار . . أرجو من الله ان يمد في عمرك لترى ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار . . وستبقى كلماتك نجوم اهتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد .

**والدي العزيز**

- إلى ملاكي في الحياة . . . إلى معنى الحب ومعنى الحنان التفاني إلى بصمة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب .

**والدتي الحبيبة**

- إلى من أرى التفاؤل والسعادة في ضحكتهم .

**إخوتي**

- إلى رفاق دربي في هذه الحياة يا من تطلعتم لنجاحي بنظرات الأمل .

وإلى من كانوا معي على طريق النجاح

**أصدقائي**

كن عالماً .. فإن لم تستطع كن متعلماً فإن لم تستطع فإحب العلماء فإن لم تستطع فلا تبغضهم.

بعد رحلة بحث وجهد واجتهاد تكللت بإنجاز هذا البحث نتقدم بأجمل مشاعر الحب والاحترام والعرفان بالجميل لكل من ساهم في انجاز هذا العمل ونخص بأسمى عبارات الشكر والتقدير عميد كلية الهندسة البترولية الاستاذ الدكتور ادمون سلوم و الدكتور المهندس عدنان البارودي الذي تفضل بالإشراف وتقديم كل عون في سبيل انجاز هذا المشروع.

ونشكر جميع أعضاء الهيئة التدريسية والإدارية في كلية هندسة البترول في الجامعة السورية الخاصة.

أسرة المشروع

# مُقدّمة

يعرف سائل الحفر بأنه المائع الذي يساعد المعدات في حفر الآبار، ويستخدم لهذه الغاية منذ زمن بعيد، وحتى قبل اكتشاف الصناعة النفطية.

ويعتبر الماء من أقدم سوائل الحفر المعروفة، ولا يزال يستخدم حتى يومنا هذا كمكون أساسي لمعظم أنواع سوائل الحفر المعروفة حتى الآن.

إن أقدم تأريخ لحفر الآبار يعود للقرن الثالث قبل الميلاد، حيث حفر المصريين القدماء آبار وصل عمقها إلى عشرين قدما، وفي الصين (1122–250ق.م) تم حفر الآبار لاستخراج الماء المالح، كما وجدت آبار يصل عمقها إلى مئات الأقدام في صحراء التيبت حيث استخدمت كوسيلة لذلك أداة حفر معلقة بحبل لترفع ويتم إسقاطها بشكل حر في الحفرة، وكان الماء يصب في الحفرة لتسهيل عملية اقتلاع أو تحطم الصخور وتتم إزالة النواتج على شكل طمي أو معجون بواسطة أواني متنوعة الأشكال تطورت لتصبح أداة أنبوبية مزودة بصمام من الأسفل.

كان الهدف الرئيس لحفر الآبار يقتصر على تأمين مياه الشرب والغسيل والمياه المالحة، واكتشف النفط بشكل عرضي لدى تكرار ظهوره كمادة غريبة ملوثة ضمن المياه في بعض الآبار المستخدمة للشرب.

ولم ينتشر حفر الآبار من أجل النفط إلا في مطلع القرن التاسع عشر، حيث تم حفر أول بئر نفطي في تكساس عام 1901م في أول حقل نفطي (Spindle top)..

وفي عام 1833م أدرك المهندس الفرنسي (Fau Villie) إن تبديل الماء بشكل مستمر من الحفرة يحسن من فعالية أداة القطع ويقلل من الفترة اللازمة لإنجاز حفرة البئر، ولكنه لم يدرك أنذاك بأنه وضع الأساس لما يسمى *"علم سوائل الحفر (Fluids Drilling)"*..

وفي عام 1866م حصل الباحث الأمريكي سويني (Sweeney) على براءة اختراع في مجال حفر الصخور والتي تضمنت الكثير من خصائص الحفارات الدورانية الحديثة مثل الرأس الدوار والمحرك و الدقاق الدوار في نهاية المواسير، وفي الفترة (1860–1880م) ظهرت مجموعة

اختراعات في الولايات المتحدة الأمريكية حول تدوير سائل الحفر في حفرة البئر للمساعدة في ترطيب الصخر وتسهيل حفره وإزالة نواتج الحفر الصخرية.

ومن خلال الملاحظات العملية تبين للحفارين أن مصادفتهم أثناء الحفر لطبقة غضارية أو تداخلات من الشيل والغضار والمارن يؤدي لازدياد ملحوظ في سرعة تعميق البئر حتى بعد عبور هذه التشكيلات ويستمر لفترة طويلة.

وقد كان الأمريكي (Chapman) أول من أشار وبشكل موثق عام 1887م إلى أن إضافة مادة طينية إلى ماء الحفر مع النخالة والإسمنت يساعد على تشكيل قشرة واقية على جدران البئر تؤدي وظيفة حمايتها من التهدم مكتشفا بذلك وظيفة أخرى هامة لسائل الحفر.

انتشرت طريقة الحفر الدوراني (Rotary Drilling) في مطلع القرن التاسع عشر الذي تشبه آلية تحطيم الصخور فيها بطريقة خرق قطعة خشب بالمثقب الكهربائي اليدوي، ولكن بدلا من ثقب بضعة سنتمترات في قطعة الخشب فإن آبار النفط يمكن أن يصل عمقها لآلاف الأمتار ضمن التشكيلات الصخرية المكونة للقشرة الأرضية، وقد رافق تطور هذه التقنية ظهور طريقة لتدوير سائل الحفر في حفرة البئر والتي بدورها ساهمت في تطور متسارع لعلم سوائل الحفر، وقد قادت حوادث اندفاع الغاز في آبار ولاية اوكلاهوما الأمريكية وخطورتها إلى اكتشاف أهمية الطين المثقل عام 1933م للتحكم بضغط البئر والسيطرة على الاندفاعات الطبقية، وتم اكتشاف أهمية إضافة مسحوق مادة البارايت عام 1922م إلى أن أنتجته شركة (Baroid ) مع الغضار البنتونيتي بشكل تجاري لتحضير وتثقيل سائل الحفر.

في عام 1930م أنتجت أول مادة مرققة لسائل الحفر تحت الاسم التجاري (Stability) والذي هو عبارة عن خلاصة لحاء شجر الكستناء مع ألومينات الصوديوم فمكنت هذه المواد الحفارين من تخفيض لزوجة سائل الحفر دون تقليل كثافته.

وهكذا تتابعت الاكتشافات السريعة لمعدات وتقانات الحفر حتى ما بين عامي (1922-1923م) حيث استخدمت طريق حفر جديدة ألا وهي" **الحفر التوربيني**" حيث اعتمدت على محركات مغمورة توضع بشكل مباشر فوق رأس الحفر وتعتمد على سائل الحفر في نقل الطاقة الهيدروليكية لتشغيلها، كما تم اكتشاف تقنيات حديثة تتبع لطريقة الحفر الدوراني لتلائم ظروف وشروط البئر المطلوبة نذكر منها تقنية الحفر الموجه والأفقي الذي استخدم في الاتحاد السوفيتي منذ عام 1952م وتطورت تقانات هذه التقنية بشكل سريع لإنتاج الثروات البترولية في الرف القاري

لبحار العالم، وفي عام 1992م ظهرت طريقة الحفر الدوراني بشروط تحت التوازن (Underbalanced Drilling) والتي تنسب تسميتها إلى العلاقة بين ضغط قاع البئر والضغط الطبقي أثناء الحفر، ورافق ظهور هذه الطريقة تطور أنواع مختلفة وجديدة لسوائل الحفر المخففة وأساليب متنوعة لتخفيض كثافتها.

ومع تطور أنواع سوائل الحفر المتسارع وتزايد المتطلبات المرجوة منه وبشكل مواز تطورت معدات تحضيره وطرق اختباراته وقياس خواصه حقليا ومخبريا، وجرى تعميمها من خلال مجموعة من المجلات النفطية المتخصصة والتي بدأت بالظهور منذ عام 1930م (مجلة النفط والغاز– مجلة مهندس البترول...)، وعممت أيضا نشرات المعهد الأمريكي للبترول (API) والمعهد الأمريكي للمناجم والتعدين ومهندسي البترول (AIME)، وفي عام 1933م انعقد المؤتمر الأول للبترول والذي نوقشت فيه خمسة مواضيع متخصصة في علم سوائل الحفر، وأصبح سائل الحفر يحضر بشكل مسبق من الماء والغضار في خزانات خاصة على السطح ويضخ في البئر، أو يحضر في قاعدة خاصة (Mud Station) وينقل في صهاريج إلى موقع وحدة الحفر ليتم تفريغه في تنكات وحدة الحفر ومن ثم تضاف إليه أثناء الحفر ما يلزم من مواد كيميائية وغيرها لضبط مواصفاته بحيث يلبي جميع المتطلبات والوظائف المطلوبة منه.

# الفصل الأول

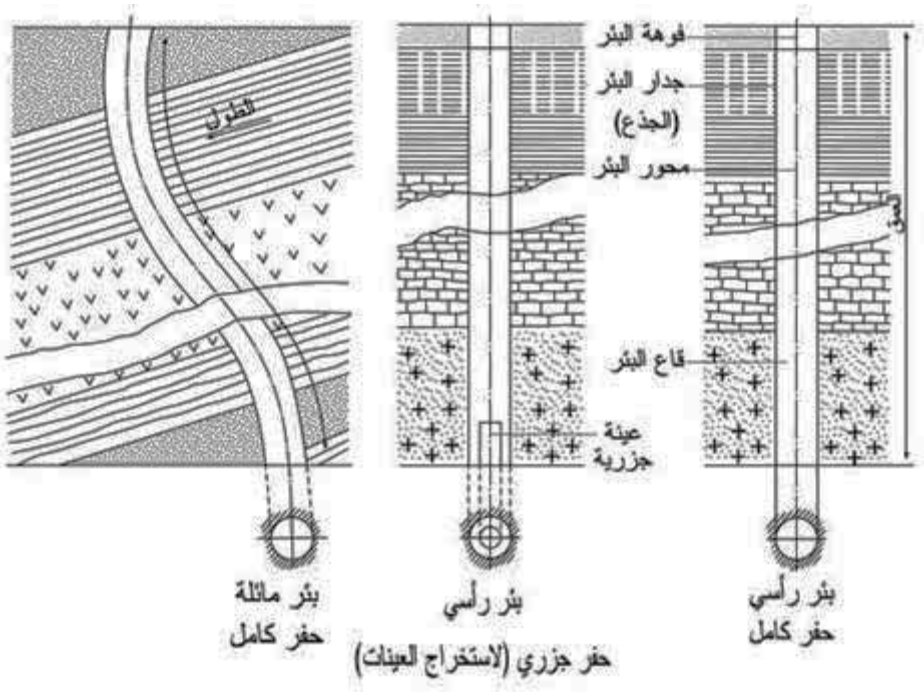
## سوائل الحفر

# الفصل الأول

# سوائل الحفر

**1-1-تعريف حفر الآبار:**

**البئر:** هي بناء معدني ذو شكل أسطواني عمودي أو مائل، تحفر ميكانيكياً، وتصل سطح القشرة الأرضية مع طبقة تقع على عمق معين تشكل الهدف النهائي للبئر، ويتم من خلالها رفع محتويات هذه الطبقة إلى السطح، يسمى الجزء العلوي على السطح فوهة البئر أما الجزء السفلي يسمى القعر، المجال الفاصل ما بين الفوهة والقعر يشكل البئر بجدران صخرية أثناء الحفر ومعدنية بعد تدعيمها بأنابيب تغليف، ويمكن ان تكون البئر النفطية إما عمودية او مائلة كما في الشكل(1-1).




الشكل(1-1) نموذج البئر النفطي أو الغازي

أقدم بئر تم حفره من قبل المصريين القدماء وصل عمقها إلى عشرين قدماً ويعود إلى القرن الثالث قبل الميلاد، وجدت آبار حفرت في صحراء التيبت، وكانت هذه الابار تستخدم لتامين مياه الشرب، **ويمكن تصنيف الآبار إلى:**

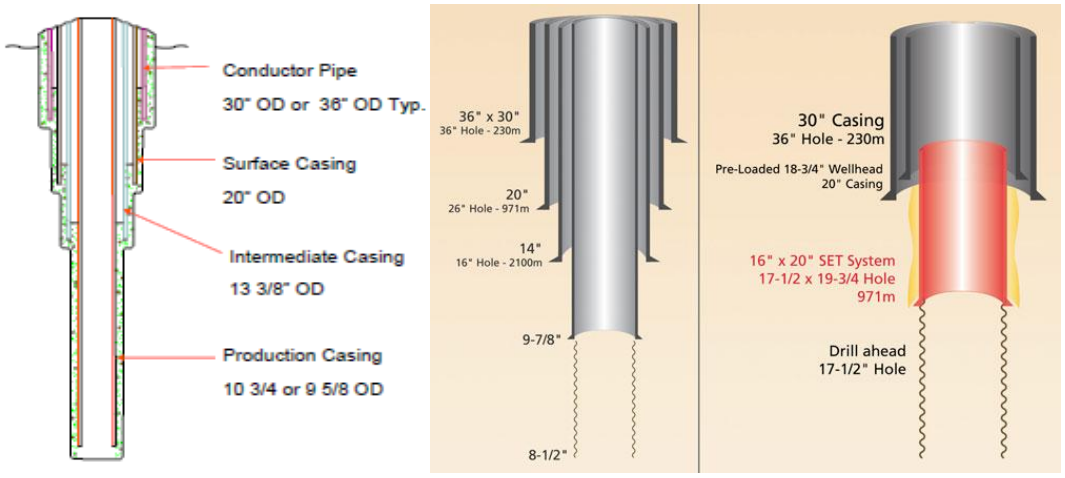
1. آبار المياه العذبة والمالحة.
2. آبار النفط والغاز.
3. آبار للأبحاث الجيولوجية.
4. آبار الحقن لزيادة المردود النفطي.

## 1-2-مراحل انجاز البئر :

ينجز البئر على اربعة مراحل الشكل (1-2):

1. **المرحلة الدليلة** (Conductor Pipe): حيث تحفر حفرة مربعة الشكل كخطوة أولى طول ضلعها (0.1-0.8 m) وعمقها بين(3-6 m) ،تنزل في الحفرة ماسورة تغليف بقطر كبير يتراوح بين(500-600 mm) يرفع رأس هذه الماسورة عن سطح الارض بحوالي (1.5-2.5m) مهمة هذه المرحلة:
   - إغلاق الطبقات السطحية التي يمكن أن تتسبب تسرب لسائل الحفر فيها.
   - حفظ فوهة البئر والقواعد الإسمنتية من انجراف التربة السطحية ومن التأثر المستمر بسائل الحفر.
   - المحافظة على ثبوتية جدران البئر حتى العمق الذي تنزل إليه.
   - تؤمن صعود سائل الحفر الخارج من البئر إلى ارتفاع قريب من مستوى المنضدة الرحوية حيث يجري بشكل حر إلى الخزانات.
2. **المرحلة السطحية** : في هذه المرحلة يتم حفر الطبقات السطحية التي لا يمكن ان تحوي أية مركبات هيدروكربونية، ويتراوح عمقها ما بين (50-500m) وأحياناً أكثر، بعد الحفر تدعم جدران البئر بمواسير تغليف سطحية والتي تركب عليها أجهزة موانع الاندفاع.
3. **المرحلة الوسطية:** وهي مرحلة تساعد في الوصول إلى المرحلة الانتاجية وهي تعزل الطبقات التي تسبب مشاكل أثناء الحفر وتسمى مواسير الحماية.
4. **المرحلة الانتاجية:** وهي الهدف النهائي للبئر كونها تصل للطبقة المنتجة، ويتم من خلالها استثمار هذه الطبقة وبعد الانتهاء من حفرها تدعم الجدران بمواسير التغليف الانتاجية والتي تشكل بالنسبة لمهندس الانتاج قطر البئر.

يتم الحفر باستخدام رؤوس خاصة تنزل داخل البئر بواسطة مجموعة من المواسير تسمى مواسير الحفر.




الشكل (1-2) مراحل انجاز البئر

## 1-3- تعريف سائل الحفر:

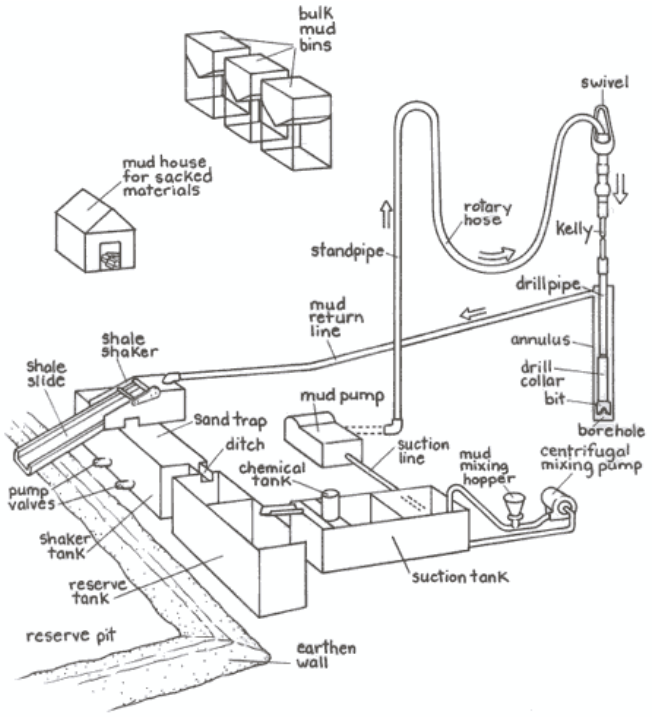
هو سائل غير متجانس مكون من خلط عدة مركبات صلبة وسائلة (الماء، الغضار، البوليميرات،...) وأحياناً غازية، يتكون بشكل عام من طور الأساس(المشتت) والطور المتشتت والمواد المضافة، يستخدم أثناء حفر آبار النفط والغاز، ويعتبر سائل الحفر وسيلة الاتصال المباشرة بين طاقم الحفر والطبقات المحفورة ،وهو يحمل لنا البارامترات المجهولة عن الطبقات داخل البئر من خلال التغير في خواصه الأمر الذي يوجه هذا الطاقم باتجاه اتخاذ القرارات الصائبة فهو من أهم العناصر التكنولوجية الضرورية والذي لا يمكن إنجاز البئر بدونه وهو كالدم بالنسبة لجسم الانسان.

## 1-4- نظام دورة سائل الحفر:

تتكون دورة سائل الحفر من المعدات التالية الشكل (1-3)

1. **خزانات سائل الحفر** : تتكون من خزانات التحضير : وفيها يتم تحضير سائل الحفر بالمواصفات المطلوبة وبالكميات المحددة من المواد ن وهي مزودة بمصدر مائي وقمع والخزان العامل الموصول مع مضخات سائل الحفر ويضخ من خلاله سائل الحفر في البئر.
2. **مضخات سائل الحفر** : وهي المعدات التي تقوم بضخ سائل الحفر في البئر.
3. **الاجهزة السطحية وتضم** :الانبوب القائم، الخرطوم المرن، الراس الهيدروليكي، قلم الحفر.
4. **مجموعة مواسير الحفر(تشكيلة الحفر)**: وتضم مواسير الحفر وأعمدة الحفر
5. رأس الحفر.

6. الفراغ الحلقي .
7. **معدات تنظيف سائل الحفر:** وتضم المناخل الهزازة فاصل الرمل، فاصل الطمي فاصل الغاز.




الشكل (1-3) دورة سائل الحفر

## 1-5- وظائف سائل الحفر:

### 1-5-1- تنظيف قعر البئر من نواتج الحفر ورفعها إلى السطح:

إزالة نواتج الحفر المطحونة أسفل رأس الحفر (على قعر البئر) وإبعادها فورياً باتجاه الفراغ الحلقي ومنه إلى السطح ثم إلى أجهزة الفصل والتنظيف، تعتبر الوظيفة الاساسية لسائل الحفر حيث يخرج بسرعة معينة من فتحات رأس الحفر فيصطدم بالقعر ويعمل على رفع الفتات المحتة وحملها إلى السطح وذلك في دورة تكرر نفسها طيلة فترة الحفر.

ولإيضاح أهمية هذه الوظيفة لسائل الحفر سوف نستعين بمعامل خاص اصطلح على تسميته بمعامل التنظيف التام لقعر البئر وهو الابعاد الكامل والفوري للفتات الصخرية المحتة من

قبل رأس الحفر، بحيث أن العناصر الفعالة لرأس الحفر تعمل باستمرار على حت صخور جديدة أي أن راس الحفر يستهلك فقط في الحفر الفعلي، وعند تامين هذا المعامل فغن سرعة الحفر سوف تزداد وبالتالي فإن زمن الحفر سيقل والنتيجة كلفة الحفر هي اقل.

وإذا لم يؤمن سائل الحفر التنظيف التام فهذا يعني ان الفتات سوف تبقى زمناً أكبر على القعر وسوف يعاد طحنها عدة مرات من قبل رأس الحفر وبالتالي فإن جزءاً من الطاقة التي تولد على السطح من أجل حت الصخور تستهلك بدون مردود، وتجمع الفتات الصخرية على القعر يقلل من العمق الذي تدخله العناصر الفعالة في الصخر، أي أن حجم الصخر الذي سوف يحت سيقل باستمرار وكذلك سرعة الحفر تقل وزمن الحفر يزداد والنتيجة كلفة إنجاز البئر سوف تزداد أيضاً قياساً مع الكلفة عند تامين التنظيف التام لقعر البئر من هذه الفتات المحتة.

عند الحفر في الصخور اللدنة ونتيجة عدم التامين التنظيف التام لقعر البئر فإن الفتات التي تتجمع على القعر تلتصق براس الحفر مشكلة ما يسمى التلبد ومؤدية إلى تناقص سرعة الحفر وأيضاً إلى استعصاء راس الحفر والنتيجة زيادة غير مبررة لتكاليف الحفر.

من العناصر الهامة التي تؤمن التنظيف التام نذكر غزارة سائل الحفر وسرعة خروج السائل من فتحات راس الحفر، وبشكل عام بتزايد غزارة سائل الحفر وسرعة خروج السائل تزداد السرعة الميكانيكية للحفر ويفسر ذلك: بتزايد الغزارة وسرعة خروج السائل فإن قوة التصادم للسائل مع القعر تزداد وكذلك سرعته على القعر بعد تبعثره ويؤدي هذا إلى ابعاد الفتات مباشرة بعد حتها بل ويمكن أن يؤدي إلى حت تلك الفتات التي حتت جزئياً من قبل رأس الحفر إبعادها من القعر بحيث أن رأس الحفر سوف يعمل على حت صخور جديدة وهذا ما يؤدي إلى التزايد المستمر في السرعة الميكانيكية للحفر.

وبشكل مبدئي وتقريبي يمكن اعتماد غزارة سائل الحفر منسوبة إلى مقطع البئر كما يلي:

$$Q = 0.045....0.065 \text{ l/s} \cdot \text{cm}^2$$

وسرعة خروج تيار سائل الحفر من فالات رأس الحفر ينصح باستخدام القيم الصغرى منسوبة لقطر رأس الحفر:

| | |
|---|---|
| dB = 171.3.....228.1 | Vj = 3 m/s .cm |
| dB = 244.4.....269.9 | Vj = 2.65 m/s .cm |
| dB > 295 | Vj = 2.4 m/s .cm |

### 1-5-1-1- تأثير خواص سائل الحفر على عملية تنظيف القعر:

**1. تأثير الوزن النوعي:**

لوحظ عملياً انه مع زيادة الوزن النوعي لسائل الحفر إن السرعة الميكانيكية تتناقص، إلا أنه لوحظ في حالات اخرى ان استخدام سائل حفر بوزن نوعي كبير أدى إلى سرعة ميكانيكية كبيرة ولتفسير ذلك درست العلاقة بين سرعة الحفر والفرق ما بين الضغط الذي يشكله عمود سائل الحفر والضغط الطبقي ولحظ انه بزيادة فرق الضغط تقل السرعة الميكانيكية للحفر، والمنحني المرافق يوضح تأثير الوزن النوعي لسائل الحفر وبشكل غير مباشر على سرعة الحفر وذلك من خلال تأثيره على ضغط عمود سائل الحفر، فعند زيادة الوزن النوعي وتشكيل ضغط كبير أثناء حفر طبقات ذات ضغط طبقي صغير يعني($P_m - P_f$) كبير فإن سرعة الحفر سوف تكون صغيرة لان التنظيف التام لن يتحقق بسبب القوى الكبيرة التي تعمل على تثبيت الفتات على القعر بفعل ضغط عمود سائل الحفر المرتفع، أما عند الحفر في طبقات ذات ضغط مرتفع فيمكن الحصول على سرعة حفر كبيرة حتى عند استخدام سائل بوزن نوعي كبير وذلك لأن فرق الضغط صغير وبالتالي ابعاد الفتات تتم بسهولة.

**2. فاقد الرشح :**

فاقد الرشح هو دخول جزءاً من السائل الاساسي في الطبقة فهو يؤدي إلى زيادة الضغط الطبقي وبالتالي انقاص فرق الضغط ($P_m - P_f$) أي أن زيادة فاقد الرشح أو استخدام سائل حفر بفاقد رشح كبير يساعد في رفع الفتات عن القعر وبالتالي يؤمن التنظيف التام للقعر..

**3.لزوجة سائل الحفر:**

استخدام سائل بلزوجة منخفضة يؤمن للسائل سرعة جريان مرتفعة حتى بالقرب من القعر وبالتالي تؤمن شروط مثالية لتنظيف القعر من الفتات الصخرية ورفعها إلى السطح.

الحبيبات الغضارية أو الرملية ذات الابعاد الصغيرة الاقل (0.5mm) ترفع بسهولة من قبل تيار السائل الصاعد خلال الفراغ الحلقي ما بين جدران البئر ومجموعة مواسير الحفر وذلك من خلال بقائها معلقة في السائل نتيجة لقلة وزنها، أما الحبيبات ذات الابعاد الكبيرة فإن دراسة طريقة رفعها تتصف بالتعقيد لأنها تعتمد على عوامل عديدة منها: نوعية البئر ( عمودية او مائلة)خطية أم متعرجة وخواص سائل الحفر وسرعته وعلى سرعة دروان مواسير الحفر وفيما إذا كانت متمركز أو غير متمركزة وحجم الفتات وشكلها، وسرعة صعود الفتات في الفراغ الحلقي تتعلق **بالعوامل التالية:**

. السرعة الوسطية لتيار سائل الحفر في الفراغ الحلقي.

. خواص سائل الحفر.

.نظام الجريان في الفراغ الحقي (خطي، مضطرب).

. شكل وابعاد الحبيبات الصخرية.

. الفرق مابين الوزن النوعي للحبيبات الصخرية والوزن النوعي لسائل الحفر

القوى التي تتعرض لها الفتات أثناء وجودها في الفراغ الحلقي.

1. ثقلها : بفرض الحبيبة كروية تعطى بالعلاقة التالية : $F_a = \frac{\pi.d^3}{6}\gamma_r$

$\gamma_r$ : الوزن النوعي للصخر.

d: قطر الحبيبة.

2. قوة الطفو: وتعطى بالعلاقة : $F_a = \frac{\pi.d^3}{6}\gamma_f$

$\gamma_f$ : الوزن النوعي لسائل الحفر.

3. قوة تعمل على دفع الحبيبة باتجاه الاعلى وتنتج عن حركة السائل باتجاه السطح.

إذاً كي يتم رفع الفتات للسطح فإن سرعة السائل في الفراغ الحلقي يجب أن تكون أكبر من سرعة سقوط الفتاتة في السائل، وتعطى سرعة سقوط الفتاتة ذات الشكل الكروي بالعلاقة التالية(علاقة ستوكس): $V = \frac{2r^2(\gamma_r - \gamma_f)}{g.\eta}$

تبين هذه العلاقة أنه يمكن انقاص سرعة سقوط الفتاتة وبالتالي تسهيل عملية رفعها إلى السطح باستعمال سوائل حفر ذات لزوجة مرتفعة او وزن نوعي كبير او الاثنين معاً،

ولكن زيادة لزوجة سائل الحفر تؤدي إلى زيادة الاحتكاك بينه وبين عناصر الطريق التي يسلكها أي يزداد الضغط اللازم لدفعه لمتابعة الحركة، أي تتعرض المضخات لضغوط إضافية قد تزداد عن طاقتها فنضطر إلى انقاص معدل السائل مع ما يؤدي إلى التقليل من تنظيف القعر، يضاف إلى ذلك أن تنظيف سائل الحفر ذي اللزوجة المرتفعة من نواتج الحفر على السطح يزداد صعوبة، اما زيادة الوزن النوعي فإنه يؤدي إلى زيادة الضغط الذي تتعرض له المضخات كما أنه يقلل من تنظيف القعر، لذلك نعتمد على هذين العنصرين ضمن الحدود التي تسمح به المضخة

ودون الاساءة لتنظيف سائل الحفر، أما من أجل رفع الفتات يتم الاعتماد على سرعة السائل الصاعد في الفراغ الحلقي وبالتالي على غزارة سائل الحفر.

السرعة الوسطية لتيار سائل الحفر في الفراغ الحلقي التي ينصح باستخدامها هي (0.4–1.2m/s ) بالنسبة لسوائل الحفر العادية، أما عند استخدام الهواء يجب أن تكون السرعة ضمن الحدود (10–20m/s).

وعند استخدام الحفر الطاحوني فإن دوران مجموعة مواسير الحفر تساعد في رفع الفتات إلى السطح وذلك من خلال جعلها لسائل الحفر أكثر اضطراباً في الفرا غ الحلقي مما يزيد من قدرته على الرفع.

**1–5–2–.تبريد و تزييت رأس الحفر و تشكيلة الحفر داخل البئر :**

بعد تجاوز القشرة الارضية والتي تتراوح سماكتها ما بين(16–30m) والتي تتميز بتغير درجة حرارتها تبعاً لتغير فصول السنة، فإن درجة حرارة الصخور هي ثابتة وتزداد مع تزايد العمق ما بين (3–5 c) لكل (100m)، إذاً مجموعة مواسير الحفر سوف تتعرض لدرجة حرارة مرتفعة أثناء وجودها في البئر والتي يضاف إليها درجة الحرارة المتولدة من احتكاك رأس الحفر على قعر البئر وكذلك مجموعة مواسير الحفر مع جدران البئر مما يؤدي إلى إضعاف مقاومة مجموعة مواسير الحفر خصوصاً أنها تتعرض لدرجة الحراة هذه لفترة طويلة نسبياً.

من أجل زيادة عمر رأس الحفر وزيادة مروده وكذلك زيادة عمر مجموعة مواسير الحفر يجب التقليل من درجة الحرارة في البئر إلى الحدود التي تتحملها، سائل الحفر الذي يدور بشكل مستمر في البئر يؤدي هذه الوظيفة حيث يقوم بامتصاص درجة الحرارة عند قعر البئر وكذلك جدران البئر نتيجة التبادل الحراري معها وعند وصوله للسطح وتعرضه لدرجة الحرارة السطحية يفقد جزءاً كبيراً من درجة حرارته، إضافة إلى ذلك فإن وجود سائل الحفر في البئر يقلل من درجة الحراة المتولدة بفعل الاحتكاك ما بين مجموعة مواسير الحفر والصخر، حيث ان وجوده يسهل انزلاق مجموعة مواسير الحفر على الصخر نتيجة المواد التي يعالج بها، حيث يضاف لسائل الحفر مسحوق الفحم او النفط، وإضافة لذلك دخول سائل الحفر من خلال مراكز استناد التروس المخروطية لرأس الحفر إلى الفراغ ما بين الترس وجسم الترس يقلل من الاحتكاك محولاً إياه من احتكاك معدن مع معدن إلى معدن مع سائل مما يزيد من عمر رأس الحفر وهذا ما يسمى بتزييت رأس الحفر.

وعند استخدام رؤوس الحفر الالماسية تحدد قيمة صغرى بناءاً على تعليمات المصنع لمعدل ضخ سائل الحفر لتامين تبريد الحبيبات الألماسية التي تشكل العنصر الفعال.

**1-5-3-تشكيل ضغط معاكس على جدران البئر:**

يتم تشكيل ضغط معاكس على جدران البئر للمحافظة على ثباتية جدران البئر ومنع الموائع الطبقية من الاندفاع مكافئ لضغوط السوائل والإجهادات المتشكلة نتيجة الإخلال بتوازن الصخور في التشكيلات المخترقة، وذلك من خلال التحكم بوزنه النوعي بحيث يعطي ضغطاً أكبر من الضغوط الطبقية وأقل من ضغط التشقيق لصخور الطبقات .

**1-5-4- تلييس جدران البئر أثناء الحفر:**

بما ان الضغط داخل البئر أثناء الحفر يجب أن يكون أكبر من الضغط الطبقي بالتالي سائل الحفر يتجه للدخول في الطبقات المسامية وبما ان سائل الحفر يحوي جزء صلب مضافاً في التحضير او آتي من الطبقة هذا الجزء يتوضع على جدران البئر ويدخل السائل فقط، توضع الجزء الصلب يشكل قشرة طينية رقيقة نسبياً وذات نفوذية ضعيفة تسمى كعكة الحفر التي تؤمن من جهة ثبوتية جدران البئر ومن جهة اخرى تقلل من معدل فاقد الرشح.

كي تكون كعكة الحفر ذات متانة كافية وتؤمن ثبوتية معينة لجدران البئر يجب ان تكون رقيقة ويتم التحكم بذلك من خلال التحكم بالجزء الصلب الذي يضاف لسائل الحفر، وتعتمد سماكة الكعكة على فرق الضغط ما بين البئر والطبقة.

وفي الطبقات المتشققة أو ذات النفوذية العالية فإن السائل يدخل بكامله مسبباً ما يسمى مشكلة تسرب سائل الحفر .

**1-5-5-المحافظة على نواتج الحفر معلقة في السائل أثناء توقفه عن الدوران:**

أثناء توقف سائل الحفر عن الدوران سواء لرفع تشكيلة الحفر أو إنزالها أو لتبديل رأس الحفر أو لإضافة ماسورة حفر أو بسبب عطل ما في وحدة الحفر أو لمعالجة مشكلة ما في البئر، فإن الجزء الصلب الموجود في السائل خصوصاً الفتات الناتجة عن الحفر والتي يرفعها السائل معه في الفراغ الحلقي تسقط ضمن السائل وتتجمع على قعر البئر مؤدية للمشاكل التالية:

. استعصاء مجموعة مواسير الحفر نتيجة تراكم الفتات فوقها.

. تساقط الجزء الصلب وتجمعه على القعر يؤدي إلى انقاص الوزن النوعي لسائل الحفر بالتالي تناقص ضغط سائل الحفر داخل البئر مما يؤدي إلى اندفاع الموائع الطبقية أو فقدان جدران البئر لثبوتيتها وبالتالي انهيارها

. تساقط الفتات الناتجة عن حت الصخور يؤدي إلى إشغالها جزءاً من البئر بحيث أنه عند انزال رأس الحفر الجديد لن يصل إلى القعر بل يجب عليه إعادة طحن هذه الفتات وهذا يعني استهلاكاً جزئياً لرأس الحفر كان من المفروض أن تتم خلال حت صخر جديد كما تستهلك طاقة لرفع هذه الفتات وبالتالي زيادة كلفة الحفر بالتالي يجب ان يكون سائل الحفر قادراً على حمل الجزء الصلب أثناء توقفه عن الدوران من خلال معالجته ببعض المواد التي تؤمن له حمل الفتات أثناء التوقف عن الدوران.

**1-5-6- إيصال الطاقة الهيدروليكية اللازمة لتدوير عنفات التوربين (في الحفر التوربيني) والتي بدورها تتحول إلى طاقة ميكانيكية تدور رأس الحفر.**

**1-6- تركيب سوائل الحفر:**

سائل الحفر سائل غير متجانس يتكون بشكل عام من طور الأساس(المشتت) والطور المتشتت والمواد المضافة، وتتمثل الأطوار سابقة الذكر بمايلي:

**1. الطور الأساسي(السائل الأساسي)، ويمكن أن يكون :**

أ- طور مائي(عذب أومالح).

ب-طور زيتي(مازوت أو نفط خام).

ت-هواء.

**2. الطور المتشتت ضمن السائل ويتكون من:**

أ- مواد مثقلة كالبارايت (طور خامل).

ب- مواد مبعثرة غروياّ كالغضار (طور فعال).

**3. المواد المضافة :**

أ- **مواد كيميائية:** تضاف لضبط خواص معينة لسائل الحفر مثل(مقللات فاقد الرشح، مرققات، موانع تآكل،...الخ.)

ب- **محاليل كهروليتية:** تضاف لسائل الحفر لتحييد الفتات وجدران البئر من تأثيره.

**1-7- أنواع سوائل الحفر:**

**1-7-1. الماء:** يتميز بسرعات حفر عالية حيث يكون الضغط الناتج عن عمود السائل قليل بسبب الكثافة المنخفضة لسائل الحفر، كما يتميز بلزوجة منخفضة ونقطة خضوع معدومة ،وليست كل التشكيلات قابلة للحفر بهذا النوع إلا في بعض الحالات التي نصادف فيها مجالات شديدة التهريب ولا يمكن معالجتها حيث نستخدم طريقة الحفر الأعمى بدون راجع وخاصة في الآبار الاستكشافية.

**1-7-2.** سوائل الحفر ذات الأساس المائي: وهي الأكثر استخداما وتحوي الماء (الطور المشتت) بنسبة أكبر من غيره، ويمكن أن تحوي نسبة من النفط قد تصل إلى( 40%)، ويعتبر الأكثر انتشارا في الحقول السورية، وهي تتكون بشكل عام من:

أ- الماء
ب- البارايت ( لزيادة الوزن النوعي )
ج- بنتونيت (لتأمين الخواص الريولوجية المطلوبة)
ء- مواد كيميائية (مقللات لزوجة، مقللات فاقد رشح،.....)

ويأخذ هذا الصنف أشكالاً عدة وهي :

**1-7-2-1- سوائل الحفر المائية غير المعالجة :**

يمكن استخدام هذا النوع من السوائل عند شروط غير معقدة أي درجة حرارة وضغوط عادية والتشكيلات المخترقة حيادية بالنسبة لها وقاسية، عملياً يمكن استخدام هذا النوع في الأعماق القليلة ( لمنع تلوث المياه قليلة العمق والمتصلة هيدروديناميكياً بمياه الري)، ومع بدء تعقد ظروف الحفر يمكن البدء بإضافة المواد مثل (مرققات ، مقللات فاقد الرشح ....) منتقلين بذلك إلى سوائل الحفر المعالجة .

**1-7-2-2- سوائل الحفر المائية المعالجة :**

مع بدء تزايد عمق الحفر وتعقد شروط الحفر يتم الانتقال إلى السوائل المعالجة وهي سوائل حفر عادية مع بعض الإضافات مثل : إضافات لزيادة الوزن النوعي، مقللات فاقد الرشح، مقللات لزوجة.

**1-7-2-3- سوائل الحفر الخاصة :**

تتميز بالقدرة على التنظيم الذاتي عند مصادفة الغضار أو الملح، وقدرة أسرع على الاختراق ، وحماية الطبقات المنتجة، فمع بدء نضوب المكامن القريبة من السطح انطلقت عمليات الحفر العميق للوصول إلى مكامن جديدة حيث تزداد الظروف الجيولوجية والترموديناميكية تعقيداً، ويمكن أن تصل درجات الحرارة لأكثر من (200C) عند تلك الأعماق، وتعتبر درجة الحرارة عاملاً هاماً ومؤثراً بشكل كبير على خواص أساسية في سوائل الحفر، حيث تختلف طريقة تعامل الأطوار والإضافات المبعثرة مع بعضها وكذلك يمكن أن يفقد الطور الأساسي خاصيته كوسط مشتت مع التزايد الكبير لدرجات الحرارة.

وأكثر الخواص تأثراً بهذه الزيادة هي الخواص الجريانية والإرتشاحية لسائل الحفر (حيث تتناقص اللزوجة بشكل كبير ويزداد فاقد الرشح وتزداد هلامية سائل الحفر) الأمر الذي يستحيل به متابعة الحفر بالسوائل العادية والتي تتأثر وتؤثر أيضاً بشكل كبير على بعض الصخور المخترقة الحساسة للسوائل الملامسة لها الأمر الذي يؤدي إلى تفاقم مشاكل الحفر بشكل كبير وعدم القدرة على المتابعة، كل ذلك أدى إلى ظهور أنواع جديدة من سوائل الحفر والتي سميت بالخاصة حيث تتميز بصفات معينة تجعلها قادرة على اختراق طبقة ما أو التعرض لدرجة حرارة ما دون حدوث أية مشكلة حتى انتهاء عمليات الحفر،ومن هذه السوائل نذكر:

**1-7-2-3-1- سوائل الحفر الكلسية:**

هي سوائل ذات أساس مائي مع وجود كمية من الكلس في هذا السائل ووجود كميات من ماءات الصوديوم أي ما يقارب( 1 kg) لكل برميل وما يقارب (0.72 kg) من الكبراشو لكل برميل، ويمكنها حفر المجالات التي تسبب زيادة في اللزوجة في حال استخدام السوائل العادية و تحافظ على لزوجتها واستقراريتها، يمكنها التعامل مع كميات كبيرة من الفتات الملحية المحمولة ضمنها والمقتطعة من الطبقات أو التداخلات الملحية تبقى بحالة جيدة من حيث طبيعتها السائلة وحركيتها حتى لو بلغت كمية الفتات المحفورة نسبة عالية في السائل.

**1-7-2-3-2- سوائل الحفر المالحة :**

يتم إضافة الملح(كلور الصوديوم) إلى السائل إلى حد الإشباع بحيث ينعدم تأثير أي كمية منحلة من ملح الطبقات ،وتستخدم عند حفر الطبقات الملحية والغضارية.

**1-7-2-3-3- سوائل الحفر السيليكاتية :**

تمتاز هذه السوائل بثبوتية حرارية في المجال ( $^{\circ}C$ 130- 190) حيث يمكن استخدامها لحفر الطبقات الغضارية و الحاوية على شوارد الكالسيوم ويمكن أن تكون هذه السوائل (سيليكاتية دون غضار ،سيليكاتية غضارية، سيليكاتية ملحية، غضارية قليلة التركيز بالسيليكات )، إن سيليكات الصوديوم تتفاعل مع شوارد الكلس الموجودة في الغضار مرسبة سيليكات الكالسيوم الهلامية اللزجة التي تعيق تغلغل راشح سائل الحفر عميقاً عن جدران البئر، ومكونات هذه السوائل:

- بنتونايت (80-100) $kg/m^3$
- $Na_2Sio_3$ (20-50) $kg/m^3$
- CMC (10-20) $kg/m^3$
- ماء 1 $m^3$

**1-7-2-3-4-هيدروجيل المغنزيوم :**

وهو من السوائل الخالية من الغضار حيث يتكون من مزيج من الأملاح والبوليمرات ويمكن استخدامه حتى العمق (3000 m) والثبوتية الحرارية هي ( $^{\circ}C$ 130 )

**ويمكن الحصول عليه بالتركيب التالي :**

- كلور المغنزيوم : (200-250) $kg/m^3$
- ماءات الصوديوم : (18-20) $kg/m^3$
- (CMC) (20-300) $kg/m^3$
- ماء 1 $m^3$

**1-7-2-3-5- سوائل الحفر البوليميرية:**

وهي سوائل الحفر ذات التركيز القليل بالجزء الصلب حيث يتم تقليل كمية الغضار المضافة ويضاف معه البوليميرات الطبيعية أو الصناعية لتأمين الخواص الغروية (اللزوجة، نقطة الخضوع، قوة الهلام).

مزايا معالجة سائل الحفر بالبوليمرات :

- **زيادة سرعة الحفر الميكانيكية والتقنية:**

تتمثل زيادة سرعة الحفر الميكانيكية بازدياد معدل الاختراق الذي يحققه رأس الحفر على القاع، فاستخدام المواد البوليميرية للتعويض عن الطور الصلب(أو نسبة معينة منه) كان أحد أهداف استخدام هذه المواد، فقد دلت الدراسات العملية على أن سرعة الحفر تزداد بنقصان تركيز الطور الصلب، وذلك لأن الحبيبات الصلبة (الناعمة) في سائل الحفر تؤدي إلى تشكيل كعكة حفر داخلية (داخل الفراغات المسامية والشقوق الطبيعية أو المحدثة من قبل أسنان رأس الحفر)، وتشكل مثل هذه الكعكة يؤدي إلى التقليل من فاقد الرشح والذي يؤدي بدوره إلى:

1- التقليل من فعالية تزايد ضغط القاع الآني عند مستوى الشق الأمر الذي يؤدي إلى بقاء قيمة فرق الضغط ما بين سائل الحفر والشق كبيرة وبالتالي زيادة قيمة قوة تثبيت الفتاتة على القاع.
2 - تشكل الكعكة الداخلية يؤدي إلى إغلاق الشق المحدث من قبل السن قبل إتاحة الفرصة للسن التالي من رأس الحفر لتحقيق فعالية أكبر في زيادة عمق هذا الشق.
3- تقليل فاقد الرشح(بسبب تشكل الكعكة الداخلية ) الأمر الذي يقلل من قدرة سائل الحفر على ترطيب الصخر والتقليل من قيمة الاحتكاك المسبب لقوة تثبيت الفتاتة بالصخر.

أما بالنسبة لسرعة الحفر التقنية (والتي تأخذ بعين الاعتبار بالإضافة إلى زمن عمل رأس الحفر على القاع زمن عمليات الرفع والإنزال ) فإنها تزداد بنقصان تركيز الطور الصلب وذلك من خلال التقليل من نسبة تآكل مجموعة المواسير وبشكل خاص تآكل رأس الحفر والفالات، الأمر الذي يؤدي إلى التقليل من الوقت المصروف على عمليات الرفع والإنزال.

- **التحكم بفاقد الرشح :**

إن دخول الراشح المائي إلى الطبقة المنتجة يؤدي إلى حدوث عمليات فيزيوكيميائية يمكن أن تسبب الإساءة إلى النفوذية الأولية للطبقة المنتجة من جهة أو التقليل من استقراريه الجدران الحساسة للماء ،تتوقف درجة تلوث الطبقة المنتجة على حجم الراشح المتغلغل وكذلك حجم السائل الطبقي وعوامل أخرى ،ويكون حجم الراشح أصغرياً كلما كانت نفوذية وسماكة كعكة الحفر قليلة .كما أن فرق الضغط له تأثير كبير على حجم الراشح وكذلك على فعالية البوليمير المستخدم لتقليل هذا الفاقد ،تمتلك البوليميرات عامة القدرة على تقليل فاقد الرشح ولكن بنسب متفاوتة حيث يعمل البوليمير (باعتباره مادة غروية واقية ) على تشكيل أغلفة ممتصة على السطوح الغضارية المكونة

لسائل الحفر والتي تتوضع على هيئة رقائق ترشيحية (كعكة الحفر ) رقيقة ذات ملاط بوليميري بين الحبيبات تمنع استمرار عمليات الرشح.

- **تلافي الانتفاخ والتهدم للطبقات الحساسة للماء :**

إن المحافظة على ثبوتية جدران البئر أثناء الحفر وحتى تدعيمها هي إحدى خواص سائل الحفر الهامة، وإن تحقيق ضغط معاكس على جدران البئر وتليسها بالكعكة ليس كافياً لتحقيق هذا الشرط بل تأتي عملية تحييد هذه الصخور من تأثير سائل الحفر مكملة لشرط ثباتية جدران البئر، وتعتبر الصخور الغضارية بأنواعها ذات تأثر كبير بسائل الحفر ذو الأساس المائي والذي يؤدي إلى انتفاخ الغضار وتهدمه باتجاه البئر وحدوث عمليات الاستعصاء، وإن استخدام سائل الحفر معالج بالبوليمرات يساعد على تلافي حدوث هذه المشاكل.

والجدير بالذكر أن البوليميرات عامةً لها تأثير إيجابي في مجال المحافظة على استقرارية الطبقات الغضارية ولكن بنسب متفاوتة وتتمثل آلية التقليل من انتفاخية الغضار بأن البولمير يمتص على سطح الحبيبات الغضارية ويشكل حولها غلافاً بوليميرياً يمنع استمرارية دخول الماء إليها وانتفاخها وتختلف سماكة هذا الغلاف ومقاومته حسب نوع البوليمير ودرجة بلمرته ونوعية الغضار ومقدار احتوائه على العناصر الفعالة.

مما سبق نجد بأن التقليل من مشاكل التهدم يؤدي إلى التقليل من زمن إنجاز البئر وبالتالي هو تأثير إيجابي آخر لإضافة البولميرات على زيادة السرعة التقنية للحفر.

- **تحييد نواتج الحفر:**

إن مقاومة التلوث بنواتج الحفر هي إحدى الشروط الواجب توفرها في برنامج سائل الحفر وذلك ضد بعض أنواع الفتات مثل(الغضار– الملح– الأنهدريت–..) وذلك لما لها من تأثير على تغير الخواص الريولوجية والارتشاحية لسائل الحفر.

ويتم مخبرياً تحديد مدى قدرة هذا السائل على مقاومة التلوث وذلك بإضافة كميات معينة من المواد التي يمكن مصادفتها خلال الحفر ومراقبة التغيرات الحاصلة في الخواص الريولوجية والارتشاحية لسائل الحفر فإذا حافظ السائل على تلك الخواص ضمن مجال معين مقبول فإنه يعتبر ثابتاً تجاه تأثير الملوثات الصخرية.

وعند تلوث السائل بالغضار فإن الحبيبات الغضارية تتكتل مع بعضها بشكل حلقات متصلة مع سلسلة البوليمير وتترسب بسهولة ونتيجة لآلية التكتل هذه أو ما تسمى الاندماج flocculation فإن فاقد الرشح يقل مع تزايد تركيز البوليمير بينما الاندماج الكهرليتي يؤدي إلى زيادة فاقد الرشح ،إن طريقة تثبيت حبيبات الغضار تعتمد على نوع البوليمير، فعند استخدام بوليميرات من نوع الأيونات الموجبة فإنها تجذب وتعادل رقائق الغضار ذات الشحنة السالبة، أما عند استخدام البوليميرات من نوع الأيونات السالبة فإنه يضاف معها محلول كهرليتي لمعادلة شحنة الحبيبات الغضارية التي يدمص عليها البوليمير ويؤدي إلى تكتلها وتسهيل فصلها على السطح.

والجدير بالذكر أن نوع البولمير ووزنه الجزيئي يلعبان دوراً هاماً في تحديد مدى ثبوتيته للتلوث ويستخدم عادةً لمقاومة التلوث بالأملاح بوليميرات صناعية مثل الحمض الأكريلي والاكريل أميد ومشتقاتها.

**1-8- سوائل الحفر ذات الأساس النفطي :**

يتميز هذا النوع بأن النفط يمثل الطور المشتت أي يشكل النسبة الأكبر في سائل الحفر ويحوي على الماء بنسبة قد تصل إلى( 40%)، بدأ استخدام هذا النوع من السوائل مع ظهور مشاكل كبيرة عند حفر المجالات الحساسة للماء (غضار – ملح) بالإضافة إلى إساءة سائل الحفر ذو الأساس المائي للخواص الخزنية للطبقات، ويمتاز هذا السائل بخاصية تزليقية جيدة لتشكيلة الحفر ويمكن تصنيعه من مزيج زيوت نفطية صناعية لتفادي التلوث ولكن تكلفتها المادية كبيرة من مساوئ استخدامه:

1- غالي الثمن.
2- صعوبة التعامل معه على السطح وضرورة تنظيف المعدات السطحية من البقع الزيتية المنتشرة بسبب استعمال هذا السائل.
3- يتطلب قياسات جيوفيزيائية خاصة لدراسة الطبقات.

**1-8-1-أنظمة سوائل الحفر ذات الأساس الزيتي:**

تصنف أنظمة سوائل الحفر الزيتية إلى أربع فئات ،ويوضح الجدول(1) الاستخدامات الأساسية لهذه الأنظمة المختلفة:

| النظام | التطبيق |
|---|---|
| **مستحلب معقد** | للاستخدام العام بالإضافة إلى مناطق درجات الحرارة المرتفعة التي تصل إلى 500 F (260C°) |
| **الراشح الكبير** | لتأمين معدلات حفر متزايدة |
| **نفط بالكامل** | – للاستخدام كسائل حفر وأخذ العينات دون أضرار<br>– للاستخدام كطفلة زيتية ذات حرارة عالية |
| **مياه عالية النقاوة** | لتقليل احتباس النفط في مخلفات الحفر وتستخدم بشكل أساسي في المناطق البحرية الحساسة بيئياً. |

الجدول (1-1)

**1-9-تصنيف سوائل الحفر اعتماداً على شركة شلمبرجير :**

تصنف سوائل الحفر اعتماداً على أساس المائع الداخل في تركيبه ومكوناته الأولية إلى :

1- غازية : الهواء والنتروجين

2- ذات اساس مائي: الرغوية – المنشطة – غضارية بوليميرية – مستحلبية.

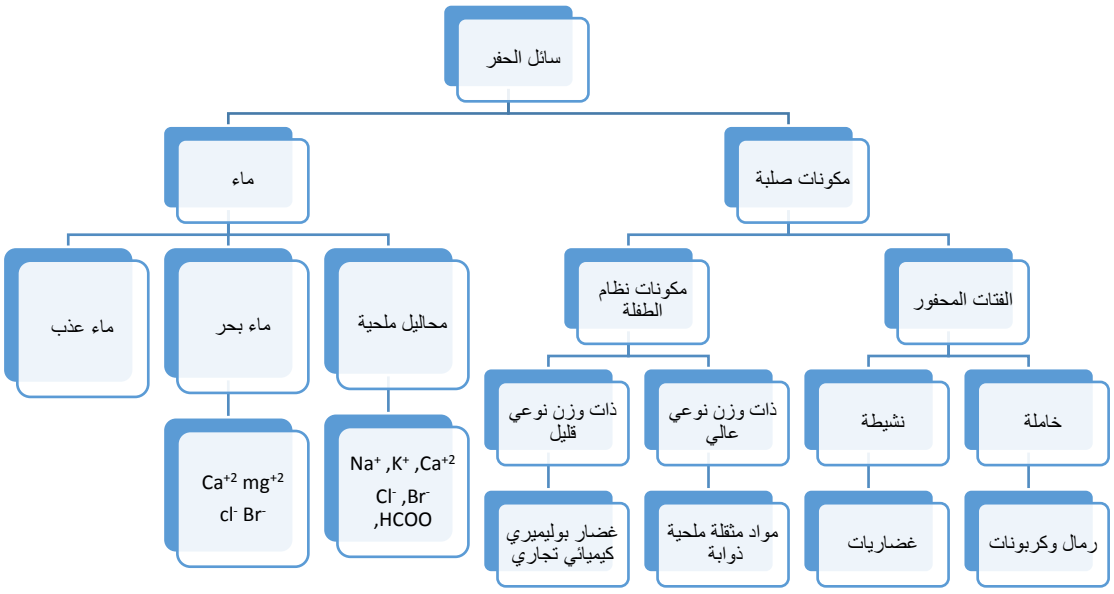
3- ذات أساس لا مائي: نفطية أو صناعية بالكامل نفط – مستحلبية عكسية الرغوة الحقيقية تحوي على الأقل 70% من غاز (عادة النيتروجين و ثاني أوكسيد الكربون أو الهواء)، بينما السوائل المنشطة المتضمنة الأفرونات تحوي على كمية أقل من الغاز بالمقارنة مع الرغوة الحقيقية، والأفرونات هي عبارة عن فقاعات ثابتة تعمل على الحد من فقدان عناصر دورة سائل الحفر (LCM) للتقليل من تهريب سائل الحفر في التشكيلات النفوذة و المشققة.

سوائل الحفر المائية يطلق عليها بشكل عام الطفلة ذات الأساس المائي (WBMs) بينما سوائل الحفر الغير مائية (NAFs) يطلق عليها غالباً أسم سوائل الحفر ذات الأساس النفطي (OBMs) أو الطفلة ذات الأساس الصنعي (SBMs).

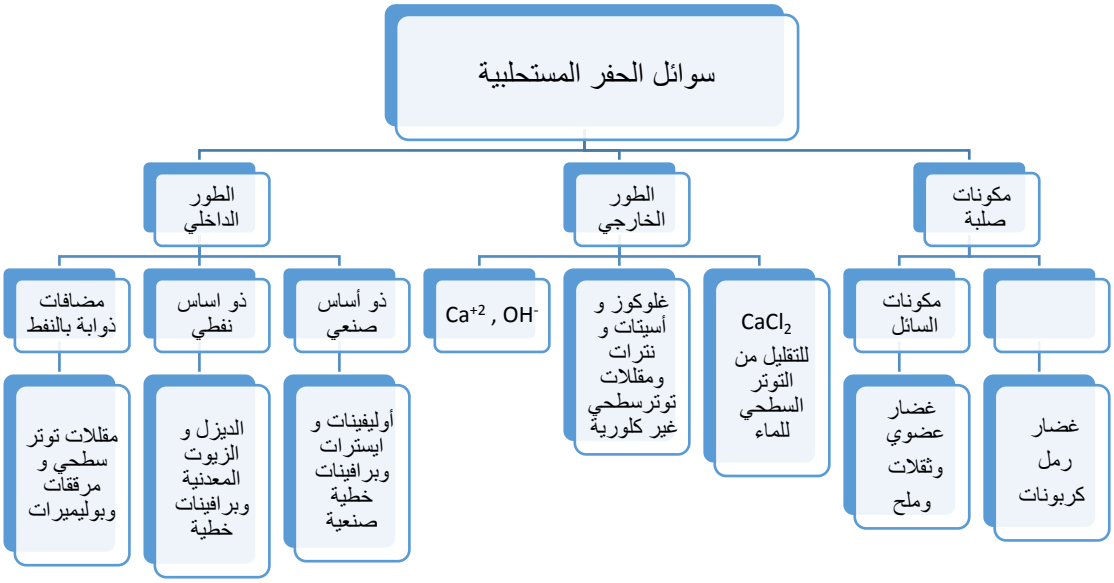
سوائل لحفر ذات الأساس النفطي تحضر من النفط الخام وهي تتضمن الديزل و الزيوت المعدنية والبرافينات الخطية (LPs).

أما الطفلة ذات الأساس الصنعي التي تعرف بالطفلة ذات الأساس الشبه نفطي وهي تعتمد على منتجات التفاعل الكيميائي لمواد الخام مثل الإيتيلين وهي تتضمن الأوليفينات والأسترات والبرافينات الخطية الصناعية.

مخطط التصنيف المفصل لأساس لسوائل الحفر التي تصف تركيبة هذه السوائل بشكل أكثر دقة ،مبينة في الأشكال و الجداول (1-4 )و (1-5 ) .




الشكل( 1-4 ) أنواع سوائل الحفر المائية




الشكل (1-5 ) مضافات سوائل الحفر النفطية والصنعية والمستحلبية

## 1-10- اختيار سائل الحفر

إن تكلفة سوائل الحفر تشكل جزءً كبيراً من تكاليف عمليات حفر البئر عادة ما تكون التكلفة مرتبطة بواحدة الطول المحفورة في المجالات التي يمكن أن تسبب مشكلات مثل مجالات التي تسبب الاستعصاءات.

وفي كثير من الأحيان تشمل التكاليف المنسوبة إلى السائل أيضاً تكاليف ضبط وإدارة مواده الصلبة والتخلص من النفايات .

والجدول (1-2 ) (1-3 ) يصف تصنيفات أنظمة سوائل الحفر بالنسبة للتكاليف النسبية :

| | **سوائل الحفر ذات الأساس المائي** | |
|---|---|---|
| | ***المكونات الداخلة*** | ***الصفات العامة*** |
| ماء عذب بسيط | ماء عذب | **تكاليفه قليلة ، حفر بري :حفر سريع في التشكيلات الثابتة – يحتاج مساحات لترقيد المواد الصلبة** |
| ماء بحر بسيط | ماء البحر | **تكاليف قليلة ، تطبيقات الحفر البحري** |
| سائل حفر غضاري | ماء – بنتونايت | **كلفة قليلة ، حفر المراحل السطحية** |
| سائل حفر ملحي | ماء بحر أو محلول ملحي مشبع: ماء مالح – غضار – نشاء– بوليميرات سللوزية | **كلفة متوسطة ، يستخدم لحفر الملح و عمليات الإصلاح** |
| كربوناتي | ماء عذب أو ماء مالح : بنتونايت – كربونات – جص – لغنوسلفونات | **متوسط الكلفة ، حفر الشيل : صيانة بسطة – درجات الحرارة العالية – الإنهدريت – عمليات السمنتة** |
| سائل حفر لغنوسولفاتي (خالي من الكرومات) | ماء عذب أو مالح : كوستيك صودا – لغنين أو لغنوسلفونات | **متوسط الكلفة ، حفر الشيل : الصيانة البسيطة – درجات الحرارة العالية – الإنهدريت – عمليات السمنتة** |
| بوتاسي | كلوريد البوتاسيوم : أكريليك – بوليمير عضوي أو سللوزي – بعض البنتونايت | **متوسط الكلفة ، ثباتية البئر : تناوب طبقات متجانس – درجات PH عالية** |
| قليل المواد الصلبة | ماء عذب إلى عالي الملوحة : بوليميرات – بنتونايت | **عالي الكلفة ، ثباتية البئر : تعاقب طبقات متجانس – عمليات السمنتة – حفر الملح** |

الجدول (1-2) تصنيفات سوائل الحفر المائية ومكوناتها وخصائصها العامة

| | سوائل الحفر النفطية | |
|---|---|---|
| | ***المكونات الداخلة*** | ***الصفات العامة*** |
| نفطية | نفط مؤكسد : خام أسفلتي – صابون – ماء بنسبة 2–5% | **كلفة متوسطة – ضغوط قليلة – إكمال الأبار – عمليات الإصلاح – مكامن ضحلة قليلة العمق : يستخدم الماء لزيادة الكثافة وسعة حمل الفتات (يمكن أن تفرض قيود بيئية على إستخدامه)** |
| أسفلتية | ديزل : أسفلت – محلبات – ماء بنسبو 2–5% | **كلفة متوسطة – للتطبيقات حتى ال 600 فهرنهايت (يمكن أن تفرض عليه قيود بيئية)** |
| مستحلبية عكسية | ديزل ، مواد نفطية منخفضة السمية :محلبات – غضار عضوي – راتنجات – محلول ملحي بنسبة 5–40% | **كلفته عالية – للتطبيقات 450 فهرنهايت على الأقل : يستخدم في أعمال الصيانة (يمكن أن تفرض قيود على إستخدامه )** |
| صنعية | هيدروكربونات صناعية أو أيسترات : مواد أخرى مطابقة لمواد في المستحلبية | **كلفته عالية – يستخدم للتطبيات 450 فهرنهايت على الأقل – أعمال الصيانة** |

الجدول (1–3) تصنيفات ومكونات الطفلة الزيتية

يمكن القول أنه من أهمية بمكان تقليل التكاليف المرتبطة بسائل الحفر إلى الحد الأدنى مع ضمان تأدية هذه السوائل وظائفها الأساسية بنجاح.

سوائل الحفر تتطلب انتباه خاص وعناية و معدات خاصة من أجل التحكم بمستويات ونوع الفتات وهذا ما يزيد من الكلفة عادة، بالإضافة إلى أن سوائل الحفر تولد نفايات سائلة وفتاتات يجب التخلص منها او معالجتها بدلا من رميها في البيئة وذا ما يزيد أيضاً من التكاليف.

ويمكن القول أن حتى الآن أن سوائل الحفر ذات الأساس المائي لا تتطلب معالجة ويمكن التخلص منها مباشرة في البيئة مع العلم أن العديد من المكونات لهذا السائل يمكن أن تكون محظورة بيئيا، من جهة أخرى أن المواد الحاوية على الكروم مثل ليغنو سولفونات الكروم محظورة في العديد من الدول حسب لوائح حكومية، وتفرض قيود صارمة في العديد من لمناطق على مركبات الكلوريد والنترات وأملاح البوتاسيوم أو بشكل عام على الموصلية الكهربائية للطفلة، في بحر الشمال استخدام بوليميرات البولي أكريل أميد ذو التحلل الجزئي (PHPA) مقيد الاستخدام بشدة.

إن استخدام سوائل الحفر ذات الأساس النفطي (OBMs) تميل إلى أن تكون محظورة الاستخدام أكثر من سوائل الحفر ذات الأساس المائي (WBMs) خصوصا عند الحفر البحري وفي العديد من أماكن يتم استخدام استراتيجيات بمخلفات صفرية ( تسمى أحياناً بنظام الدورة المغلقة ).

ومن جهة أخرى سوائل الحفر الصنعية (SBMs) غالبا يمكن التخلص منها في مياه البحر مباشرة إذا كانت تطابق المعايير السمية والتحلل البيولوجي في حده الآمن ،في الولايات المتحدة ليست شائعة ونتيجة لذلك وعلى الرغم أن سوائل الحفر الصنعية تخلق تكاليف أولية أعلى من سوائل الحفر ذات الأساس النفطي فإن تكاليف التخلص من هذه السوائل أقل بكثير مما يجعلها أكثر اقتصادية للنشغيل .

### 1-11 – فصل الفتات المحفور من سائل الحفر

نوع وتعداد الفتات ( المكونات الغير ذوابة ) الموجودة في نظام سائل الحفر تلعب دور رئيسي في كثافة ولزوجة سائل الحفر وتتحكم في مواصفات الكعكة الطينية والارتشاح وخواص ميكانيكية وكيميائية أخرى ، حيث أن نوع الفتات وتركيزه يؤثر على سائل الحفر وعلى كلفة إنشاء البئر بالإضافة إلى عوامل أخرى مثل معدلات الاختراق (ROP) والهيدروليكيات ومعدلات التآكل

والعزوم والممانعات وضغوط التنظيف والضغوط والإستعصاءات التفاضلية وإنقطاع دورة سائل الحفر وثباتية حفرة البئر وتشكيل لبادة على رأس الحفر والقسم الأسفل من التشكيلة وهذا ينعكس بدوره على حياة خدمة رأس الحفر والمضخات ومعدات ميكانيكية أخرى.

البوليميرات الغير قابلة للذوبان والغضاريات والعناصر المثقلة تضاف إلى سائل الحفر لتحيق الخواص المطلوبة.

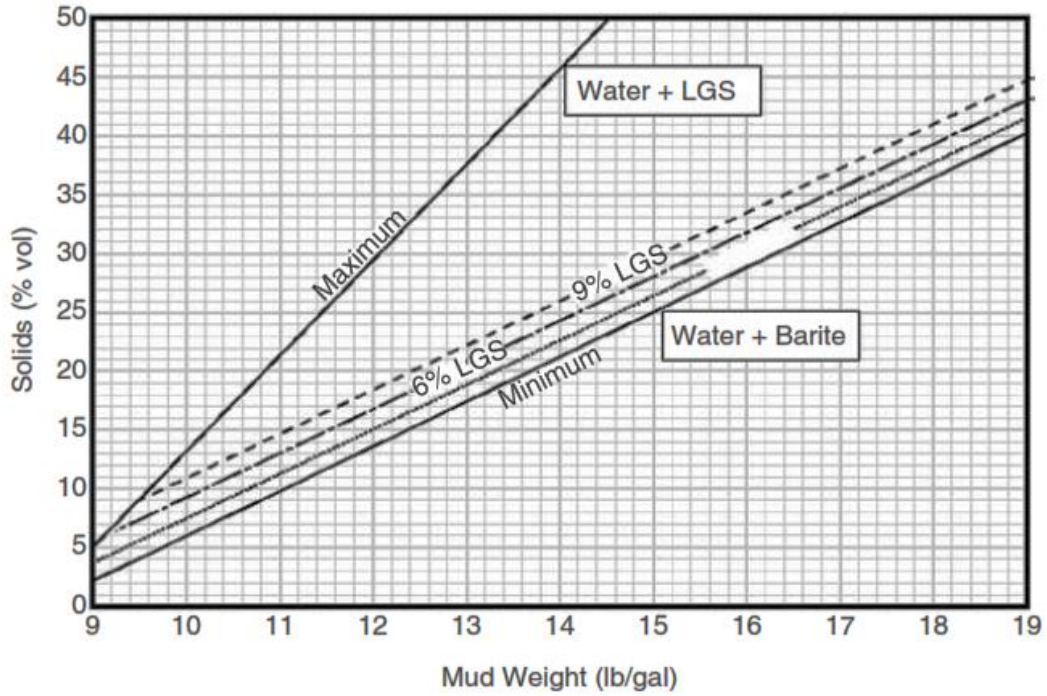
إن الفتات المحفور آنياً من الصخر وبشكل أقل من الغضاريات يدخل في تركيب الطفلة بشكل مستمر ولحد ما يمكن التغاضي عنها وربما تكون مفيدة أحياناً.

تشتت محتوى الغضار من الفتات المحفور يعطي جسيمات غروية ( أقل من 2 ميكرومتر) التي تزيد اللزوجة بشكل كبير خاصة عند معدلات القص المنخفضة التي تفيد في تعليق الفتات المحفور، اذا كانت الغضاريات من نوع مونتيموريالونيت الصوديوم عندها ستولد أيضاً كعكة حفر رقيقة وتسيطر على الإرتشاح في التشكيلة المحفورة ، كما أن الفتات المبعثر في سائل الحفر يمكن أن يولد لزوجة عند معدلات قص عالية وسماكات عالية من الكعكة الطينية مما يقلل كثيراً معدلات الإختراق.

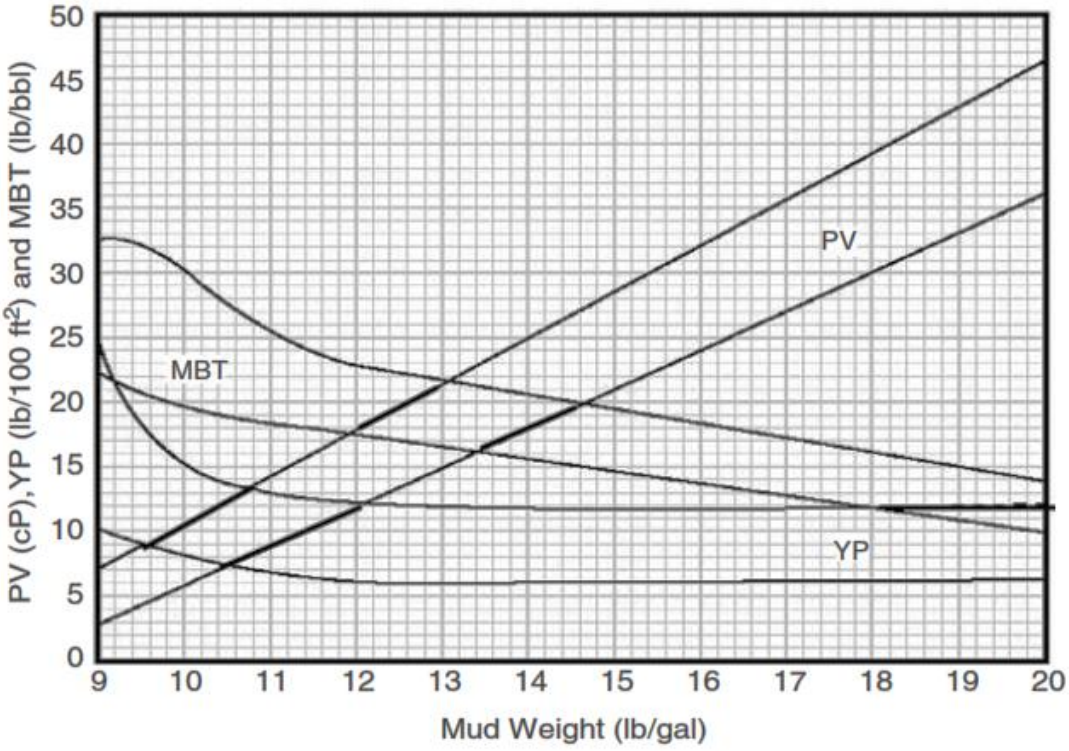
وكما هو ظاهر في الشكلين (1-6) و (1-7) أن إرتفاع كثافة سائل الحفر (إرتفاع تركيز المواد المثقلة) ، لزوجة معدلات القص العالية ( إنعكاسا من اللزوجة البلاستيكية PV ) ترتفع بشكل مستمر عندما يكون تركيز الفتات المحفور بتناقص .

إن اختبار أزرق الميتيلين (MBT) هو مقياس للنشاط السطحي للمواد الصلبة في سائل الحفر هو بمثابة مقياس نسبي لكمية الغضار في النظام.

وعلى كل حال فمن الواضح وببعض الحالات الفتات المحفور له تأثير أكبر من تأثير البارايت على اللزوجة وأن تلك الكمية الكبيرة من الغضار النشط ضمن الفتات المحفور هي واحدة من أهم العوامل المؤثرة.




الشكل (1–6) تأثير الفتات المحفور على الوزن النوعي للطفلة المائية




الشكل (1–7) تأثير الوزن النوعي و الMBT على اللزوجة المقبولة للطفلة المائية

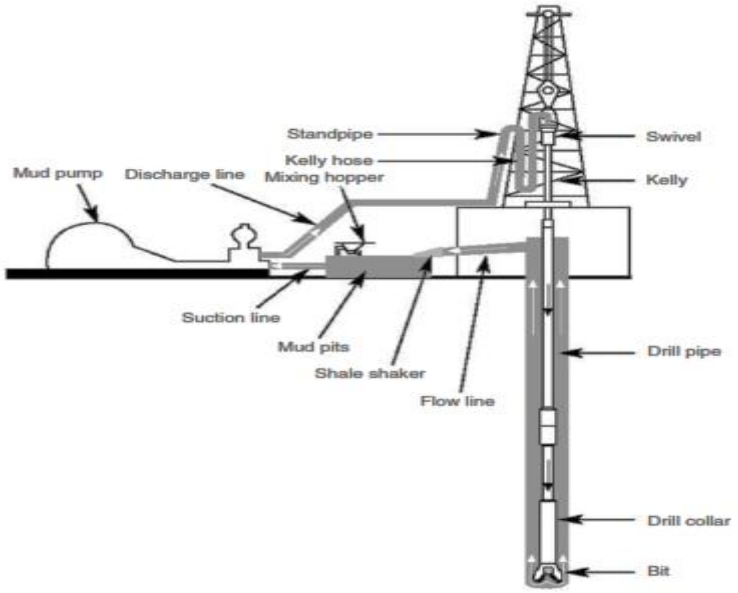
لذلك عند ارتفاع كثافة سائل الحفر يجب على ال(MBT) أن يخفض حتى لا تصل اللزوجة البلاستيكية إلى حد قدرة المضخة أو التسبب بمشاكل بإستقرارية حفرة البئر ، وكما هو موضح في الشكل (1-7) أن الارتفاع في كثافة سائل الحفر بالمجال (10-18 lb/gal) يتطلب أن يخفض ال (MBT) إلى النصف .

إن مختلف كثافات سائل الحفر تتطلب إستراتيجيات مختلفة لإبقاء على تركيز الفتات المحفور ضمن المجال المقبول ، حيث في حالات الكثافات المنخفضة لسال الحفر قد تتطلب فقط التخفيف من الغضار في التركيب من خلال الفاصل الميكانيكي البسيط .

**أما في حالات الكثافات العالية لسائل الحفر فهي تتطلب إجراءات أكثر تعقيدا مثل :**

1- معالجة كيميائية للحد من بعثرة المواد الصلبة في سائل الحفر (الفتات المحفور) مثل استخدام (صادات غضارية أو ليغنوسيلفونات).
2- التخفيف الشديد لتركيز فتات الحفر من خلال إضافة المزيد من سائل الأساس
3- معدات فصل وإزالة أكثر تعقيداً مثل أجهزة الطرد المركزي

وفي الحالتين فغن المزيلات والفواصل تعد أكثر المعدات أهمية في نظام التحكم بسائل الحفر حيث أنها تؤثر مباشرة على فعالية عملية الحفر وتقدم إمكانية التقليل من الكلفة الكلية للحفر
ويظهر الشكل (1-8) مخطط لنظام دورة سائل الحفر نموذجي متضمن مختلف أجهزة التحكم بالمكونات الصلبة لسائل الحفر




الشكل (1-8) نظام دورة سائل الحفر نموذجي

إن بعض التخفيف في سائل الحفر ( الغير ملحي ) مرغوب فيه أو ضروري و الإعتماد الوحيد في هذه العملية هو التخفيف من الفتات الصلب في سائل الحفر والمحمول به بشكل متزايد وهو أمر مكلف جداً .

حجم التخفيف المطلوب للتعويض عن التلوث في سائل الحفر بمقدار 1bbl من الفتات المحفور هو من المعادلة التالية :

$$V_{dilution}(1bbl\ mud/1bbl\ cuttings) = (100-V_{solids})/V_{solids}$$

حيث أن ($V_{solids}$) حجم الفتات المحفور معبراً عنه بالنسبة المئوية.
حيث أن الفتات المحفور يصبح معيقا أكبر عندما ترتفع كثافة سائل الحفر ، حيث ومن أجل سوائل حفر بكثافات أقل من 12lb/gal فيكون فتكون النسبة المفضلة $V_{solids} < 5\%$ ،
بينما من أجل كثافات سائل حفر 18lb/gal فتكون النسبة المفضلة $V_{solids} < 2-3\%$
الكلفة لهذه الكمية الإضافية لسائل الحفر (مع إهمال الضياعات أسفل البئر ) هي مجموع لكلفة سائل الحفر بالإضافة لكلفة التخلص منها ، إن كلفة التخفيف هذه مرتفعة بشكل عام لدرجة أن الإستثمار بواسطة معدات الفصل يكون أكثر إقتصادية ، وإن إزالة الفتات المحفور على جهاز الحفر تتمثل بواحدة أو أكثر من التقنيات التالية :

1- الغربلة : مثل المناخل الهزازة
2- الدواميات : فواصل الرمل والسلت
3- الطرد المركزي
4- الترقيد الجذبي : البرك – وحدات نزح المياه

غالباً ما تكون هذه المعدات الفاصلة هي المستخدمة وفي بعض لأحيان يتم الجمع بينها مثل حالة منظف الطفلة وهو عبارة عن دوامية مثبتة على غربال هزاز.

وهناك أيضاً نوع آخر من الأجهزة المركبة وهو مجفف الفتات ( يدعى أيضاً بالهزاز الدوراني) وهو عبارة عن جهاز طرد مركزي مع هزازات بشكل مخروطي ويستخدم هذا الجهاز من أجل فصل الفتات عن سوائ الحفر ذو الأساس الغير مائي (NAF) وتخليص معظم الغضار(البنتونايت) من على أسطح الفتات المحفور قبل التخلص منها.

ويمكن أن تساعد أجهزة أخرى على تعزيز كفاءة إزالة الفتات المحفور مثل فاصل الغاز بضغط التخلخلي أو بالضغط الجوي حيث يتم تثبيته أحياناً ( قبل أي أجهزة طرد مركزية عادة بين الهزازات وفواصل الرمل ) وذلك من أجل التخلص من الهواء المحمول ضمن سائل الحفر الذي يمكن أن يسبب ظاهرة التكهف في المضخات ويخفض من كثافة سائل الحفر.

ومع ظهور أنظمة الدورة المغلقة فإن نزح المياه من سوائل الحفر ذات الأساس المائي قد لاقت دعماً كبيراً ووجد أنه من المفيد وضع وحدة فصل مياه على مجرى أنظمة التحكم بالمكونات الصلبة التقليدية.

فواصل المياه عادة تستخدم خزانات ترقيد كيميائية مع بوليميرات لترقيد كافة الفتات الصلب لجعل سائل الحفر خالي من الفتات الذي سوف يعود للنظام العامل ،وحدات نزح المياه تقلل من حجوم النفايات ومن تكاليف التصريف بشكل كبير وهي أكثر إقتصادية عند إستخدامها لمعالجة سوائل الحفر باهظة الثمن.

إن معدات التحكم في محتوى المكونات الصلبة على جهاز الحفر مصممة لإزالة المواد الصلبة المحفورة وليس جميع المكونات الصلبة من سائل الحفر وعلى هذا يجب ضبط الأجهزة لترك المواد الصلبة مفيدة معلقة ضمن سائل الحفر مثل المواد المثقلة حيث أن إستخلاص الفتات المحفور يتراوح حجمها من بضعة ميليمترات إلى بضعة ميكرونات ، وعلى الرغم أن هذا الفصل المثالي بين المواد المرغوبة و الغير مرغوبة مطلوب إلا أنه غير ممكن لان المزايا التي تقدمها معدات التحكم بالمواد الصلبة تبقى محدودة ازاء هذا الإجراء المثالي ، حيث تم تصميم كل جهاز لإزالة كمية معينة ونطاق حجوم معين من المواد الصلبة وإن المفتاح للتحكم في محتوى المواد الصلبة هو الاستخدام المناسب لمزيج من المعدات لحالتها الخاصة و الترتيب الصحيح لمواضعها والتأكد من عملها بالشكل الأمثل ، وهذا يتطلب بدوره توصيف دقيق للمواد الصلبة المحفورة جنباً إلى جنب مع الهندسة الأمثل و الصيانة الجيدة لسائل الحفر.

# الفصل الثانـي

# الخواص الجريانية لسائل الحفر

## الفصل الثاني
## الخواص الجريانية لسائل الحفر

### 2-1 – الريولوجيا

عبارة عن علم تشوه وجريان المادة و اللزوجة هي مقياس للمقاومة التي تبديها المادة لقوة التشوه.

القص يسود معظم الجوانب المتعلقة باللزوجة خلال عمليات الحفر ولهذا السبب فإن لزوجة القص ( اللزوجة) لسائل الحفر هي خاصة يجب أن تكون معروفة بدقة ومسيطر عليها بدقة ويعتقد أن الإحتفاظ بالفتات المحفور هو في المقام الأول وظيفة لزوجة سائل الحفر وخصائصه للتبليل.

ومن جهة أخرى فإن سال الحفر ذي اللزوجة المرتفعة مع معدلات القص العالية تميل إلى إظهار قدر أكبر من إبقاء سائل الحفر على الفتات المحفور وتقليل كفاءة الأجهزة عالية القص مثل المناخل الهزازة ، وعلى العكس فإن اللزوجة المرتفعة عند معدلات القص المنخفضة يقلل من فعالية الأجهزة منخفضة القص مثل أجهزة الطرد المركزي حيث أن سرعة رقود الفتات والفصل تتناسب مع اللزوجة عكساً وسوف تقلل المياه والمرققات من هذين التأثيرين.

وأيضاً خلال الإجراءات التي تولد كميات كبيرة من فتات الحفر مثل ( القشط – التوسيع) من المهم زيادة معدل دورة الضخ أو التقليل من معدل الإختراق .

وبعض سوائل الحفر يمكن أن تظهر مرونة إلى جانب اللزوجة هذه السوائل اللزجة المرنة تملك بعض صفات الطور الصلب مثل المرونة وبشكل خاص عند معدلات القص المنخفضة جنباً إلى جنب مع الصفات المعتادة للسوائل مثل اللزوجة.

سوائل الحفر ذات القص القليل مثل الداخل في تركيبها صمغ الزانثان تميل إلى أن تكون لزجة ومرنة يمكن أن تقلل من كفاءة الأجهزة ذات معدل القص المنخفض مثل خزانات الفصل الثابتة وأجهزة الطرد المركزي ، والسوائل اللزجة المرنة تعتمد كما ورد أعلاه على التدفق في القص.

وهناك أنواع أخرى من السوائل اللزجة المرنة التي تتلقى الآن الإهتمام والدراسة قد تكون هذه الخاصية هامة في معدلات التدفق العالية بما في ذلك التدفق من خلال رأس الحفر وربما في أجهزة التحكم في المواد الصلبة.

البوليميرات النشطة سطحياً العالية الوزن الجزيئي (HMW) مثل (PHPA) و 2امينو كريل –2–ميتيل – حمض سلفونيك البروبان (AMPS) وهي تستخدم كمغلفات للشيل حيث ينتج لزوجة ممتدة عالية.

سوائل لحفر ذات للزوجة الممتدة وخصوصاً سائل الحفر حديث الاستخدام تميل إلى الخروج من الهزازات وإن إضافة الفتات الناعم أو الفائق النعومة مثل البارايت أو البنتونايت سيقلل من هذا التأثير.

### 2–1–2– النماذج الريولوجية

إن لزوجة القص معرفة من النسبة بين إجهاد القص غلى معدل القص من العلاقة :

$$\mu = \tau/\gamma.$$

إن الوحدة التقليدية للزوجة هي البواز (P) أو ما يقابلها 0.1Pa.Sec

وبشكل عام فإن سوائل الحفر تقدر لزوجتها عادة بأجزاء من البواز ولهذا فإن الوحدة المشتقة منها وهي السنتيبواز تستخدم عادة وهي :

$$1CP = 0.01P = 1MPa.Sec$$

وللسوائل النيوتونية مثل الماء أو الزيت الصافي لزوجة مستقلة عن معدل القص لذلك عندما ترتفع سرعة السوال النيوتونية في المواسير أو في الفراغ الحلقي سيكون هناك زيادة مطابقة في إجهاد القص عند الجدار وتكون اللزوجة الفعالة ثابتة وتسمى ببساطة اللزوجة وإعادة ترتيب علاقة اللزجة يكون من الشكل :

$$\tau = \mu \cdot \gamma$$

والعلاقة بين إجهاد القص ومعدل القص سوف تعطي خط مستقيم يمر من نقطة الصفر (المبدأ الإحداثي)، أما سوائل الحفر الغير نيوتونية تكون لزوجتها غير مستقلة عن معدل القص وبعبارة أخرى فإن العبارة المستخدمة لتعيين لزوجة المواد الغير نيوتونية هي :

$$\mu_e = \tau/\gamma$$

وهي العلاقة المعطية للزوجة الفعالة للتأكيد على أن معدل القص الذي يقابل لزوجته يحتاج إلى تحديد .

جميع سوائل الحفر شائعة الإستخدام تقل لزوجتها بزيادة معدل القص.

إن الموديلات الريولوجية تستخدم لوصف إجهاد القص المقابل لمعدلات القص وسلوكها وأكثرها شهرة نموذج بنغهام البلاستيكي وهو الأبسط حيث يبدي إجهاد القص غير صفري عند معدلات قص صفرية وهو من العلاقة :

$$\tau = \mu_p \cdot \gamma + \tau_0$$

أو:

$$\mu_e = \tau/\gamma = \mu_p + \tau_0/\gamma$$

حيث تمثل $\mu_p$ اللزوجة البلاستيكية وتمثل $\tau_0$ إجهاد القص الأولي وهو الإجهاد المطلوب لبدء الجريان .

$\mu_p$ تماثل $\mu$ في معادلة السوائل النيوتونية وذلك مع زيادة معدل القص بالقرب من الصفر واللزوجة الفعالة بالقرب من اللزوجة البلاستيكية

إن نموذج بنغهام البلاستيكي هو نموذج لزوجة قياسي يستخدم في الصناعة النفطية الذي يمكن إستخدامه لتناسب معطيات اللزوجة ذات معدلات القص العالية بشكل جيد ومعقول.

$\mu_p$ ترتبط بشكل عام بلزوجة أساس سائل الحفر وبعدد وشكل وحجم المواد الصلبة في الطفلة بينما أجهاد الخضوع يرتبط مع ميل المكونات لبناء مقاومة قص ، ولكن عند قياسات اللزوجة ذات القص العالي فإن نموذج بنغهام البلاستيكي يفرط في تقدير اللزوجة ذات معدلات القص المنخفضة لمعظم سوائل الحفر .

نموذج قانون الطاقة أو كما يسمى بنموذج أوستفالد يتجه نحو منحى آخر ويمكن أن تمثل بالعبارة التالية :

$$\tau = K \cdot \gamma^n$$

أو

$$\mu_e = \tau/\gamma = K \cdot \gamma^{n-1}$$

حيث K يمثل درجة اللزوجة و n تمثل عامل طور الجريان .

إن قانون الطاقة يقلل من تقدير اللزوجة ذات معدلات القص المنخفضة وفي الواقع أن في هذا النموذج أن قيمة أجهاد القص عند معدلات القص الصفرية هي تساوي الصفر أيضاً.

ولحل هذه المشكلة هذه المشكلة عند معدلات القص المنخفضة تم إقتراح نموذج هيرشل بوكلي والذي يمكن إعتباره نموذج مركب بين نموذج أوستفالد و نموذج بنغهام البلاستيكي وهو في الأساس نموذج الطاقة مع إجهاد خضوع :

$$\tau = K \cdot \gamma^n + \tau_0$$

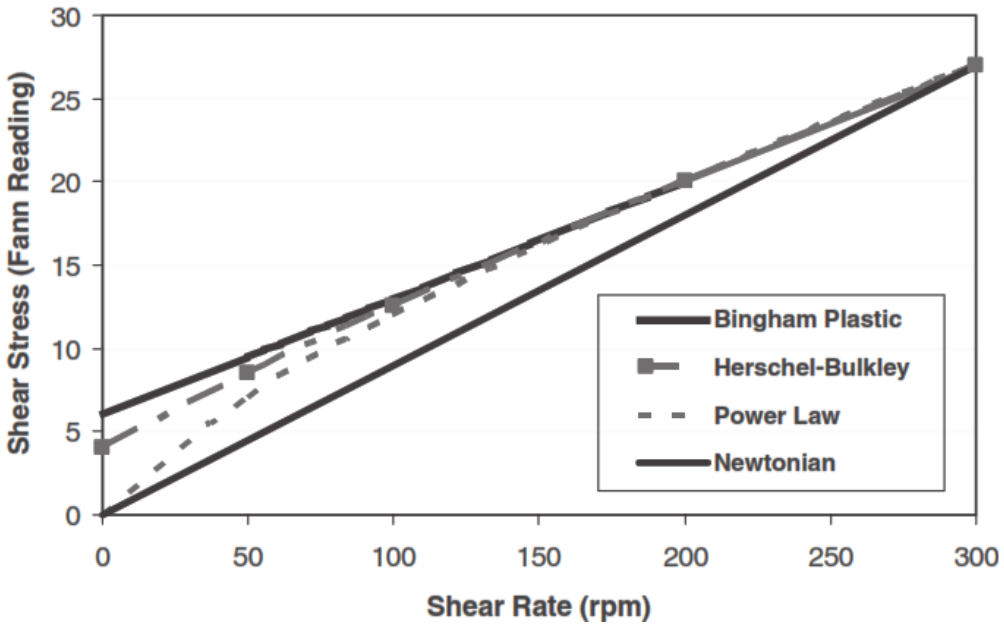
أو

$$\mu_e = \tau/\gamma = K \cdot \gamma^{n-1} + \tau_0/\gamma.$$

ويظهر تمثيل النماذج الريولوجية الثلاث في الشكل (2-1) لكل من سوائل الحفر الغيرمائية (NAFs) وسوائل الحفر المائية (WBMs) .

نموذج هيرشل بوكلي يعمل بشكل أفضل من نموذج بنغهام البلاستيكي ومن أجل سوائل الحفر البوليميرية ذات الأساس المائي فإن نموذج الطاقة يبدو مناسبا أكثر من النماذج الباقية.

والأفضل هو نظام الطاقة المزدوجة : وهو نموذج من أجل معدلات القص المنخفضة في معدلات الجريان في الفراغ الحلقي ونموذج من أجل معدلات القص المرتفعة في نظام الجريان داخل مواسير الحفر.




الشكل(2-1) الموديلات الريولوجية لسوائل الحفر

وهناك نماذج أخرى تم إستخدامها أيضا بما فيها النموذج المتري الذي يصف بنية الجزيئات المعلقة بشكل جيد ونموذج كاسون الذي يصف معطيات السائل ذو الأساس النفطي بشكل جيد.

ولكن وبشكل عام ليس هناك أي من النماذج السابق ذكرها تم اعتماده بشكل شائع في دراسات سائل الحفر .

### 2-2- قياسات اللزوجة :

البارامترات الريولوجية لسائل الحفر عادة تقاس بواسطة مقياس لزوجة بأسطوانة ممركزة مثل جهاز fann الذي يملك الهندسة ليعطي تعبيرا عن البيانات المناسبة لنموذج بنغهام البلاستيكي ويدخل من أجل الحساب العلاقة رقم : (API-RP-13D) وهي :

$$\vartheta_\omega = [(\vartheta_{600} - \vartheta_{300})/(600 - 300)] \cdot \omega + [\vartheta_{300} - (\vartheta_{600} - \vartheta_{300})].$$

وهذا يتيح الحساب من أجل قراءة fann حيث تقاس $\vartheta_\omega$ بالدرجة عند سرعة جهاز ɯ المقاسة ب(rpm) وتمثل $V_{600} - V_{300}$ قراءة جهاز fann عند السرعات 300-600 rpm على التوالي:

ويمثل الحد :

$$(V_{600} - V_{300})/(600-300) = \mu_p$$

والحد:

$$V_{300} - (V_{600} - V_{300}) = \tau_0$$

وبالإجماع تمت تسمية الحد $(V_{600} - V_{300})$ في الحقول ب (PV) وتكتب على الشكل :

$$PV = \mu_p \cdot (600-300) = 300\ \mu_p$$

وبشكل مماثل $\tau_0$ سميت بنقطة الخضوع أو (YP) فتكون :

$$\vartheta_\omega = (PV/300) \cdot \omega + YP$$

إن معدل القص في المواسير يقارب بشكل عام المجال $511-1022\ Sec^{-1}$ أي سرعات جهاز fann عند المجال (300-600rpm) بينما في الفراغ الحلقي الجريان يكون بقدر أقل مثلاً $5.1 - 170 Sec^{-1}$ (سرعات جهاز fann عند (3 -100 rpm)

لتغيير سرعة جهاز fann إلى الوحدة $Sec^{-1}$ فيكون :

$$Sec^{-1} = (rpm) \cdot 1.7$$

ولتغيير قراءة fann إلى واحدة $dyn/cm^2$ يكون :

$$V\ (degree) = (dyn/cm^2) \cdot 5.11$$

حقيقة أن ال (YP) تقاس ب (degree) ولكن عادة توضع في التقارير بواحدة ($lb/100ft^2$) حيث أن الواحدات متكافئة تقريبا اي:

$$1degree = 1.067\ lb/100ft^2$$

نموذج بنغهام البلاستيكي ليس فقط سهل التطبيق فيمكن أن يكون أيضا مفيد في تحديد مشاكل في سائل الحفر ، ولأن الكهروكيمياء تؤثر على معدلات القص المنخفضة فإن (YP) هو مؤشر جيد للتلوث الذي يؤثر على البيئة الكهروكيميائية.

وعلى النقيض فإن (PV) تابع للزوجة الأساس السائلي للطفلة وتركيز المواد الصلبة وبالتالي (PV) هو مؤشر جيد للتلوث من المواد الصلبة المحفورة.

تطبيقات لنموذج قانون الطاقة ونموذج هيرشل بوكلي على جهاز fann الدوار ، ويمكن تطبيق نموذج قانون الطاقة على قراءات fann من اللزوجة بإستخدام العلاقة التالية :

$$Fann\ reading = k\ (fann\ speed)^n$$

وللحصول على قيم تمثل كل من k.n فمن الأفضل وضع تناسب بين كل من قراءات الجهاز مع النموذج ، وهناك أسلوب إحصائي بسيط مثل مربع الإنحدار الأصغري يمكن أن يفي بالغرض.

وإذا لم يتوفر حاسب مع برامجه وكان نظام الجريان مفهوم بشكل واضح فإن قرائتين من الهاز كافية لتقدير كل من k.n ، وبطبيعة الحال هذا سوف يؤدي إلى إيجاد قيمة k.n في نطاق سرعة لجهاز المعطى من خلال قرائتين من الجهاز.

من أجل تقدير قيم كل من k.n في نموذج الطاقة البسيط من قرائتي الجهاز يجب أخذ لوغاريتم كلا الطرفين من المعادلة وإستبدال بيانات القراءات للجهاز ذات الصلة مع السرعات :

$$\text{Log (Fann Reading)} = \text{Log}\,K + n\,\text{Log (Fann Speed)}.$$

**وعلى سبيل المثال:**

حدد جريان سائل الحفر في المواسير ومعدل القص في المجالات المعطاة بالسرع – 300 600 rpm على جهاز fann فإذا كانت القراءات للجهاز كالتالي :

50 – 30 – 20 – 8 عند السرعات : 600 rpm – 300 – 100 – 6 على التوالي .

الحل:

$$\text{Log}(50) = \text{Log}\,K + n\,\text{Log}(600)$$

و

$$\text{Log}(30) = \text{Log}\,K + n\,\text{Log}(300).$$

وبطرح المعادلة الثانية من الأولى ينتج :

$$n = [\text{Log}(50/30)]/\text{Log}(600/300)] = 0.737.$$

ويمكن تحديد قيمة K بتعويض القيمة n = 0.737 بإحدى المعادلات السابقة فيكون :

$$\text{Log}(50) = \text{Log}\,K + (0.737)\text{Log}(600)$$

$$K = 0.448$$

إن تطبيق هذه المعادلات على معدلات القص المنخفضة سيعطي نتائج غير دقيقة كما طبق أعلاه.

على سبيل المثال عند (6rpm) تكون قراءة fann المحسوبة هي :

$$\text{Fann Reading} = 0.448(6\,\text{rpm})^{0.737} = 1.68$$

فتكون اللزوجة :

$$\text{Viscosity} = [(\text{Fann Reading})(511)/(\text{Fann Speed})(1.7)] = 84\,\text{cP}.$$

وبالمقارنة مع نتاج نموذج بنغهام يعطي :

$$\text{Fann Reading} = (\text{PV}/300)\cdot\text{Fann Speed} + \text{YP}$$
$$= (20/300)(6\,\text{rpm}) + 10 = 10.4$$

وتكون اللزوجة عند 6rpm هي :

$$\text{Viscosity} = [(\text{Fann Reading})(511)/(\text{Fann Speed})(1.7)] = 521\,\text{cP}.$$

ولذلك يجب عدم استخدام أي من هذه النتائج الريولوجية للاستنتاج خارج نطاق البيانات المضبوطة لأجلها .

إن نموذج هيرشل بوكلي أكثر صعوبة للتطبيق طالما هناك ثلاث مجاهيل وليس هناك حل بسيط مناظر لها بالإضافة إلى أن حساب كل من $\tau_0$ . k . n بشكل عام يتم بشكل تكراري متعب وهو من الصعب إنجازه دون برامج حاسوبية .

# الفصل الثالث

# أنواع رؤوس الحفر

# الفصل الثالث

# أنواع رؤوس الحفر

## 3-1- رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية (tricone bits):

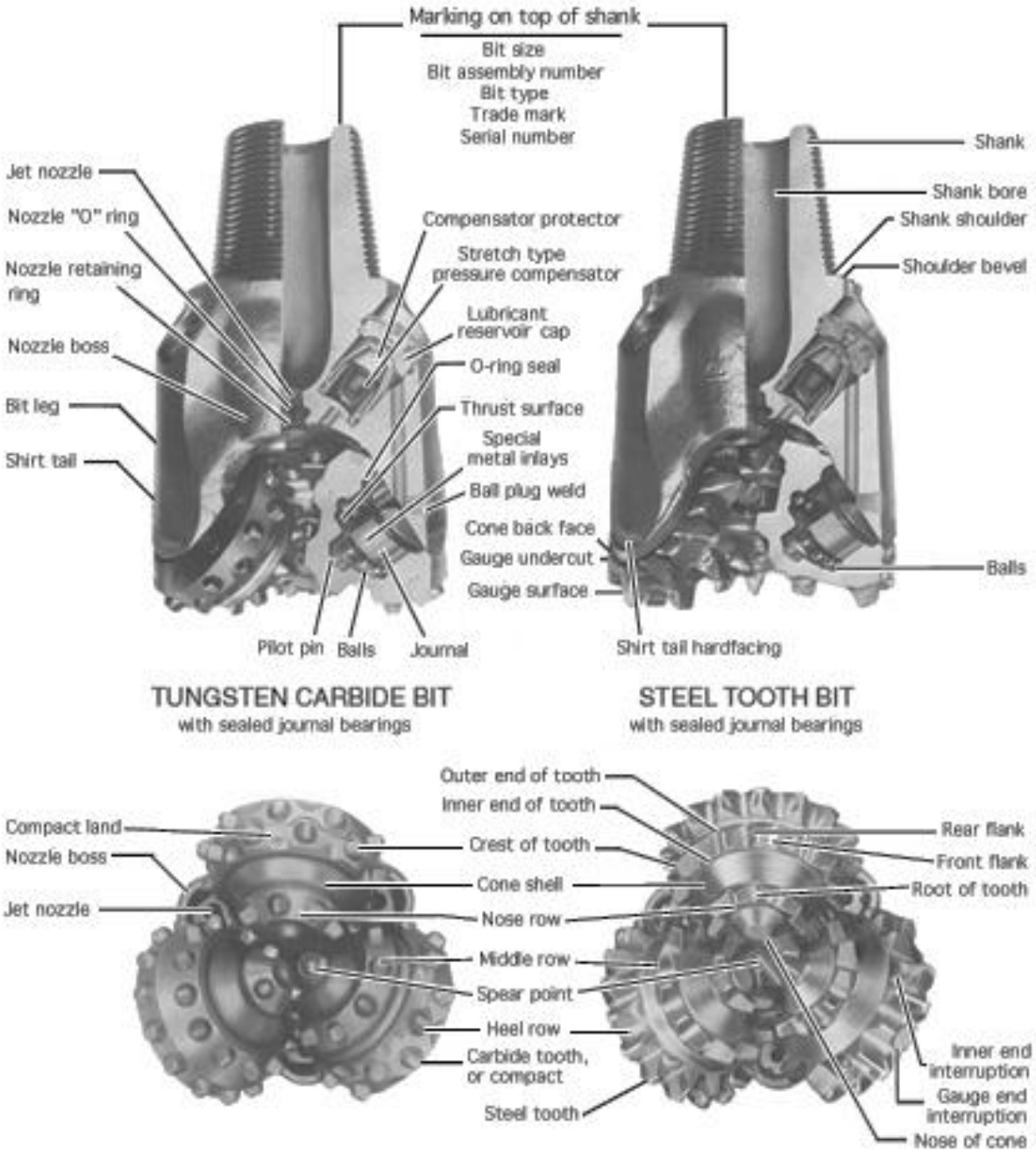
تتألف رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية من ثلاث مكونات أساسية: السنّ، التروس، وجسم الرأس، حيث يتمّ تركيب التروس المخروطية على الأوتاد (المسامير) والتي تمثّل الجزء المكمّل لجسم الرأس، وبينهما توجد البيليات التي تعمل على تثبيت الترس مع الوتد، وتعمل على امتصاص الحمولات النصف قطرية والدفعية.

عناصر القطع هي عبارة عن صفوف محيطية من الأسنان الممتدة من كلّ مخروط و تشتبك مع صفوف الأسنان على المخاريط المجاورة.

والشكل (3-1) يعرض لنوعين من رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية:

1-رأس الحفر بأسنان مزروعة (كربيد التنغستن) tungsten carbide bit

2-رأس الحفر بأسنان فولاذية steel tooth bit




رأس حفر بأسنان فولاذية رأس حفر بأسنان مزروعة

الشكل (3-1)رأس حفر ذو ترس مخروطي

**- شرح المكونات:**

التثبيت على أعلى الجذع : Marking on top of shank

كريات:Balls ، خرطوم"O"حلقة"O" ring": Nozzle , فالة:Jet nozzle

سدادة الحلقة: "O" O-ring seal, حلقة تثبيت خرطوم:Nozzle retaining ring

جذع : Shank, ذيل القميص:Shirt tail, سنام خرطوم:Nozzle boss

السطح الدفعيّ:Thrust surface, واقي المرشّح:Compensator protector
مرشّح الضغط من النوع الطولي:Stretch type pressure compensator
مسمار تثبيت دليلي:"Pilot pin, غطاء خزان التشحيم:Lubricant reservoir cap
لحام سداد كريات:Ball plug weld, حشوة معدنية خاصة:Special metal inlays
ثقب الجذع:Shank bore , جزء إسناد محور على مسند:Journal
وصلة الجذع:Shank shoulder
منطقة انضغاط:Compact land, الوجه الخلفي للمخروط:Cone back face
سطح المقياس:Guage surface, قطع تحت حافة المقياس:Guage under cut
إضافة طبقة سطحية لزيادة مقاومة ذيل القميصShirt tail hard facing
تجويف مخروطي:Cone shell, رأس السنّCrest of tooth
صفّ النهاية الخلفية:Heel row, صفّ أوسط:Middle row, صفّ أولي:Nose row
سنّ الكربيد أو المضغوطة:Carbide tooth, or compact

رأس الشوكة:Spear point, جدار خلفي:Rear flank
قاعدة السنّ:Root of tooth, جدار أمامي:Front flank

### 3-2- رؤوس الحفر الألماسية (diamond head bits):

الماس هو شكل متحوّل تدريجياً من الكربون، يتشكل الماس الطبيعي عند درجة حرارة وضغط مرتفعين، عند درجة حرارة وضغط مرتفعين فإن الماس هو الشكل الثابت من الكربون، ولكن عند درجات الحرارة والضغط المحيطة العادية فإن الغرافيت هو الشكل الثابت، في حال تسخين الماس إلى درجة حرارة تقارب $1300^{o}C$ ضمن الضغط المحيط، فإنه سيعود مباشرة إلى شكل الغرافيت، بالإضافة لذلك سيحترق الماس في حال تسخينه إلى درجة حرارة حوالي $800^{o}C$ في وجود الأوكسجين.

الماس هو أقسى مادة طبيعية، ويتم اختيارها في التطبيقات الصناعية بسبب صلابته الشديدة، وقوة انضغاطه العالية، ناقليته العالية للتيار و قدرة تسخينه العالية.

الوحدة التجارية الشائعة غالباً من وزن الماس هي القيراط (1carat = 200milligram)، لتحديد الحجم في التطبيقات الصناعية، يتمّ استخدام عدد الأحجار لكلّ قيراط بشكل اعتيادي.

الماسات الطبيعية الموضوعة ضمن رؤوس الحفر (5-15)ماسة لكل قيراط ،في حالات استثنائية يتم استخدام أحجار أكبر تصل لحجر واحد لكل قيراط.

عناصر القطع الماسية الطبيعية تأتي بدرجات وأحجام مختلفة لعدّة تطبيقات، ويتم تصنيفها حسب البنية الكريستالية وشكل الماسة، تتم معالجة بعض الماسات الطبيعية كيميائياً و ميكانيكياً للحصول على سطح قطع مصقول أكثر و من أجل مقاومة قصّ أكبر.

تُستَخدم ماسات طبيعية معدّلة صغيرة غالباً في رؤوس الحفر الخاصة بأخذ العينات الباطنية.

تعتمد درجة الماسة المستخدمة على نوع الحفر، وعلى مساحة رأس الحفر، حيث يتم وضع الماسة.

**الماسات المستخدمة في رؤوس الحفر الماسية الطبيعية موجودة ضمن خمس درجات:**

**1.الماسات ذات الجودة الممتازة** Premium : ذات شكل مدوّر، مما يجعل الأحجار ذات فائدة كبيرة، هذه الماسات ذات قوة ضاغطة كبيرة ،تكون ذات فعالية خاصة في الشيل وفي الطبقات الصلبة المتشققة.

**2.الماسات الممتازة الاستثنائية** Special Premium **SP:** هي عبارة عن أحجار حادّة أكثر من الماسات ذات الجودة الممتازة، وستزيد ROP نسبة حوالي 5% في الطبقات المتوسطة القساوة، وتصل لحدّ 20% في الطبقات الأقسى، يُنصَح بأحجارSP من أجل الصخور الرملية القاسية، لا يُنصَح بها من أجل الطبقات المتكسّرة أو المتشققة لأنّ له قوة ضاغطة أقلّ من الأحجار ذات الجودة الممتازة.

**3.الماسات القياسية**Standard :مشابهة للماسات الممتازة ولكنها أقلّ جودة منها، تقوم هذه الأحجار بأداء جيد في حين تكون قياسات الماسات صغيرة.

**4.الماسات المكعّبة** Cube : هي أحجار كبيرة الحجم، حادة، ضخمة والتي يمكنها زيادة النفاذ إلى حدّ 20% في الطبقات الأقلّ صلابة، هذه الأحجار لها مقاومة للضغط والكشط أقلّ من الأحجار المدوّرة ولا ينصح بها للحفر في الطبقات المتشققة والصلبة.

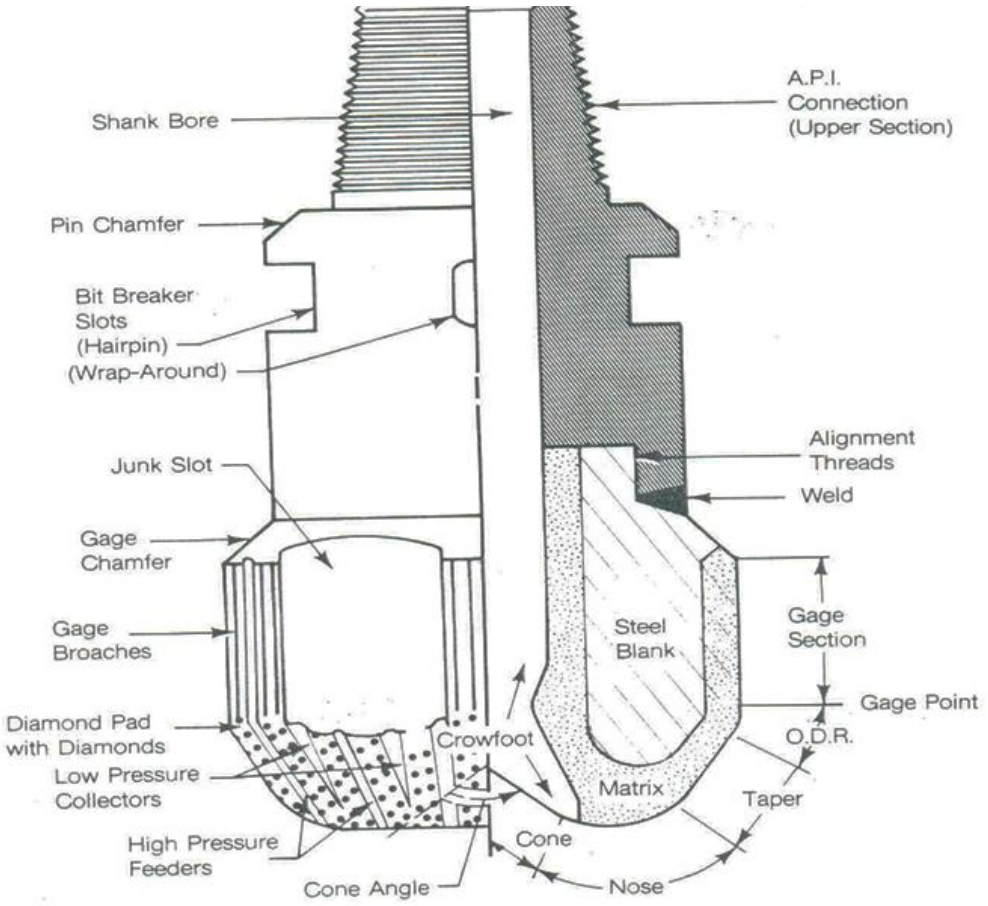
**5.الأحجار الكربونية** Carbonado : هي عبارة عن ماسات حادّة ذات شكل غير منتظم هذه الماسات ليس لها أسطح مستوية للشقّ مثل الماسات الطبيعية الأخرى، ولكن لها بنية كريستالية

عشوائية والتي تؤمّن مقاومة ضغط فائقة، تستخدم هذه الأحجار بالترافق مع استخدام أنواع أخرى من الأحجار لتحسين أداء الحفر عبر التشكيلات المتشققة ،توضع أحجار carbonado في القمّة، أو الحافّة الأمامية من رأس الحفر بسبب قدرتها على تحمّل الصدمة.

يتمّ اختيار أحجام الماسات من أجل رؤوس الحفر وفقاً لنوعية الصخور المخترقة رؤوس الحفر التي تستخدِم أحجاراً أصغر تستخدَم من أجل حفر التشكيلات الأقسى لأنّ الماسات الأصغر تؤمّن مقاومة انضغاط أكبر .

تؤمّن الماسات الأكبر تعرّضًا أكبر من أجل نسبة اختراق أفضل عبر التشكيلات الأقل صلابة (لكن غير رخوة)، بالإضافة إلى أنّ التعرض المتزايد للأحجار الأكبر يزيد المسافة بين رأس الحفر و الصخر من أجل انتقال القطع بسهولة و تنظيف أفضل لرأس الحفر

بشكل عام، بسبب عمق قصّها المحدود، فإنّ رؤوس الحفر الماسية الطبيعية بشكل نموذجي ذات معدل اختراق قليلة (1.5 to 5 m/h). والشكل(3-2) يبين رأس حفر ألماسي Natural Diamond Bits




الشكل(3-2) رأس حفر ألماسي

**- شرح المكونات:**

سطح مشطوب مسماري : Pin Chamfer ,فتحة الجذع:Shank Bore

فتحات قاطع رأس الحفر (دبوس) (Hairpin) Bit Breaker Slots

فتحة الحشو : Junk Slot ,انحناء(اعوجاج):(Warp-Around)

زاوية المخروط : Cone Angle , السطح المشطوب للمدى:Gage Chamfer

مسامير محور قفل المدى (الاتساع) : Gage Broaches

حشوة ماسية : Diamond Pad with Diamonds

أقطاب الضغط المنخفض : Low Pressure Collectors

انحناء : Crowfoot ,مغذيات الضغط العالي:High Pressure Feeders

مادة الترابط : Matrix ,الرأسي(الامامي):Nose ,مخروط:Cone

مقطع المدى (الاتساع) : Gage Section ,نقطة المدى (الاتساع):Gage Point

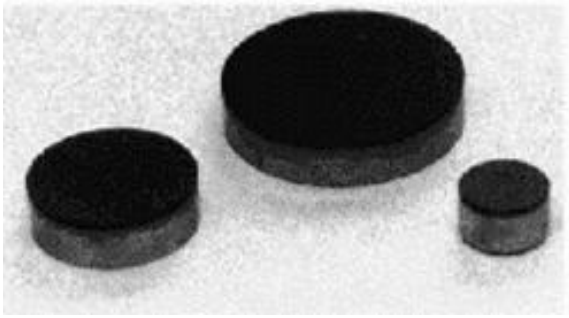
براغي التعديل (التراصف) : Alignment Threads ,اللحام:Weld

ارتباط (مقطع علوي) (Upper Section) A.P.I Connection

**3-3- رؤوس الحفر PDC:** polycrystalline diamond compact

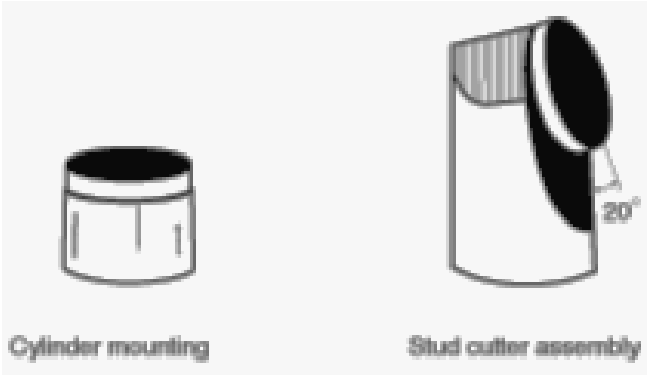
تتألّف الماسات الصناعية الأصليّة من كريستالة واحدة فقط، بسبب تطوير تقنية التصنيع أصبح من الممكن إنتاج طبقة متعددة الحلقات من الألماس والمكوّنة من عدّة ماسات صغيرة جدّاً تنشأ سويّة ضمن توجيه عشوائيّ. التوجيه العشوائي يمنح قوة ومقاومة قصّ عظمى.

تتألف ما تسمّى المضغوطات Compacts (الشكل 3-3) من طبقة من ماسات متعددة الحلقات مرتبطة بطبقة قاعدية متكتّلة من كربيد التنغستين في ظلّ نفس الشروط المستخدمة لإنشاء الماسات، السماكة النموذجية لطبقة الماسات هي (0.5mm) فوق طبقة قاعديّة من كربيد التنغستين، طبقة كربيد التنغستين التي ترتبط بها الماسة تعزّز طبقة الماس و تؤمّن المقاومة المطلوبة للانضغاط.



الشكل(3-3) الماس المضغوط

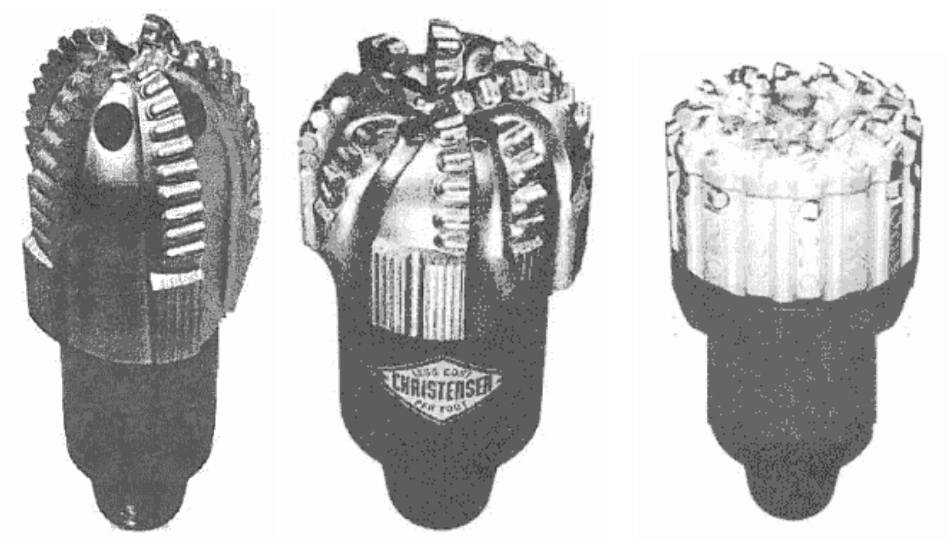
المضغوطات مرتبطة بقوائم كربيدات التنغستين والتي بدورها متصلة بجسم رأس الحفر إما باستخدام أسلوب اللحام الحراري أو بواسطة ضغطهم داخل ثقب تمّ حفره مسبقاً بتداخل مناسب، القاطع على اليسار في الشكل(3-4)اسطواني والذي يتمّ لحمه بشكل عامّ، القاطع القائم الموضح في يمين الشكل مستخدم في جميع رؤوس الحفر الفولاذي وقد يكون إما تداخلاً مناسباً داخل جسم الرأس أو قد يكون ملحوماً.




الشكل(3-4) بعض أنواع المضغوطات

الميزة ذات الأهمية العظمى لرؤوس الحفر PDC هي أنّ القاطع ذاتيّ القص (self sharpening) وذلك لأن كربيد التنغستين يحتّ طبقة أكبر و بشكل أسرع من الماسة، هذا أحد أسباب أنّ رؤوس حفر PDC يمكنها الحفر بسرعة كبيرة عند حمولة قليلة.

هذه الرؤوس لها ميزة سيئة واحدة وهي تأثر أدائها بدرجة الحرارة المرتفعة، لهذا يجب تجنّب درجات الحرارة المرتفعة، وذلك عن طريق استخدام نظام هيدروليكي مناسب لتبريد المضغوطات، وبالحفر بالوزن المناسب على رأس الحفر وسرعة الدوران المناسبة.
والشكل(3-5) توضح بعض أنواع رؤوس الحفرPDC




مضغوطات صغيرة مضغوطات صغيرة متوسطة مضغوطات صغيرة طويلة

الشكل (3-5) بعض أنواع رؤوس الحفر PDC

# الفصل الرابع
# هيدروليك رأس الحفر

# الفصل الرابع

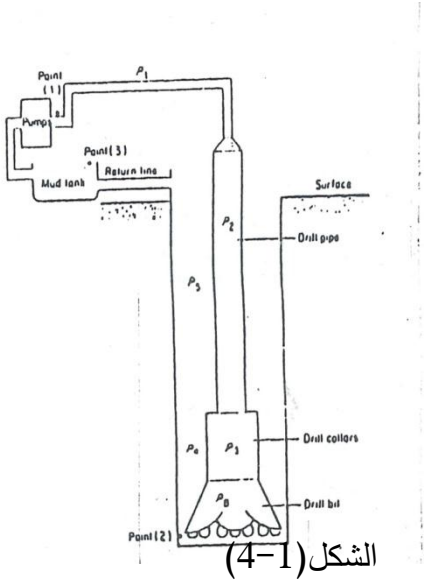
## هيدروليك رأس الحفر

للإستفادة من الطاقة الهيدروليكية لدقاق الحفر وتحديد هبوطات الضغط على الأجزاء المختلفة لمواسير الحفر هي من أهم المواضيع التي تناقش تحت عنوان ( هيدروليك الدقاق ) وتوجد عدة نماذج لحساب هبوطات الضغط في الأنابيب و الفراغ الحلقي.

كل نموذج مبني على العديد من الافتراضات لا يمكن توفرها لكل حالة من حالات الحفر.

هذا الفصل سيغطي المواضيع التالية:

- هبوطات الضغط
- ضياعات الضغط في الوصلات السطحية
- ضياعات في الأنابيب و الفراغ الحلقي .
- هيدروليك الدفاق المثالي .
- ضغط المضخة السطحي
- المعايير الهيدروليكية
- مقارنة بين معايير If و BHP
- اختيار الفالات
- معدل التدفق المثالي



الشكل(1-4)

### 4-1- هبوطات الضغط :

الرسم في الشكل (1-4) حيث يتضمن الأجزاء المختلفة لمواسير الحفر، دقاق الحفر و الوصلات السطحية.

بالقياس إلى قوى الاحتكاك، سيفقد نظام الدوران طاقة عند ضخ السوائل من النقطة (1) إلى النقطة ( 2) و بإعادتها إلى النقطة ( 3) في خزان الطفلة، لذا فإن الهدف من هيدروليك الدقاق هو حساب هبوطات الضغط الناتجة عن قوى الاحتكاك في كل جزء من نظام الدوران .

مثل هبوطات الضغط هذه و في الأجزاء المختلفة لنظام الدوران يمكن مناقشتها عادةً تحت أربعة عناوين :

1- الضياعات في الوصلات السطحية
2- الضياعات في الأنابيب
3- الضياعات في الفراغ الحلقي .
4- الضياعات عبر الدقاق .

تعتبر هذه الهبوطات في الضغط على أنواع السوائل المستخدمة BHHP و نمط الجريان في نظام الدوران IF

- $p_1$ الضياعات في الوصلات السطحية .

الضياعات في الوصلات السطحية $p_1$ هي تلك الضياعات التي تحدث في الأنابيب العمودية و الوصلات الخرطومية الداورة، السويفل و جذع السحب في آلية الحفر.

في حقيقة تقدير ضياعات الضغط قياس الوصلات السطحية مهمة معقدة حيث كل الضياعات تعتمد على الأبعاد و هندسة الوصلات السطحية.

هذه الأبعاد يمكن إن تتغير مع مرور الزمن تبعاً لتغطية المستمرة للسطح بسوائل الحفر.

**4-2- تحديد الضغط الضائع في المعدات السطحية SAVRFACE Connection losses (p)**

**أولاً : نموذج سائل الحفر البنغهامي Bingham plastic model**

P1= E. $.4^{0.8}$ $.pv^{0.2}$ ( psi/bar )

E : ثابت يتحد على نوع المعدات السطحية و يؤخذ من الجداول

| Svrface equipment | value of E | |
|---|---|---|
| | Imperial vnits | Metric vnits |
| 1 | $2.5\ x\ 10^{-1}$ | $8.8\ x\ 10^{-4}$ |
| 2 | $9.6\ x\ 10^{-3}$ | $3.3\ x\ 10^{-3}$ |
| 3 | $5.3\ x\ 10^{-3}$ | $1.8\ x\ 10^{-3}$ |
| 4 | $4.2\ x\ 10^{-5}$ | $1.3\ x\ 10^{-3}$ |

الجدول:4-1

ρ: كتابة مسائل الحفر ( ppg ) ( kg 1 L )

Q : معدل التدفق الحجمي لغزارة المضخة (l/min)

Pv : اللزوجة البلاستيكية ( cp )

حساب داخل تشكيلة الحفر ( الأعمدة و المواسير )

$$\bar{V} = \frac{24.5.Q}{Di^2} \quad (ft/\min)$$

Di : القطر الداخلي ( in )

السرعة المرجحة $vc = \frac{97.pv + 97\sqrt{pv^2 + 8.2d^2.yp}}{\rho.Di}$

Yp : نقطة الخضوع $(Ib/100\,ft^2$

الضغط الضائع ⟵ الجريان خطي : If $\bar{v}$ < v2 flow is laminar

$$p = \frac{l}{300Di}\left(yp + \frac{pv.\bar{v}}{S.Di}\right) \qquad (psi)$$

الضغط ⟵ الجريان مضطرب ⟵ : $\bar{V}$ > VE Flow is turbulent

$$p = \frac{8.91\,.\,10^{-5}\,.\,\rho^{0.8}\,.\,a^{0.8}\,.\,pv^{0.2}\,.L}{D^{4.8}}$$

L : طول مواسير الحفر أو الأعمدة : ( ft )

3- حساب الضغط في الفراغ الحلقي :

oD : القطر الخارجي ( in ) Dc = DH – oD

$$\bar{v} = \frac{24.5.Q}{ph^2 - oD^2} \quad (ft \ / \min)$$

$$Ve = \frac{97.pv + 97\sqrt{pv^2 + 6.2\rho.De^2.yp}}{\rho.Di}$$

الضغط IF V' < Ve flow is laminar

$$p = \frac{l.pv.\bar{v}}{60000.De^2} + \frac{l.yp}{200\,.De}$$

الضغط : If $\bar{V}$> Ve folw is tvrbulent

**4- حساب الضغط الضائع في رأس الحفر:**

$p_{bit} = p_{total} - (p_1 +$ ضغط تشغيل المضخات : Plot

$p_2 + p_3)$

**5- تحديد السرعة عبر الفالات :** $\boldsymbol{vn} = 33.26\frac{\sqrt{p_{nit}}}{\rho}$

**6- المساحة الكلية للفالات :** $\boldsymbol{A_n} =$

$0.32\ \frac{Q}{V_n}\ (in)^2$

و يتم تحديد قطر الفالات بالضرب بـ32

$$dn = \left(\sqrt{\frac{4.\Delta n}{3\pi}}\right)32$$

Power – law model

**ثانياً : نموذج لمائع المنخفض الطاقة : اوستفالد**

**1- تحديد الضغط الضائع في المعدات السطحية** : نفس العلاقة عند نموذج سائل الحفر البنغهامي

**2- تحديد n , k :**

$$cl_{600} = 2\,pv + yp$$

$$n = 3.32\log(\frac{Q600}{Q300}) \qquad k = \frac{Q300}{(511)^2} \qquad Q_{300} = pv + yp$$

**3- حساب الضغط داخل تشكيلة الحفر ( الأعمدة – المواسير )**

$$\bar{V}_c = \left[\frac{5.82\ 10^4.k}{p}\right]^{\frac{1}{2-n}} \qquad \left[\frac{1.6}{D}.\ \frac{3n+1}{4n}\right]^{\frac{n}{2-n}} \qquad (Ft/min)$$

D : القطر الداخلي للأعمدة أو المواسير

$$D_c = D_H - oD$$

$$\bar{v} = \frac{24.5\ Q}{{D_n}^2 - oD^2} \quad (ft/min)$$

$$-\ If\ v_c > \bar{v}\ \ flow\ is\ laminar : p = \left[\frac{1.6.\bar{v}}{D}\ \frac{(3n+1)}{4n}\right]^2 \frac{kl}{300\ D}\ (ps.)$$

$$-\ If\ v_c < \bar{v}\ \ flow\ is\ turbulent : p = \frac{8.9\ (10^{-5}).r^{0.8}.Q^{1.8}.(pv)^{0.2}.l}{D^{4.8}}$$

L: الطول ( *Ft* ) .

**4- حساب الضغط في الفراغ الحلقي :**

$$v_c = \left[\frac{3.87(10^4)n}{\rho}\right]^{\frac{1}{2-n}} \left[\frac{2.4}{D_2 - OD}\left(\frac{(2n+1)}{3n}\right)\right]^{\frac{n}{2-n}}$$

$$\bar{v} = \frac{24.5\,Q}{D^2{}_n - oD^2}$$

$- If\ v_c > \bar{v}\ flow\ is\ laminar \quad p = \left[\frac{2.4\,\bar{v}}{(D_n - oD)}\,\frac{(2n+1)}{3n}\right]^n \frac{k.l}{300\,(D_n + OD)}\ (psi)$

$- IF\ v_c < \bar{v}\ flow\ is\ tur\ bulent \quad p = \frac{8.9\,(10^{-5}) r^{0.8}\,.Q^{1.8}\,(pv)^{0.2}\,l}{(D_n - oD)^3\,.(D_n + oD)^{1.8}}$

باقي الحسابات تماثل ما ورد في السوائل البنغهامية

تطبيق : باستخدام نموذجي الموائع البنغهامية والموائع منخفضة الطاقة حدد هبوطات الضغط المختلفة والسرعات عبر الفالات و حجم الفالات لمقطع بئر "$12\frac{1}{2}$ (311 mm) و تستخدم مضخات لتأمين غزارة (265 l/min)(700 gpm) مع المعطيات الأتية :

$pv = 12\,Cp, \qquad YP = 12\,B\,/\,100\,ft^2, \ (0.479\,X\,12\,)N/m^2$

$mud\ weight = 8824\ (l\,b\,/\,gal\ )(1.057\,kg\,/l\,)$

$ID_p = 4.276'' = 108.6\text{mm} \quad OD_p = 5'' = 127\text{ mm} \quad \text{lp} = 6480\text{ ft} = 1975\text{ m}$

$ID_C = 2.875'' = 73mm\ \ , oD_c = 8'' = 203\,mm \quad lc = 620\,ft = 189\,m$

$ID_{cas} = 12.565\ = 319\,mm\,, oD_{cas}\ = 13\frac{3''}{8} = 340mm \quad l_{cas}\ = 2550\,ft = 777m$

ضغط تشغيل مضخات : 2200 psi = 151,

**الحل : أولاً : نموذج الموائع البنغهامية**

**1- حساب $p_1$ :**

من الجدول 4-1

$$p_1 = E\,.\rho^{0.8}\,.Q^{1.8}\,.pv^{0.2}$$

$$E = 4.2\ \times 10^{-5}$$

$p_1 = 4.2\ \times 10^{-5}.(8.824)^{0.8}\,.(700)^{1.8}\,.(12)^{0.2} = = 52\,psi \qquad p_1 = 52\,psi$

**2- حساب $p_2$ داخل مواسير الحفر**

$$\bar{v} = \frac{24.5 \,.\, Q}{D^2} = \frac{24.5.\ 700}{(4.276)^2} = 937.97 \frac{ft}{min}$$

$$v_c = \frac{97.(Pv) + 97\sqrt{(Pv)^2\ + 8.2\,.\,\rho\,.\,D^2.YP}}{\rho.D}$$

$$v_c = \frac{97.(12) + (97)\sqrt{(12)^2 + 8.2\,.(8.824\,).(4.276)^2.(12)}}{8{,}824\,.\,4{,}276} = 356\ ft\ /min$$

$$\bar{v} > v_c\ \ flow\ \ \ turbalent$$

$$p_2 = \frac{8.91 \times 10^{-5}\,.\,\rho^{0.8}\,.\,Q^{1.8}\,.\,(pv)^{0.2}\,.\,l}{D^{4.8}}$$

$$p_2 = \frac{8.91\ \times 10^{-5}\,.(8.824)^{0.8}\,.(700)^{1.8} \times (12)^{0.2} \times 6480}{(4.276)^{4.8}} = 670\ psi \quad p_2 = 670\ psi$$

**3- حساب $p_3$ داخل أعمدة الحفر**

$$\bar{v} = \frac{24.5\ \times 700}{(2.875)^2} = 2075 \quad ft\ /\ min$$

$$v_c = \frac{97 \times 12 + 97.\sqrt{(12)^2\ + 8.2 \times 8.824 \times (2.875)^2 \times 12}}{8.824 \times 2.875}$$

$$= 373 Ft/min$$

$$\bar{v} > v_c \text{--}\gg flow\ is\ turbvlent$$

$$p_3 = \frac{8.91 \times 10^{-5}\,(8.824)^{0.8}\,.(700)^{1.8}.(12)^{0.2} \times 620}{(2.875)^{4.8}} = 431\ psi \qquad p_3 = 431\ psi$$

**4-حساب $p_5$ خارج مواسير الحفر**

**1-في الجزء المغلف من البئر :**

$$\bar{v} = \frac{24.5\ .\ 700}{(12{,}565)^2 - (5)^2} = 129.1\ \ ft\ /\ \min$$

$$v_c = \frac{97 \times 12 + 97\sqrt{\ (12)^2 + 6.2\ \times (12.565 - 5)^2 \times 8.824 \times 12}}{8.824\ \times (12.565 - 5)}$$

$$= 299.6\ ft\ /\ \ min$$

$$p_1 = \frac{2550\ \times 12\ \times 129.1}{60000\ (12.565 - 5)^2} + \frac{2550.12}{200(12.565 - 5)} = 21{,}4 \qquad p_1 = 21.4\ psi$$

2- في الجزء المفتوح من البئر :

$$\bar{v} = \frac{24.5 \times 700}{(12.25)2-(5)} = 13.7\ ft\ /\ min$$

$$v_c = \frac{97\ \times 12 + 97\sqrt{(12)^2 + 6.2\ \times (12.25-5)^2\ \times 8.824\ \times 12}}{8.824\ \times (12.25\ -5\ )}$$

$$= 300.1\ ft\ /\ \ min$$

$$p_2 = \frac{3930\ \times 12\ \times 137}{60000(12.25-5)^2} + \frac{3930\ \times 12}{200(12.25-5)} = 35\ psi$$

$$p_5 = 21 + 35 = 56\ psi \qquad p_5 = 56\ psi$$

**5- حساب $p_4$ خارج الأعمدة**

$$\bar{v} = \frac{24.5\ .700}{(12.25)^2-(8)^2} = 199.3\ \ ft\ \ \ /min$$

$$\bar{v} = \frac{97 \times 12 \times 97\sqrt{(12)^2 + 6.2\ \times (12.25-8)^2 \times 8.824\ \times 12}}{8.824\ \times (12.25-8\ )} = 314\ ft\ /\ min$$

$$p_4 = \frac{620\ \times 12\ \times 199.3}{60000.\ (12.25-8)^2} + \frac{620\ \times 12}{200\ (12.25-8\ )} = 10psi \qquad p_4 = 10\ psi$$

**6- حساب $p_{bit}$ :**

$$p_{bit}\ = 2200 - (52 + 676 + 431 + 10 + 56\ ) = 981\ psi$$

**7- حساب السرعة عبر الفالات :**

$$v_n = 33.36\ .\ \sqrt{\frac{p_{bit}}{\rho}} = 33.36\ \sqrt{\frac{891}{8.824}} = 351.7\ ft\ /\ s$$

**8- المقطع الكلي للفالات :**

$$A_n = \frac{0.32.\ Q}{v_n} = \frac{0{,}32.700}{351{,}7} = 0{,}6369\ in^2$$

**9- قطر الفالات :** $= 32\sqrt{\frac{4A_n}{3\lambda}} = 16.64$

نختار فالتين من القياس ( 17") و واحدة قياس ("16) المساحة الكلية للفالات $0{,}6397\ in^2$ وهي أكبر قليلاً من المساحة المحسوبة ( $0.6396\ in^2$ ).

**ثالثاً : نموذج الموائع المنخفضة الطاقة :**

**1- الضياعات السطحية**

$$P_1 = 4.2 \times 10^{-5}.\rho^{0.8}.Q^{1.8}.pv^{0.2} = 52\ psi$$

**2-الضياعات داخل مواسير الحفر :**

$$Q_{600} = 2\ (pv) + yp = 2(12) + 12 = 36$$
$$Q_{300} = pv + yp = 12 + 12 = 24$$
$$n = 3.32 \log\left(\frac{Q\ 600}{Q\ 300}\right) = 0.585$$
$$k = \frac{300}{(511)^n} = 0.6263$$
$$v_c = \left[\frac{5.85\ (10)^4 k}{\rho}\right]^{\frac{1}{2-n}} .\left[\frac{1.6}{D}.\left(\frac{3n+1}{4n}\right)\right]^{\frac{n}{2-n}}$$
$$v_c = \left[\frac{5.85.10^4\ \ 0.626}{8.824}\right]^{\frac{1}{2-0.585}} \left[\frac{1.6.3.0{,}585 + 1}{4.276 \times 4 \times 0.585}\right]^{\frac{0.588}{2-0.585}}$$
$$v_c = 256.7\ ft\ /\ min$$
$$\bar{v} = \frac{24.5Q}{D^2} = \frac{24.5 \times 700}{(4.276)^2} = 937.97\ \ ft\ /\ min$$

نجد : $\bar{v} > v_c$ الجريان مضطرب

$$p_2 = \frac{8.9\ .10^{-5}(8.824)^{0.8}.(700)^{1.8}.(12)^{0.2}.(6480)}{(4.276)^{4.8}}$$

الضياعات داخل الأعمدة

$$v_c = 301\ ft\ /\ min$$
$$\bar{v} = \frac{24.5\ Q}{D^2} = \frac{24.5 \times 700}{(2.875)^2} = 2074.9\ \ ft\ \ /\ \ min$$

نجد $\bar{v} > v_c$ الجريان المضطرب :

$$p_3 = \frac{8.91\ .10^{-5}\ .8{,}824^{0.8}.700^{1.8}\ (12)^{0.2} \times 620}{(2.875)^{4.8}} = 431\ psi$$

**4- حساب ($p_5$) خارج مواسير الحفر**

- طول مقطع المثلث : 2550 ft

مقطع الفراغ الحلقي :

$$12.565 - 5 = 7.565\ \ in$$
$$\bar{v} = \frac{24{,}5.700}{(12{,}655)^2 - (5)^2} = 129.1\ \ ft\ /\ min$$
$$v_c = \left[\frac{3{,}87.10^4.0{,}626}{8{,}824}\right]^{\frac{1}{2-0{,}585}} \left[\frac{2{,}4\ .\ (2.0{,}585)}{7{,}565\ .3.\ 0{,}585}\right]^{\frac{0.585}{2\ 4{,}585}} = 139\ ft\ /\ min$$

نلاحظ $\bar{v} < v_c$ و الجريان خطي :

$$p = \left[\frac{2{,}4\ .129}{7{,}565} \cdot \frac{(2.0{,}585)+1}{3.\ 0585}\right]^{0.585} \frac{0.625\ .2550}{300.7{,}565} = 7\ psi$$

القاع المفتوح من البئر : طول مواسير الحفر القاع المفتوح : $6480 - 2550 = 3930\ ft$

*مقطع الفراغ الحلقي* $12.25 - 5 = 7{,}25$ in

$$\bar{v} = \frac{24{,}5\ .700}{(12{,}25)^2-(5)} = \ 137\ \ ft/min \qquad v_c = 196\ ft/min$$

*$\bar{v} < v_c$ و الجريان خطي :*

$$p_c \left[\frac{2{,}4\ \ .137}{7{,}25} \cdot \frac{(1{,}17+1\ )}{3,\ \ 0{,}585}\right]^{0.585} \frac{0.626\ .3930}{300\ \ .7{,}25} = 11.9\ psi \ \ 12\ psi$$

هبوط الضغط خارج مواسير الحفر $P_5 = 7 + 12 = 19\ psi$

ب- حساب ( $p_4$) خارج أعمدة الحفر :

مقطع الفراغ الحلقي $8 - 5 = 4{,}25$ و$122$ $v_c = 231\ \ ft/\ min$

$$\bar{v} = \frac{24{,}5\ .700}{(12{,}25)^2 - (8)^2} = 19\text{ft} /\ \ \text{min}$$

*$\bar{v} < v_c$ التدفق خطي :*

$$p_4 = \left[\frac{2{,}4\ \ .1999}{4{,}25} \cdot \frac{(1{,}17+1)}{3.0{,}583}\right]^{0{,}585} \cdot \frac{0{,}626.620}{300.4{,}25} = 5\ psi$$

**6- حساب : $p_{bit}$**

$$p_{bit} = 2200 - (52 = 670 + 431 + 19 + 5)10230psi$$

**7- حساب السرعة عبر الفالات :**

$$v_n = 33{,}36\sqrt{\frac{1023}{8{,}824}} = 359\ ft\ \ /min$$

**8- حساب المقطع الكلي للفالات :**

$$A_n = \frac{0{,}32\ \ .700}{359} = 0{,}6239\ in^2$$

**9- قطر الفالات :** $d_n = 32\sqrt{\frac{4.8{,}6239}{3\pi}} = 16{,}47$

لذا نختار فالتين قياس $\frac{16}{23}$ و واحدة $\frac{17}{32}$

المساحة الكلية للفالات هي $0{,}6144\ \text{in}^2$ و التي تبقى أقل بقليل من المساحة $(0{,}6239\ in2)$

وإذا تم اختيار فالين قياس $\frac{17}{32}$ و واحدة $\frac{16}{32}$ عندها المساحة الكلية للفالات $(96397\ in^2)$ وهي أكبر بقليل من المساحة.

– عملياً يجب أن يتم التطلع إلى حجوم أصغر حيث يكون هبوط الضغط عند رأس الحفر أكبر ما يمكن ليعطي هيدروليك مثالي.

**المقارنة بين النموذجين :**

ينتج نموذج الموائع البنغهامية فالتين قياس (17") وواحدة قياس (16") بينما نموذج الموائع المنخفضة فالتين قياس (16") و واحدة قياس (17") وإذا كان ضغط المضخات أكبر من 2200 psi فالأفضل أختيار ثلاث فالات قياس (16").

# النتائج والمقترحات

1- اختيار سائل الحفر مناسب للطبقات المحفورة وبأقل كلفة ممكنه.
2- ان التنظيف الجيد لسائل الحفر أثناء الحفر بواسطة الفواصل متعددة الأنواع يزيد من فعالية ازالة الفتات وبالتالي فعالية الحفر.
3- مراقبة خواص سائل الحفر بشكل جيد ودقيق وخاصة الخواص الجريانية.
4- اختيار غزارة سائل الحفر ومقطع الفالات بما يحقق التنظيف التام لقعر البئر وفق الطريقة المقدمة في المشروع.
5- عند استخدام رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية يجب الاستعانة بالموديلات الرياضية لحساب أزمنة تأكل الأسنان وذلك عند حفر مسافة تجريبية محددة حسب قساوة الطبقة المخترقة فكلما زادت قساوة الطبقة تقل هذه المسافة التجريبية وذلك لأن الأسنان تتآكل بفعل قساوة الطبقة ليتم رفع سائل الحفر وتقييمه.
6- عند ضخ سائل الحفر خلال تشكيلة الحفر يجب مراعاة نموذج الجريان وتحديده بدقة وذلك من أجل تحديد الضغط الضائع بالمعدات السطحية وخلال التشكيلة وخلال فالات رأس الحفر ليتم تعويض فاقد الضغط على أساسه.
7- مقارنة قيم النظام الهيدروليكي المحصول عليها بهذه الطريقة مع قيم اخرى وتبيان الفارق.

# المراجع

**المراجع العربية:**


1. د. مرهج، أحمد،2005_ **سوائل الحفر** .الطبعة الأولى، مديرية الكتب وا لمطبوعات،جامعة البعث،حمص،.290 صفحة

2. د.نصور ،طاهر 1993_ **سوائل الحفر**.الطبعة الأولى،منشورات جامعة البعث، 392 صفحة.

3. د.نصور،طاهر،د.سليمان ن مسرور، 2009 **هندسة الحفر 3** .الطبعة الأولى، منشورات جامعة البعث، 368صفحة.


**المراجع الأجنبية:**


5. **Drilling Data Hand Book**. 2004-International Association of Drilling Contractors (IADC)- Houston .USA.560p

6.John Gieck,1995, **Drilling Engineers Workbook-A Distributed Learning Course** ,Baker Hughes INTEQ Training & Development 2520 W.W. Thorne Houston, United States of America,410p

7. Dowell IDF Fluids Services2000 **– Drilling Fluids- product data manual,** Schlumberger ,560p.

# الفهرس


| الرقم | العنوان | الصفحة |
|---|---|---|
| **الفصل الأول : سوائل الحفر** | | |
| 1-1 | تعريف حفر الأبار | 8 |
| 2-1 | مراحل إنجاز البئر | 9 |
| 3-1 | تعريف سائل الحفر | 10 |
| 4-1 | نظام دورة سائل الحفر | 10 |
| 5-1 | وظائف سائل الحفر | 11 |
| 6-1 | تركيب سائل الحفر | 17 |
| 7-1 | أنواع سوائل الحفر | 18 |
| 8-1 | سوائل الحفر ذات الأساس النفطي | 23 |
| 9-1 | تصنيف سوائل الحفر حسب SCH | 24 |
| 10-1 | إختيار سوائل الحفر | 26 |
| 11-1 | فصل الفتات المحفور من سائل الحفر | 29 |
| **الفصل الثاني : الخواص الجريانية لسائل الحفر** | | |
| 1-2 | الريولوجيا | 36 |
| 2-2 | قياسات اللزوجة | 40 |
| **الفصل الثالث : أنواع رؤوس الحفر** | | |
| 1-3 | رؤوس الحفر ذات التروس المخروطية | 45 |

| | | |
|---|---|---|
| 2-3 | رؤوس الحفر الألماسية | 47 |
| 3-3 | رؤوس الحفر PDC | 50 |
| **الفصل الرابع :هيدروليك رأس الحفر** | | |
| 1-4 | هبوطات الضغط | 54 |
| 2-4 | تحديد الضغط الضائع في المعدات السطحية إعتمادا على النماذج الريولوجية | 55 |
| **الفصل الخامس :نتائج ومقترحات** | | |
| المراجع | | 65 |
| الفهرس | | 66 |


**********

*******

****

**

*