تحسين مؤشرات عمل الكابح الهيدروديناميكي في وحدات الحفر

م. عبد الستار الكحيل[*] & أ.د.م. محمود حديد[**]

ملخص البحث

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو التقليل من تآكل عناصر الكابح الشريطي الرئيسي (صفائح احتكاكية – عجلات الكابح) المستخدم ضمن وحدات الحفر النفطية و الغازية و أيضاً تخفيف الجهد المؤثر على عناصر هذا الكابح و ذلك من خلال زيادة عزم الكبح للكابح الهيدروديناميكي المساعد ، حيث أن الصيانة المتكررة لعناصر الكابح الرئيسي تؤدي إلى هدر الزمن و زيادة في التكلفة الاقتصادية الإجمالية لحفر البئر.

يعتمد البحث على إيجاد وسيلة ميكانيكية أو كيميائية تكون قادرة على زيادة عزم الفرملة للكابح الهيدروديناميكي المساعد.

و قد أظهرت التجارب المخبرية أن استخدام الزعانف الهيدروليكية المائلة بزاوية معينة و تشكيل ضغط ضمن حجرة الكابح و كذلك معالجة الماء ببعض المواد الكيميائية التي تزيد من كثافة و لزوجة الماء من أهم الوسائل القادرة على زيادة عزم الفرملة للكابح الهيدروديناميكي المساعد في وحدة الحفر.

[*] طالب دكتوراه و قائم بالأعمال في قسم الهندسة البترولية - كلية الهندسة الكيميائية و البترولية - جامعة البعث.

[**] أستاذ في قسم الهندسة البترولية - كلية الهندسة الكيميائية و البترولية - جامعة البعث.

Improvement of working conditions of the hydrodynamic brake in drilling rigs

Eng. Kahil A & Professor. Hadid M

Abstract

The main purpose of research is reduction of corrosion of the main band brake components (frictional plates – brake flanges) which are used in oil and gas drilling rigs and so reduction of the stress on the main brake components by increase the braking torque for the auxiliary hydrodynamic brake, the frequent maintenance for the main brake components lead to time loss and increasing in the total cost of well drilling.

The research based on making of mechanical or chemical instrument be able to increase the braking torque for the auxiliary hydrodynamic brake.

The laboratory experiments show the using of inclined hydraulic blades with certain angle and creating of pressure in brake chamber and so water treatment by chemical materials which increase the water density and viscosity are important instruments be able to increase the braking torque for the auxiliary hydrodynamic brake in drilling rig.

مقدمة: [2]

تعد الأجهزة الرافعة (الملفاف) الجهاز الأساسي في عمليات رفع و إنزال مجموعة مواسير الحفر ضمن وحدات الحفر ، وتزود الأجهزة الرافعة بنوعين من الكوابح:

– الكابح الرئيسي الميكانيكي و يخصص هذا الكابح من أجل إيقاف حركة اسطوانة الملفاف أو تبطئتها خلال عمليات الرفع والإنزال ، بالإضافة إلى اختزال الوزن الفائض لمجموعة المواسير عن الحمولة المطبقة على الدقاق خلال عملية الحفر.

– الكابح الثانوي المساعد أو المنظم و يخصص هذا الكابح من أجل تقليل سرعة إنزال مجموعة مواسير الحفر.

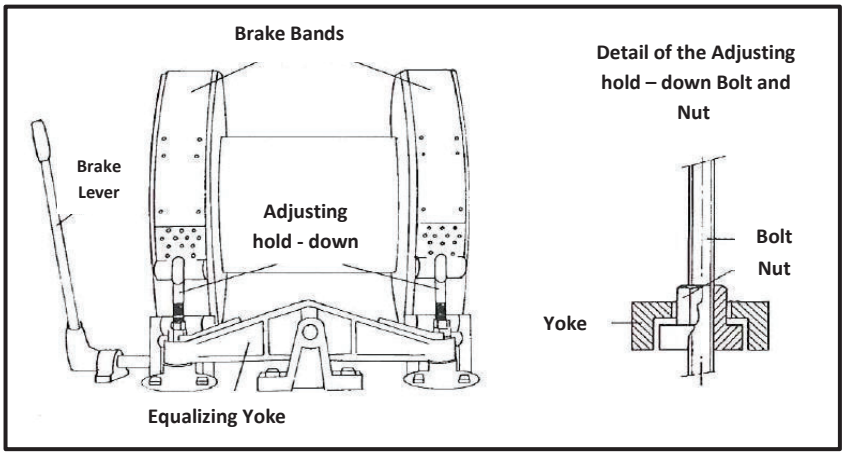
1- الكابح الرئيسي الشريطي الميكانيكي (Mechanical band brake): [1]

يعتبر الكابح الشريطي هو الكابح الرئيسي في وحدة الحفر ، و هو مخصص من أجل إيقاف ومسك مواسير الحفر و التغليف بحالة سكون.

يتكون الكابح الشريطي الميكانيكي ، الشكل (1) من:

- شريطين فولاذيين (Brake Bands) مزودين من الداخل بصفائح احتكاكية.
- محور مفصلي متعرج.
- جهاز موازنة أو معايرة (Equalizing yoke).
- أجهزة تحكم هوائية.
- ذراع الكبح (Brake lever).

يتم تدوير المحور المتعرج للكابح بهدف تقريب شريط الكابح من عجلته حيث يتولد نتيجة الاحتكاك الحاصل بين الصفائح الاحتكاكية و عجلتي الكابح عزم كبح معاكس لدوران اسطوانة الأجهزة الرافعة يؤدي إلى كبح حركتها و إيقافها ، و يتم ذلك إما يدوياً باستخدام ذراع الفرملة أو آلياً بواسطة دارة الهواء المضغوط.



الشكل (1) يبين أجزاء الكابح الشريطي الرئيسي

عند قيام الحفار بعملية الكبح تبقى النهاية الشاقولية لشريط الكابح المرتبطة مع جهاز المعايرة ثابتة دون حركة ، بينما تسحب النهاية المتصلة بالمحور المتعرج للكابح عندها تقترب الصفائح الاحتكاكية المثبتة على الشريط من الداخل و تتلامس مع عجلة الكابح معرقلة حركتها وحركة اسطوانة الأجهزة الرافعة.

2- الكوابح المنظمة أو المساعدة (Auxiliary Brakes): [1]

تستخدم هذه الكوابح من أجل:

1- التحكم بسرع إنزال الخطاف و الحمولة المعلقة به.

2- امتصاص الطاقة الحركية لمجموعة مواسير الحفر النازلة في البئر.

تفيد هذه الكوابح بما يلي:

- تخفيف الجهد على الحفار و خاصة في الحمولات الكبيرة.
- تقليل التآكل في عناصر الكابح الرئيسي الميكانيكي.
- المساعدة في إمكانية توقف الحمولة المعلقة على الخطاف بشكل بطيء وسلس.

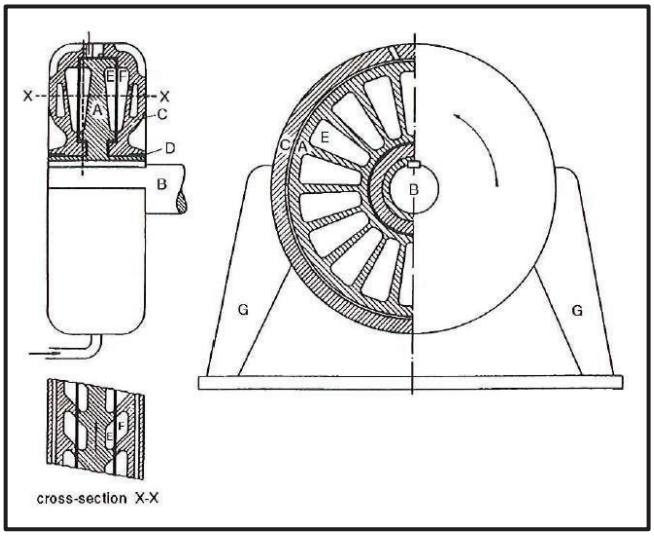
من الأنواع المستخدمة في وحدات الحفر نذكر: الكابح العنفي الحركي (الهيدروماتيك) والكابح الكهربائي الحركي و الكابح الكهرومغناطيسي الحبيبي.

2-1- الكابح العنفي الحركي (الهيدروماتيك) (Hydromatic Brake):

يتكون الكابح الهيدروماتيك الموضح في الشكل (2) من: [1]

- القسم الثابت (C) (Stator) مع الشفرات الثابتة (F) و المغطى بغطاء الكابح والمثبت على قاعدة الأجهزة الرافعة بواسطة الدعائم (G).
- القسم الدوار (A) (Rotor) و الشفرات المركبة عليه (E) حيث يثبت على محور الكابح ، و يتم توصيله بمحور اسطوانة الأجهزة الرافعة و فصله عنها عن طريق قارنة تركب على المحورين.

يتم تأمين دخول الماء البارد إلى الكابح من خلال أنبوب التزويد بالماء الموجود أسفل الكابح ، و خروج الماء الساخن من الكابح إلى خزان التبريد من خلال الأنبوب الموجود في أعلى الكابح. [1]



الشكل (2) يبين الكابح العنفي الحركي

إن الحرارة المتولدة في الكابح تنتقل بشكل مباشر إلى سائل التشغيل ، و لهذا يجب التزويد بتدفق مناسب للسائل البارد خلال الكابح ، إن درجة حرارة مخرج الكابح الأعظمية المسموح بها يجب ألا تتجاوز (180) درجة فهرنهايت حيث يمكن للبخار عندها أن

يتشكل في حجرة العمل للكابح و عندما يحصل ذلك فإن الماء يفقد خواصه الأساسية مما يسبب فقدان في عزم الكبح. [4]

عند توصيل محور الكابح مع محور الأجهزة الرافعة خلال عمليات الإنزال يدور الجزء الدوار طارداً الماء باتجاه الشفرات المائلة الموجودة داخل الجزء الثابت و عند ارتطام الماء بهذه الزعانف يرتد باتجاه معاكس لاتجاه الزعانف المركبة على الجزء الدوار معرقلاً حركته وبتكرار هذه العملية تزداد القوى المعرقلة لحركة الجزء الدوار مما يولد عزم كبح يعاكس الحركة الدورانية لمحور الأجهزة الرافعة و يقلل من سرعة دورانه وبالنتيجة تنخفض سرعة إنزال مجموعة مواسير الحفر. [2]

عند استخدام الكابح الهيدروماتيك يجب مراعاة ما يلي: [5]

- يعتمد عزم الكبح على كمية السائل المحتجزة في جيوب و أقسام الروتر والستاتور لكابح الهيدروماتيك خلال التشغيل.
- يجب أن يكون مصمم نظام السائل مسؤول عن تحديد و تصميم و تركيب أدوات قياس و حساسات مرئية و سمعية لدرجة حرارة الماء الخارج.
- يجب أن يكون مصمم نظام الكبح مسؤول عن تحديد المتطلبات الأساسية وتصميم وتركيب مقاييس و حساسات لسرعة الدوران و ذلك من أجل تحذير المشغل و منع حصول إفراط بالسرعة.

3-التأثير الحراري في عمل الكابح الرئيسي الشريطي: [1]

تتم عملية كبح اسطوانة الأجهزة الرافعة نتيجة الاحتكاك بين الصفائح الاحتكاكية وسطوح عجلتي الكابح ، مما يؤدي عند استخدام سرعات إنزال كبيرة بوجود حمولات كبيرة معلقة على الخطاف إلى ارتفاع درجة حرارة السطوح المحتكة و تسخينها إلى درجات حرارة عالية تصل في بعض الحالات إلى (900) درجة مئوية ، و لهذا يجب:

- تصنيع هذه الأجزاء من مواد ذات مقاومة حرارية عالية و مقاومة للاحتكاك.
- تأمين عملية التبريد الكافية لها.

تصنع عجلات الكابح من الفولاذ المعالج حرارياً نتيجة تحمله لدرجات حرارة عالية جداً ، كما تصنع الصفائح الاحتكاكية من مواد تركيبية مقاومة للاحتكاك.

3-1- مشكلة تآكل عناصر الكابح الرئيسي الشريطي:

تتحول الطاقة الحركية للمواسير المتحركة والكتل الدوارة للملفاف وغيره في عملية الفرملة إلى طاقة حرارية يمتصها الكابح نفسه ، وبالتسخين الدوري يتخرب عمل الكابح وتتناقص فترة خدمة عجلات الفرملة والصفائح الاحتكاكية. [2]

إن أعمال الإصلاح والصيانة المرتبطة بتبديل عجلات الفرملة لاسطوانة الملفاف تقود إلى تعطل كبير عن العمل إضافة إلى الخسارة المادية في المواد واليد العاملة ، لهذا يجب تحديد درجة حرارة التسخين للكابح لدرجة حرارة معينة. [2]

في بداية عملية إنزال مجموعة المواسير تكون الحمولة قليلة و يتم استخدام الكابح الرئيسي بمفرده لإيقاف الحمولة المعلقة على الخطاف ، و مع تسارع إنزال مجموعة مواسير الحفر الناتج عن تزايد الحمل مع تقدم عملية الإنزال فإنه يتم تنظيم سرع الإنزال و الكبح بمساعدة الكابح المنظم المساعد. [1]

إن استخدام سرعات إنزال كبيرة بوجود حمولات كبيرة معلقة على الخطاف يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة السطوح المحتكة و تسخينها إلى درجات حرارة عالية ، و بالتالي يحصل تآكل و استهلاك في الصفائح الاحتكاكية و عجلات الكابح نتيجة هذا التسخين الزائد و الحرارة العالية بين السطوح المحتكة ، مما يتطلب إجراء صيانة و تبديل هذه الأجزاء بشكل مستمر. [1]

عملياً يتم تبديل عجلات الكابح عند ملاحظة شقوق على سطحها: [1]

- يزيد طولها عن (50) ملم.
- يزيد عرضها عن (0.2 – 0.5) ملم.

كما يتم تبديل الصفائح الاحتكاكية كل أسبوعي عمل تقريباً ، و يبلغ التآكل المسموح به للصفائح الاحتكاكية (15) ملم ، أي أن الصفائح ذات السماكة (32) ملم يتم تبديلها عندما تصل سماكتها إلى (17) ملم نتيجة التآكل. [3]

و بنفس الوقت نتيجة قوى الشد الكبيرة و المستمرة التي تتعرض لها أشرطة الكابح الرئيسي عند القيام بعملية الكبح يمكن أن يحصل انقطاع في أحد أشرطة الفرملة مما يسبب تضاعف الضغط التماسي في السطوح المحتكة للشريط المتبقي إلى ضعف قيمتها

الأولية مما يؤدي بدوره إلى استهلاك الصفائح الاحتكاكية بشكل سريع ، لذلك لا يجوز الاستمرار طويلاً في عمل الكابح الرئيسي بشريط واحد و بالتالي لا بد من تبديل الشريط المقطوع. [1]

إن عملية استبدال الصفائح الاحتكاكية و عجلات الكابح المتعرضة للتآكل و كذلك أشرطة الكابح في حال انقطاعها يؤدي إلى زيادة التوقفات من أجل عمليات الصيانة مما يؤدي إلى زيادة زمن حفر البئر و بالتالي ارتفاع تكلفة عملية الحفر. [1]

3-2- الحلول المتبعة في تقليل تآكل عناصر الكابح الرئيسي الشريطي: [1]

تستخدم عمليات التبريد المائي لعجلات الفرملة و الصفائح الاحتكاكية و ذلك لمنع ارتفاع درجة حرارتها إلى درجات عالية و بالتالي التقليل من تآكلها ، إلا أن التبريد المائي المفاجئ يمكن أن يسبب حدوث تشققات في عجلات الفرملة لذلك يفضل استخدام التبريد الهوائي وبشكل متدرج رغم أنه أقل فعالية من التبريد المائي.

كما أن للكابح المساعد دور كبير في تنظيم سرع الإنزال و تبطئة سرعة نزول مجموعة مواسير الحفر تحت تأثير ثقلها.

و يسهم التنسيق بين عملي الكابحين الرئيسي و المساعد في تحقيق الإيجابيات التالية:

- تأمين معامل أمان فرملة ضمن الحدود المسموح بها.
- التقليل من تآكل عناصر الكابح الرئيسي و المحافظة على زمن أطول لخدمة هذه العناصر.
- تنظيم سرع إنزال مجموعة المواسير و تأمين سلامة كبح و إيقاف حركة مجموعة المواسير.

مما سبق نلاحظ أن الكابح المساعد يساهم بشكل كبير في تقليل تآكل عناصر الكابح الشريطي الرئيسي و يحافظ على زمن أطول لخدمة الصفائح الاحتكاكية و عجلات الفرملة ، الأمر الذي يقلل زمن الصيانة لهذه الأجزاء و يقلل من التكاليف الإجمالية لحفر البئر.

و نظراً لهذه الأهمية الكبيرة للكابح الهيدروديناميكي المساعد فإننا سوف نقوم في هذا البحث بدراسة تجريبية لبعض العوامل التي يمكن أن تزيد من عزم الكبح لهذا الكابح و

ذلك من خلال إجراء بعض التجارب المخبرية باستخدام محطة مخبرية تمثل نموذج الكابح الهيدروديناميكي المساعد.

4- المحطة المخبرية المستخدمة في التجارب العملية:

لقد تم تصنيع المحطة المخبرية في المنطقة الصناعية في مدينة حمص ، وتم تنفيذ التجارب المخبرية عليها في مخابر كلية هندسة الغزل و النسيج في جامعة البعث وتتألف هذه المحطة الموضحة في الشكل (3) من أربع منظومات و هي كالتالي:

أولاً: منظومة الكابح الهيدروديناميكي المساعد (Hydromatic Brake):

تتألف هذه المنظومة من كابح الهيدروماتيك المنظم الذي يتألف من:

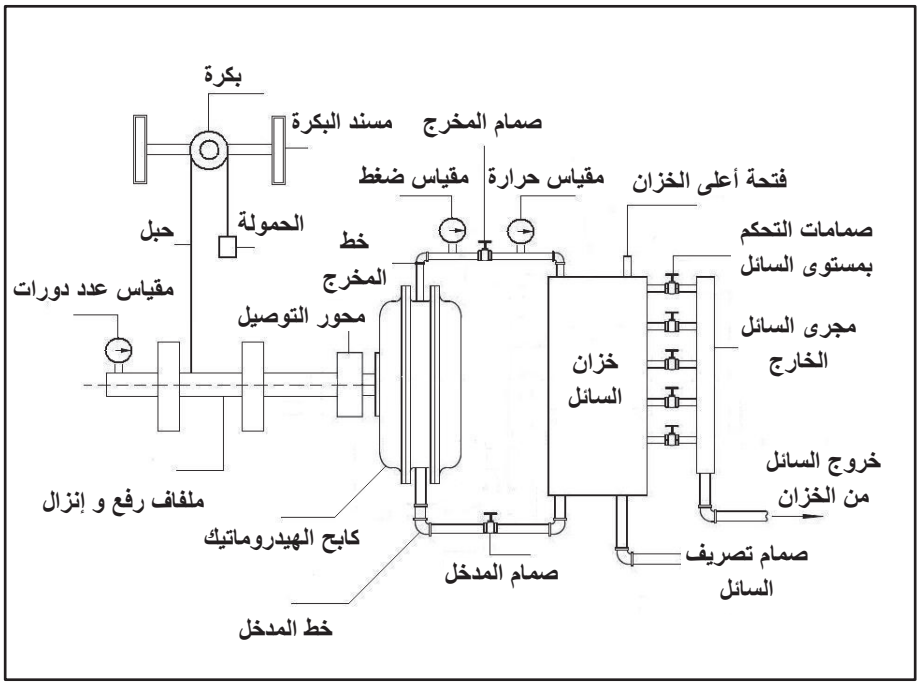
- الهيكل المعدني العام و هو عبارة عن غطائين أمامي و خلفي مثبتين إلى بعضهما البعض بواسطة البراغي ، و يفصل بين هذين الغطائين قطعتين من موانع التسرب (O-Ring).
- في الداخل يحتوي الكابح على قسم دوار (Rotor) و قسم ثابت (Stator) بالإضافة إلى الزعانف الهيدروليكية في كل من هذين القسمين.
- صمام تصريف أسفل الكابح الهيدروماتيك (Drain Valve).

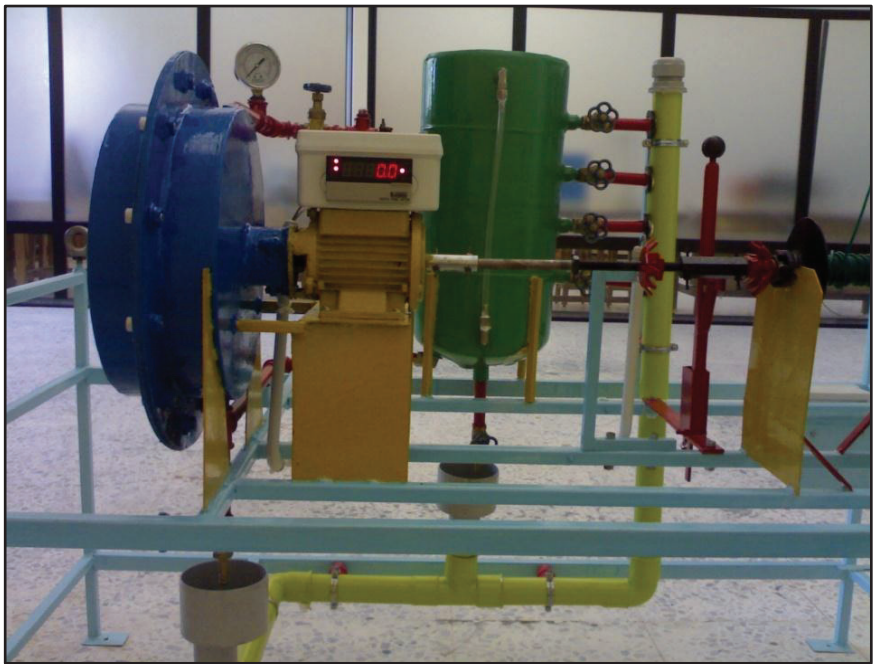
ثانياً: منظومة السائل (Liquid System): تتألف هذه المنظومة من:

- ✓ خزان السائل (Liquid Tank) مع صمامات التحكم بمستوى السائل في الكابح و المتصلة مع خزان السائل على ارتفاعات محددة.
- ✓ خط دخول السائل من الخزان إلى الكابح و مزود بصمام المدخل.
- ✓ خط خروج السائل من الكابح إلى الخزان و مزود بصمام المخرج.
- ✓ صمام تصريف أسفل الخزان (Drain Valve).

ثالثاً: منظومة الرفع و الإنزال (Hoisting System): تتألف هذه المنظومة من:

- ملفاف (Drawwork) من أجل عمليات الرفع و الإنزال.
- بكرة (Pulley) يمرر عليها حبل التعليق.
- حبل (Rope) يصل بين الملفاف و البكرة من أجل تعليق الحمولة.
- محور التوصيل (Connecting Rod) بين محوري الكابح و الملفاف.





الشكل (3) يبين المحطة المخبرية المستخدمة في التجارب العملية

رابعاً: منظومة مؤشرات القياس (Instruments): تتضمن هذه المنظومة:

- ✓ مقياس درجة الحرارة و مقياس ضغط السائل عند مخرج السائل من الكابح.
- ✓ مقياس عدد الدورات لتحديد عدد دورات المحور الرافع خلال إنزال الحمولة.

5- الأبعاد الأساسية لأجزاء المحطة المستخدمة في التجارب:

تم اختيار الأبعاد الأساسية لأجزاء المحطة المستخدمة في التجارب المخبرية اعتماداً على التصاميم المتبعة في تصنيع الهيدروماتيك من قبل شركة (Parmac L.L.C) الأمريكية ، و قد تم اختيار أبعاد إحدى هذه التصاميم في تصنيع هذه المحطة.

5-1- قياسات الهيدروماتيك (Dimensions of hydromatic brake):

- القطر الخارجي للغطائين مع الحواف الخارجية (18 inches).
- القطر الخارجي للغطائين بدون الحواف الخارجية (13.5 inches).
- قطر القسم الدوار (Rotor) (13 inches) ، وعرضه (2 inches).
- عدد براغي التثبيت للغطائين الأمامي و الخلفي (12) برغي.
- عدد الزعانف المائلة في كل من القسم الثابت و القسم الدوار (12).
- قياسات الزعانف المائلة ($L \times W = 6 \times 2$ inches).
- الخلوص بين القسم الثابت و الدوار (4 mm).
- القطر الخارجي لموانع التسرب (18 inches) و الداخلي (14 inches).
- قطر فتحات التوصيل مع منظومة السائل (0.5 inch).

5-2- قياسات منظومة السائل (Dimensions of liquid system):

- طول خزان السائل الاسطواني (20 inches) ، وقطره (9 inches).
- أربعة صمامات موصولة مع الخزان موزعة كما يلي: الصمام الأول على ارتفاع (4 inches) ، والثاني على ارتفاع (8 inches) ، والصمام الثالث على ارتفاع (12 inches) ، والرابع على ارتفاع (16 inches).
- الصمامات موصولة مع خط تصريف بقطر (2 inches).
- قطر فتحة التصريف أسفل الخزان (0.5 inch).
- أقطار أنابيب الدخول و الخروج من الكابح (0.5 inch).

5-3- قياسات منظومة الرفع و الإنزال (Dimensions of hoisting system):

- قطر اسطوانة ملفاف الرفع و الإنزال (0.5 inches).
- قطر الجدران الجانبية للملفاف (5.5 inches).
- طول الملفاف (5 inches).
- قطر البكرة (2.5 inches).
- قطر الحبل (3 mm).
- المسافة التي تهبط خلالها الحمولة (125 inches).

5-4- خصائص مؤشرات القياس (Specifications of instruments):

- مقياس درجة الحرارة عبارة عن مؤشر الكتروني يعمل بالتيار الكهربائي ويعطي قراءة رقمية لدرجة الحرارة.
- مقياس ضغط السائل عبارة عن مؤشر ضمن مجال (0 – 14 Psi) مركب على خط خروج السائل من الكابح.
- مقياس عدد الدورات عبارة عن مؤشر الكتروني يعمل بالتيار الكهربائي ويعطي قيمة رقمية لعدد الدورات في الدقيقة ، حيث يمتلك هذا المقياس حساس (Sensor) يركب أمام المحور الدوار.

6- مخطط التجارب العملية المنفذة:

أولاً: دراسة تأثير تغيير الشكل الهندسي للزعانف الهيدروليكية ضمن الكابح.

ثانياً: دراسة تأثير تشكيل ضغط داخل حجرة الكابح.

ثالثاً: دراسة تأثير تغيير كثافة الماء داخل الكابح المساعد على عزم الكبح.

رابعاً: دراسة تأثير تغيير لزوجة الماء داخل الكابح المساعد على عزم الكبح.

7- خطوات إجراء التجارب العملية:

- إملاء الخزان و الكابح بالسائل إلى المستوى المحدد الذي يبلغ (4 inches).
- رفع الحمولة المعلقة بالحبل بواسطة الذراع اليدوي الموصول مع الملفاف وذلك حتى المسافة المحددة.
- ترك الحمولة لتهبط تحت تأثير وزنها.

- أخذ القراءة من مؤشر عدد الدورات لمحور الملفاف.
- تكرار هذه الخطوات من أجل عدة حمولات.
- رسم المنحني البياني الذي يمثل العلاقة بين الحمل و عدد دورات الملفاف.

سيتم تعليق خمس حمولات بالأوزان التالية: (4 , 5 , 6 , 7 , 8 Kg) ، وهي عبارة عن أوزان قليلة يمكن استخدامها مخبرياً و بما يحقق نتائج مرضية.

7-1- إجراء التجارب بدون استخدام الكابح الهيدروماتيك:

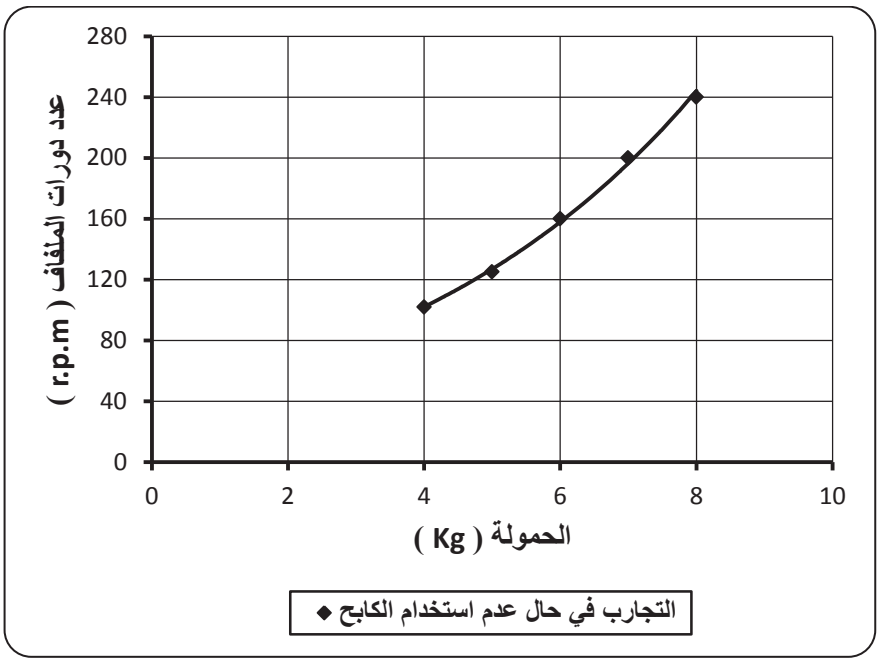
سوف نقوم بإجراء التجارب في حال عدم استخدام الكابح أي أن محور الملفاف مفصول عن محور الهيدروماتيك.

وقد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

الحمولة (Kg)	4	5	6	7	8
عدد دورات الملفاف(r.p.m)	102	125	160	200	240

الجدول (1) يبين النتائج في حال عدم استخدام الكابح

و يبين المنحني (1) نتائج هذه التجربة:



المنحني (1)

7-2- إجراء التجارب في حال استخدام الكابح الهيدروماتيك:

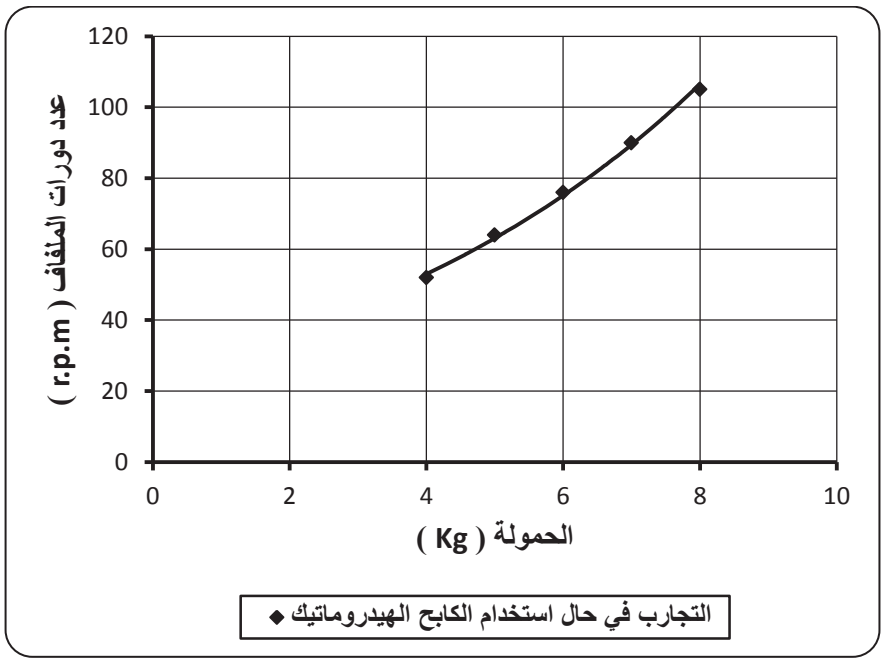
سوف نقوم بإجراء التجارب عند استخدام الكابح الهيدروماتيك و ذلك في الحالة التي تكون فيها الزعانف الهيدروليكية مائلة بزاوية مقدارها (10°).

وقد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

الحمولة (Kg)	4	5	6	7	8
عدد دورات الملفاف (r.p.m)	52	64	76	90	105

الجدول (2) يبين النتائج في حال استخدام الكابح

و يبين المنحني (2) نتائج هذه التجربة:



المنحني (2)

نلاحظ من خلال المنحنيين (1 , 2) انخفاض عدد الدورات إلى النصف تقريباً عند استخدام الكابح الهيدروماتيك مقارنة مع النتائج في حال عدم استخدام الكابح.

7-3- إجراء التجارب باستخدام الزعانف الهيدروليكية المستقيمة (غير المائلة):

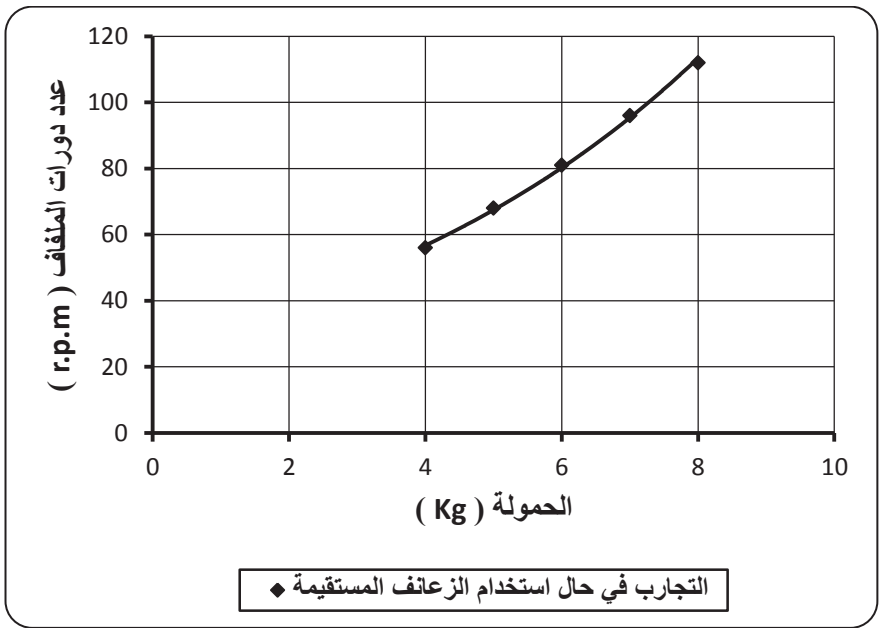
سوف نقوم بإجراء التجارب عند استخدام الكابح الهيدروماتيك و ذلك في الحالة التي تكون فيها الزعانف الهيدروليكية مستقيمة.

وقد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

الحمولة (Kg)	4	5	6	7	8
عدد دورات الملفاف (r.p.m)	56	68	81	96	112

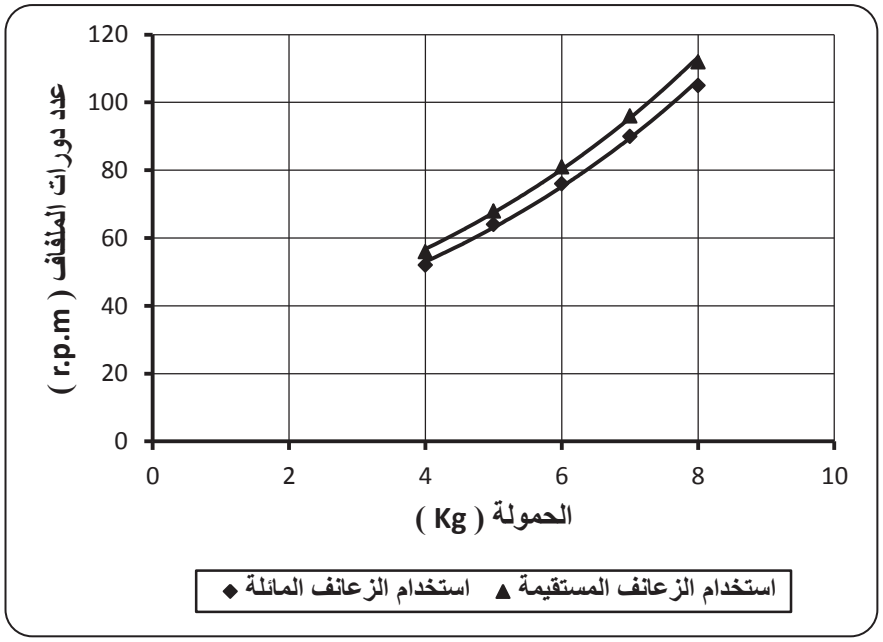
الجدول (3) يبين النتائج في حال استخدام الزعانف المستقيمة

و يبين المنحني (3) نتائج هذه التجربة:



المنحني (3)

و يبين المنحني (4) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الزعانف الهيدروليكية المائلة و تلك عند استخدام الزعانف المستقيمة:



المنحني (4)

❖ **مناقشة النتائج:**

نلاحظ من المنحني (4) انخفاض عدد دورات محور الملفاف عند استخدام الزعانف الهيدروليكية المائلة مقارنة مع عدد الدورات عند استخدام الزعانف المستقيمة ، ويفسر ذلك بزيادة الكمية المصروفة من السائل العامل Q (حجم السائل العامل الذي يمر من خلال منظومة الزعانف في واحدة الزمن) في حال الزعانف المائلة مما يسبب إعاقة أكبر لدوران محور الملفاف و تناقص عدد دوراته و بالتالي زيادة في عزم كبح الهيدروماتيك.

7-4- إجراء التجارب في حال تشكيل ضغط ضمن حجرة الكابح:

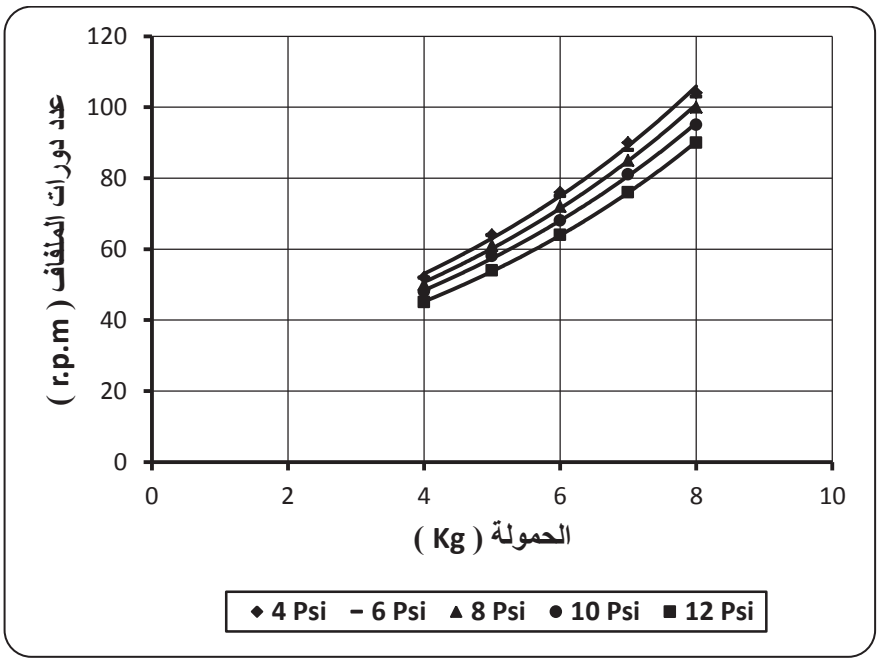
في هذه التجارب سوف نقوم بتشكيل ضغط للسائل ضمن الكابح الهيدروماتيك من خلال إغلاق الصمام عند خط خروج السائل بعدة قيم للحصول على عدة قيم للضغط (لن يتم إغلاق الصمام بشكل كامل و ذلك للسماح للماء بالخروج بكمية قليلة بهدف التبريد) ، و قد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

الحمولة (Kg)	4	5	6	7	8
ضغط السائل داخل الكابح	عدد دورات الملفاف (r.p.m)				
4 Psi	52	64	76	90	104
6 Psi	52	64	75	88	103
8 Psi	50	61	72	85	100
10 Psi	48	58	68	81	95
12 Psi	45	54	64	76	90

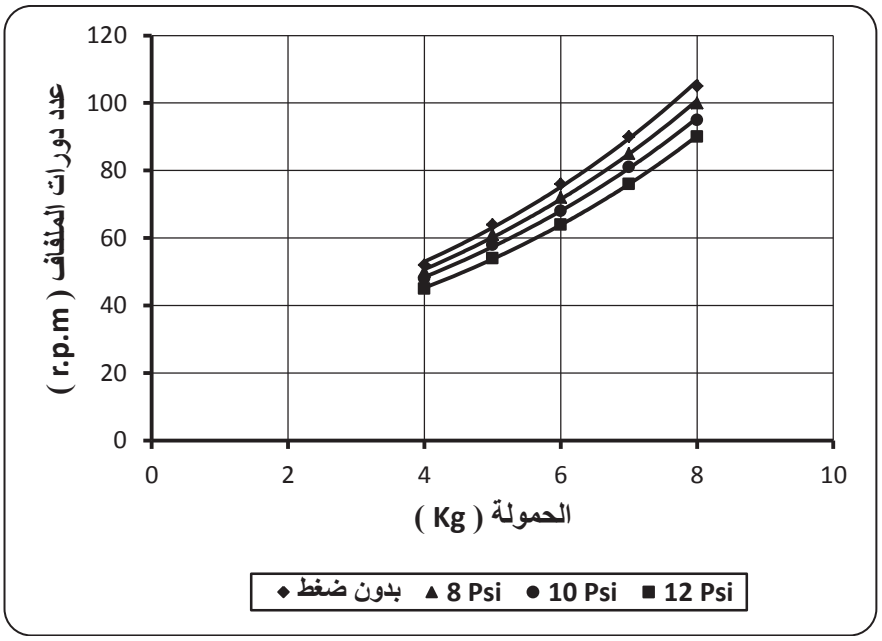
الجدول (4) يبين النتائج في حال تشكيل ضغط ضمن حجرة الكابح

ملاحظة: من خلال مراقبة مؤشر درجة حرارة الماء الخارج من الكابح لوحظ عدم ارتفاع درجة حرارة الماء أكثر من (72) درجة فهرنهايت وذلك خلال كافة التجارب.

و يبين المنحني (5) نتائج هذه التجارب.



المنحني (5)



المنحني (6)

❖ **مناقشة النتائج:**

نلاحظ من خلال المنحني (6) انخفاض عدد دورات محور الملفاف مع تزايد الضغط الذي تم تشكيله ضمن حجرة الكابح ، حيث أن إغلاق الصمام عند مخرج الماء من الكابح يمنع الماء من العبور إلى خزان التبريد مما يؤدي إلى ارتداد الماء تحت الضغط إلى الكابح وباتجاه معاكس لدوران الروتر (بنفس مبدأ مضخات السائل عندما يتم إغلاق خط الضخ) وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة في عزم كبح الهيدروماتيك.

7-5- دراسة تأثير تغيير كثافة الماء على عزم كبح الكابح الهيدروماتيك:

سوف نقوم في هذه التجارب باستخدام بعض المواد الكيميائية التي تزيد من كثافة الماء دون أن يكون لها تأثير تآكلي على المعدات المعدنية.

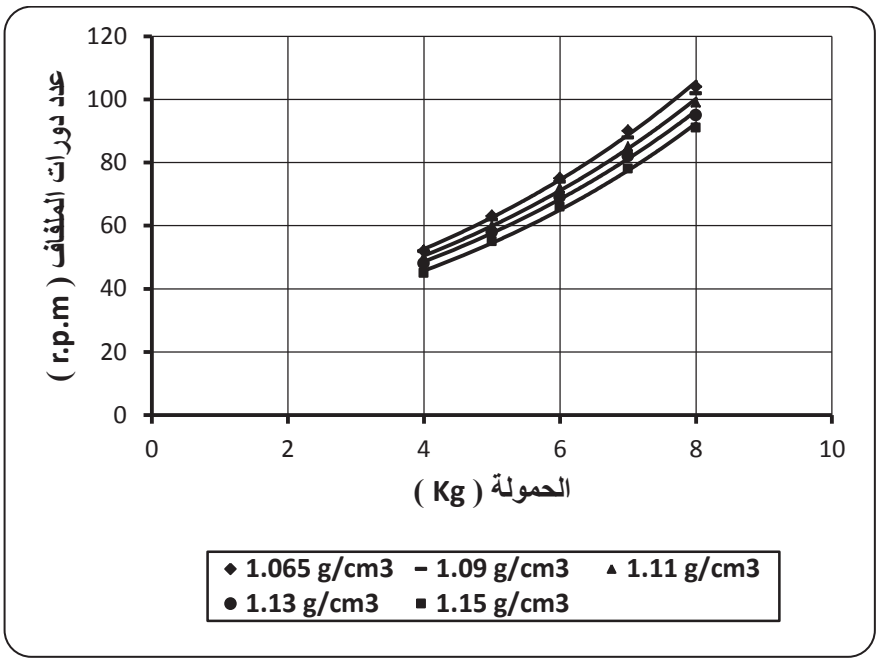
7-5-1- إجراء التجارب في حال استخدام كلوريد الصوديوم (NaCl):

تم استخدام عدة تراكيز لملح كلوريد الصوديوم و إذابته في الماء من أجل الحصول على عدة كثافات للسائل (تم اختيار التراكيز بما يحقق فعالية جيدة في زيادة كثافة السائل) ، و قد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

8	7	6	5	4	الحمولة (Kg)	
عدد دورات الملفاف (r.p.m)					كثافة السائل (gr/cm^3)	التركيز (gr/L)
104	90	75	63	52	1.065	50
102	88	74	62	52	1.09	100
99	85	72	60	50	1.11	150
95	82	69	58	48	1.13	200
91	78	66	55	45	1.15	250

الجدول (5) يبين النتائج في حال استخدام ملح كلوريد الصوديوم

و يبين المنحني (7) نتائج هذه التجارب:



المنحني (7)

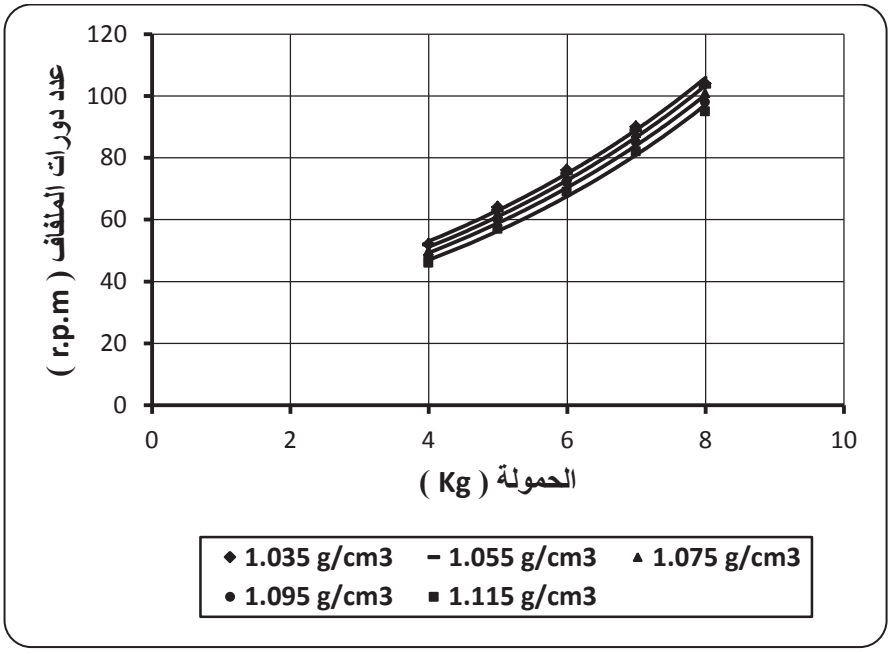
7-5-2- إجراء التجارب في حال استخدام سكر الطعام ($C_{12}H_{24}O_{12}$):

تم استخدام عدة تراكيز لسكر الطعام المنحل في الماء و ذلك من أجل الحصول على عدة كثافات للسائل ، و قد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

الحمولة (Kg)					عدد دورات الملفاف (r.p.m)	
التركيز (gr/L)	كثافة السائل (gr/cm^3)	4	5	6	7	8
50	1.035	52	64	76	90	104
100	1.055	52	63	75	89	103
150	1.075	50	62	74	88	101
200	1.095	48	60	72	85	98
250	1.115	46	57	69	82	95

الجدول (6) يبين النتائج في حال استخدام سكر الطعام

و يبين المنحني (8) نتائج هذه التجارب:



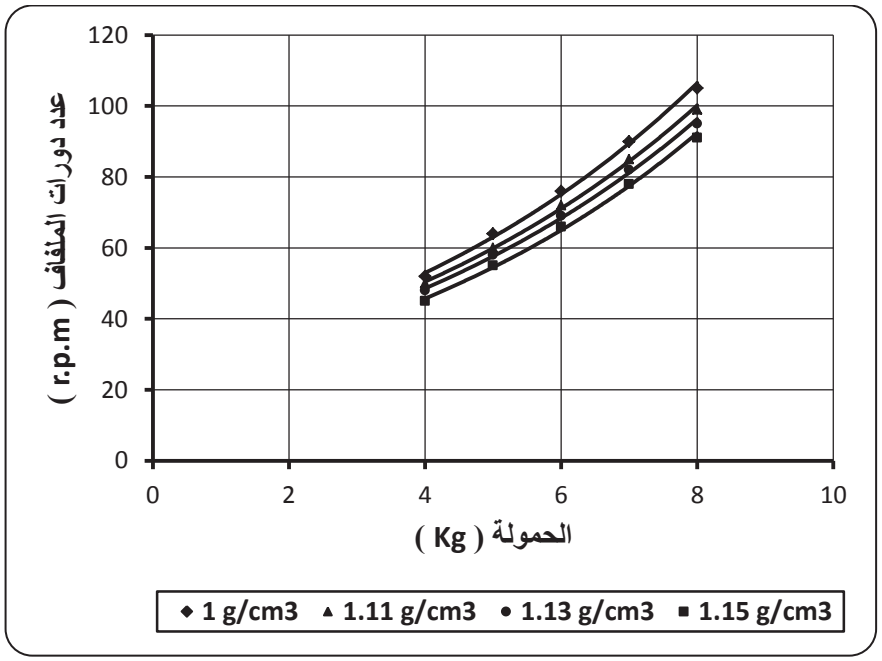
المنحني (8)

نلاحظ من المنحنيات (7 , 8) انخفاض عدد دورات الملفاف مع زيادة كثافة سائل التشغيل في الكابح ، مما يزيد من عزم الفرملة لكابح الهيدروماتيك.

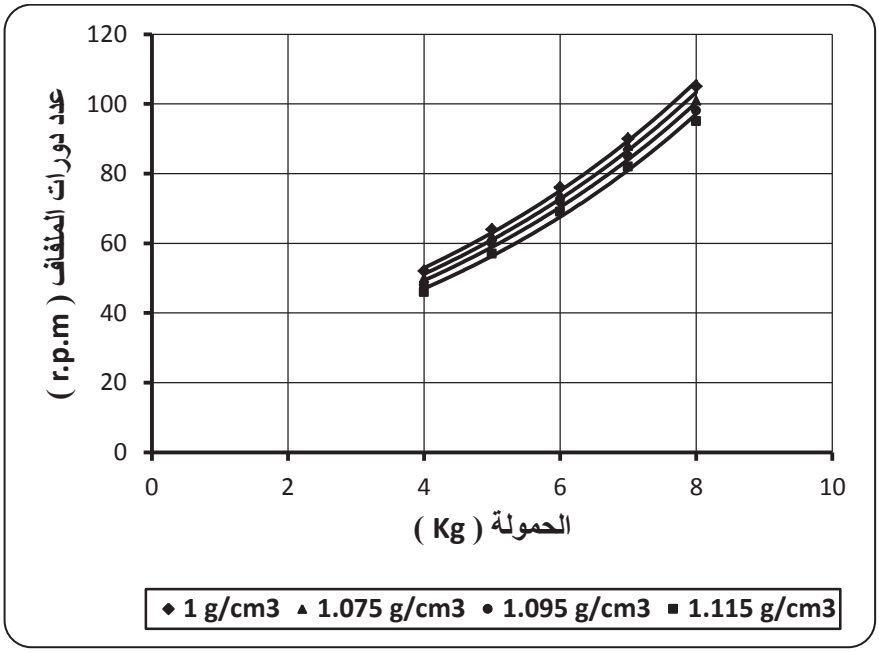
و يبين المنحني رقم (9) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الماء العذب ذي الكثافة ($1\ gr/cm^3$) ، و تلك النتائج عند استخدام ملح كلوريد الصوديوم بتراكيز (150 – 200 – 250 gr/L) ، و قد تم اختيار هذه التراكيز كونها أعطت نتائج أفضل في زيادة عزم الفرملة للكابح مقارنة مع التراكيز الأقل منها.

كما يبين المنحني رقم (10) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الماء العذب ذي الكثافة ($1\ gr/cm^3$) ضمن الكابح الهيدروماتيك ، و تلك النتائج عند استخدام سكر الطعام بتراكيز تبلغ (150 – 200 – 250 gr/L).

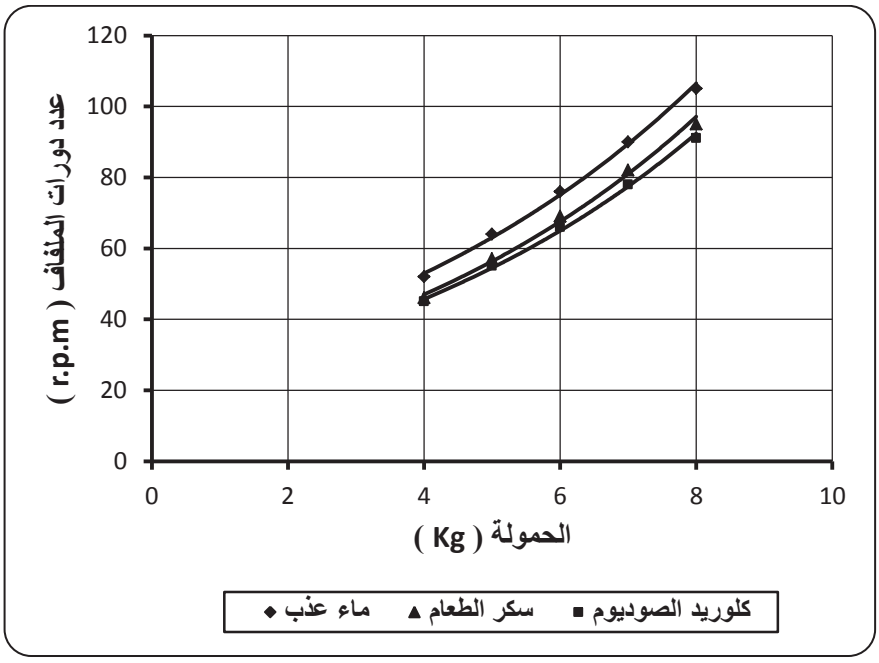
و يبين المنحني (11) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الماء العذب وتلك النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام ملح كلوريد الصوديوم وسكر الطعام و ذلك عند استخدامهما بتركيز (250 gr/L).



المنحني (9)



المنحني (10)



المنحني (11)

❖ **مناقشة النتائج:**

نلاحظ من خلال المنحنيات (9) و (10) انخفاض عدد دورات محور الملفاف مع تزايد كثافة الماء سواءً خلال استخدام ملح كلوريد الصوديوم أو سكر الطعام ، ونلاحظ من المنحني (11) أن ملح كلوريد الصوديوم يعطي نتائج أفضل من سكر الطعام في تخفيض عدد دورات محور الملفاف و بالتالي زيادة عزم كبح الهيدروماتيك و ذلك عند استخدامهما بنفس التركيز ، و يفسر ذلك بأن ملح كلوريد الصوديوم يعطي زيادة أكبر في كثافة الماء مقارنة مع سكر الطعام عند نفس التركيز لكلا المادتين.

7-6- دراسة تأثير تغيير لزوجة الماء على عزم كبح الكابح الهيدروماتيك:

سوف نقوم في هذه التجارب باستخدام بعض المواد الكيميائية التي تزيد من لزوجة الماء دون أن يكون لها تأثير تآكلي على المعدات المعدنية ، و دراسة تأثير ذلك على عزم كبح الهيدروماتيك.

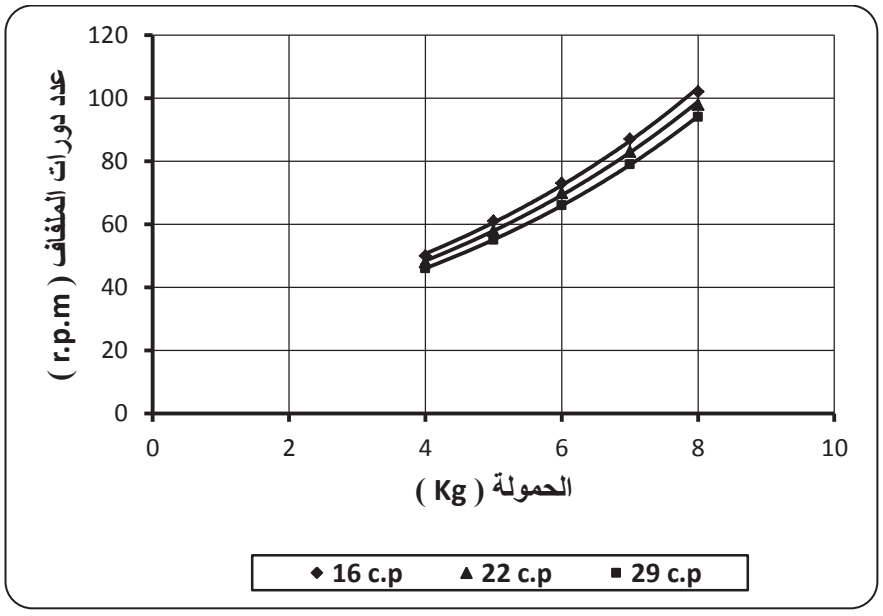
7-6-1- إجراء التجارب في حال استخدام الغليسيرين ($C_3H_5(OH)_3$):

تم استخدام عدة تراكيز من مادة الغليسيرين و إذابتها في الماء و ذلك من أجل الحصول على عدة لزوجات للسائل ، و قد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

8	7	6	5	4	الحمولة (Kg)	
عدد دورات الملفاف (r.p.m)					لزوجة السائل(c.p)	التركيز(gr/L)
102	87	73	61	50	16	150
98	83	70	58	48	22	200
94	79	66	55	46	29	250

الجدول (7) يبين النتائج في حال استخدام الغليسيرين

و يبين المنحني (12) نتائج هذه التجارب:



المنحني (12)

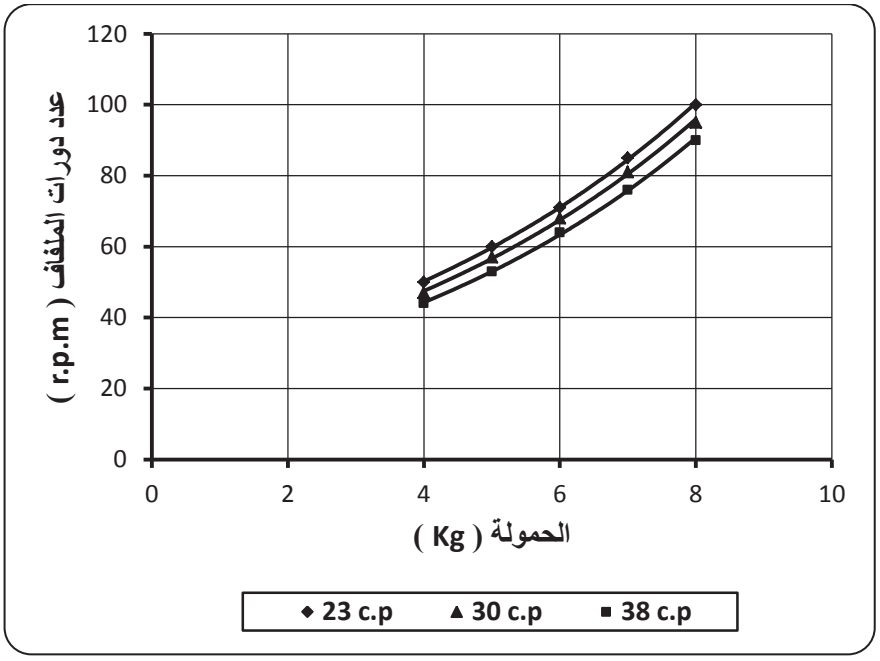
7-6-2- إجراء التجارب في حال استخدام سيليكات الصوديوم السائلة (Na_2SiO_3):

تم استخدام عدة تراكيز من مادة سيليكات الصوديوم السائلة و إذابتها في الماء و ذلك من أجل الحصول على عدة لزوجات للسائل ، و قد تم الحصول على النتائج الموضحة بالجدول التالي:

8	7	6	5	4	الحمولة (Kg)	
عدد دورات الملفاف (r.p.m)					لزوجة السائل(c.p)	التركيز(gr/L)
100	85	71	60	50	23	150
95	81	68	57	47	30	200
90	76	64	53	44	38	250

الجدول (8) يبين النتائج في حال استخدام سيليكات الصوديوم السائلة

و يبين المنحني (13) نتائج هذه التجارب:



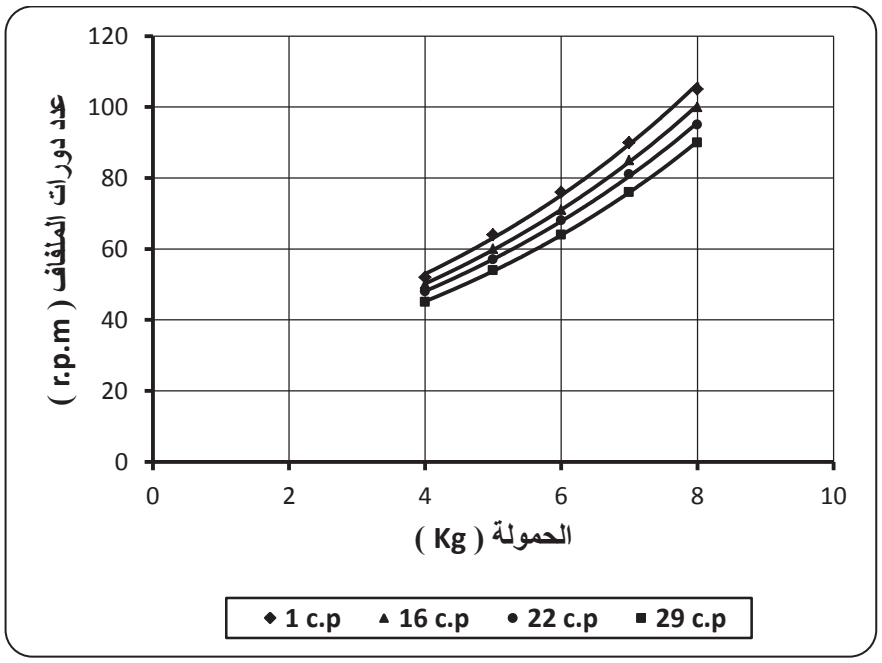
المنحني (13)

نلاحظ من المنحنيات (12 , 13) انخفاض عدد دورات الملفاف مع زيادة لزوجة سائل التشغيل ضمن الكابح ، و يعني ذلك زيادة عزم كبح الهيدروماتيك مع زيادة لزوجة السائل.

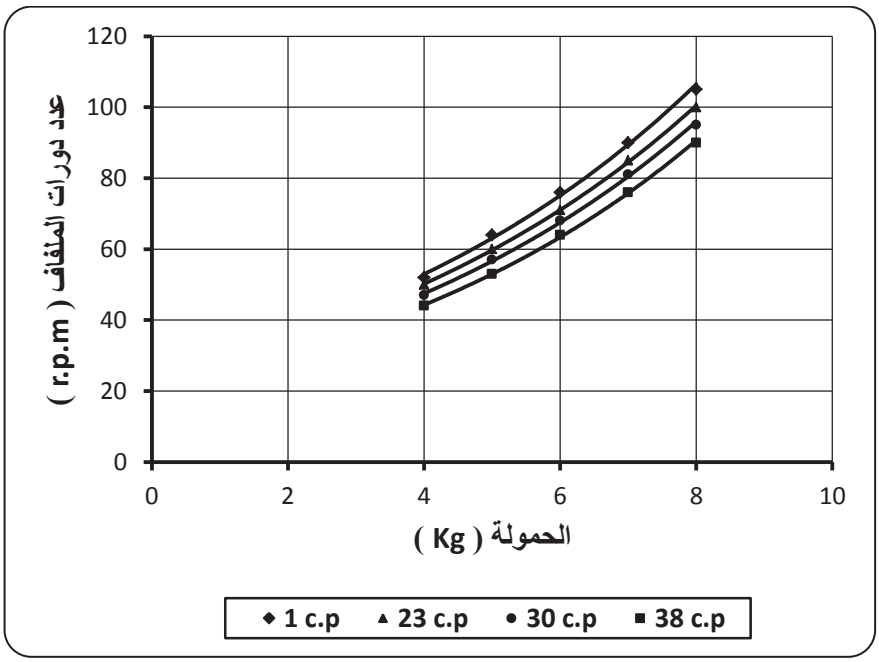
و يبين المنحني (14) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الماء العذب ذي اللزوجة (1 c.p) ضمن الكابح الهيدروماتيك ، و تلك النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الغليسيرين بتراكيز تبلغ (150 – 200 – 250 gr/L).

كما يبين المنحني (15) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الماء العذب ذي اللزوجة (1 c.p) ضمن الكابح الهيدروماتيك ، و تلك النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام سيليكات الصوديوم السائلة بتراكيز (150 – 200 – 250 gr/L).

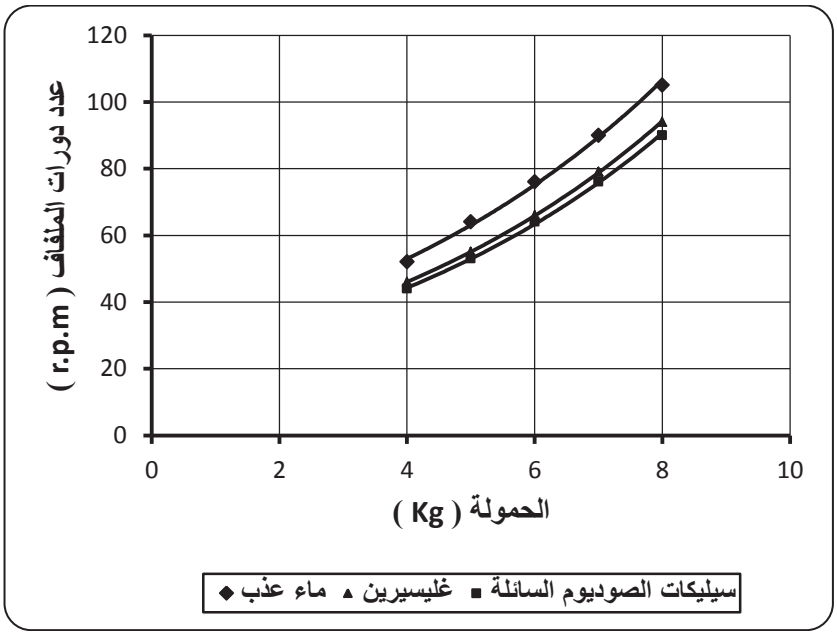
و يبين المنحني (16) المقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام الماء العذب وتلك النتائج التي حصلنا عليها عند استخدام كل من الغليسيرين و سيليكات الصوديوم السائلة و ذلك عند استخدام كل منهما بتركيز (250 gr/L).



المنحني (14)



المنحني (15)



المنحني (16)

❖ **مناقشة النتائج:**

نلاحظ من خلال المنحنيات (14) و (15) انخفاض عدد دورات محور الملفاف مع تزايد لزوجة الماء سواءً خلال استخدام الغليسيرين أو سيليكات الصوديوم السائلة ويفسر ذلك بأن زيادة لزوجة الماء تؤدي إلى صعوبة أكبر لحركة الزعانف الهيدروليكية و بالتالي إعاقة أكبر لحركة القسم الدوار ضمن السائل مما يسبب انخفاض عدد دورات محور الملفاف و بالتالي زيادة في عزم كبح الهيدروماتيك ونلاحظ من المنحني (16) أن سيليكات الصوديوم السائلة تعطي نتائج أفضل من الغليسيرين في تخفيض عدد دورات محور الملفاف و ذلك عند استخدامهما بنفس التركيز ، و يفسر ذلك بأن سيليكات الصوديوم السائلة تعطي زيادة أكبر في لزوجة الماء مقارنة مع الغليسيرين عند نفس التركيز لكلا المادتين.

8- النتائج:

- نلاحظ انخفاض عدد دورات محور الملفاف عند استخدام الزعانف الهيدروليكية المائلة بالمقارنة مع استخدام الزعانف المستقيمة ، و يفسر ذلك بزيادة حجم السائل العامل الذي يمر من خلال منظومة الزعانف في واحدة الزمن و ذلك في حالة الزعانف المائلة مما يسبب إعاقة أكبر لدوران محور الملفاف حيث أن عزم الفرملة للكابح الهيدروديناميكي المساعد يتناسب طرداً مع الكمية المصروفة من السائل العامل (Q) خلال الكابح الهيدروماتيك.
- نلاحظ انخفاض عدد دورات محور الملفاف مع تزايد الضغط الذي تم تشكيله ضمن حجرة الكابح ، حيث أن إغلاق الصمام عند مخرج الماء من الكابح يمنع الماء من العبور إلى خزان التبريد مما يؤدي إلى ارتداد الماء تحت الضغط إلى الكابح وباتجاه معاكس لدوران الروتر وهذا يؤدي بدوره إلى تناقص عدد دورات الملفاف و زيادة في عزم كبح الهيدروماتيك.
- نلاحظ انخفاض عدد دورات محور الملفاف مع تزايد كثافة الماء سواءً خلال استخدام ملح كلوريد الصوديوم أو سكر الطعام ، و نلاحظ أن ملح كلوريد

الصوديوم يعطي نتائج أفضل من سكر الطعام في زيادة عزم كبح الهيدروماتيك و ذلك عند استخدامهما بنفس التركيز ، و يفسر ذلك بأن ملح كلوريد الصوديوم يعطي زيادة أكبر في كثافة الماء مقارنة مع سكر الطعام عند نفس التركيز لكلا المادتين.

- نلاحظ انخفاض عدد دورات محور الملفاف مع تزايد لزوجة الماء سواءً خلال استخدام الغليسيرين أو سيليكات الصوديوم السائلة ، و يفسر ذلك بأن زيادة لزوجة الماء تؤدي إلى إعاقة أكبر لحركة القسم الدوار ضمن السائل مما يسبب انخفاض عدد دورات محور الملفاف وبالتالي زيادة في عزم كبح الهيدروماتيك ، و نلاحظ أن سيليكات الصوديوم السائلة تعطي نتائج أفضل من الغليسيرين في زيادة عزم كبح الهيدروماتيك و ذلك عند استخدامهما بنفس التركيز ، و يفسر ذلك بأن سيليكات الصوديوم السائلة تعطي زيادة أكبر في لزوجة الماء مقارنة مع الغليسيرين عند نفس التركيز لكلا المادتين.

من خلال النتائج التي حصلنا عليها نجد أن استخدام الزعانف المائلة في كل من القسمين الثابت و الدوار ، كما أن تشكيل ضغط للسائل ضمن حجرة الكابح بالإضافة إلى استخدام الماء المالح ضمن الكابح و زيادة لزوجته إلى قيم مدروسة من شأنه أن يزيد من فعالية و كفاءة الكابح الهيدروديناميكي و يقلل من تآكل عناصر الكابح الشريطي الرئيسي (عجلات الفرملة – صفائح احتكاكية) الأمر الذي يحسن شروط عمل منظومة الكبح ضمن وحدة الحفر.

9- المقترحات:

من خلال النتائج التي حصلنا عليها يمكن أن نقترح ما يلي:

- استخدام الزعانف الهيدروليكية المائلة في كل من القسمين الثابت و الدوار وبحيث تكون زاوية الميلان مدروسة و بما يحقق أكبر حجم مصروف من السائل العامل خلال الكابح الهيدروماتيك.
- استخدام الماء المالح بدلاً من الماء العذب كسائل تشغيل ضمن الكابح الهيدروماتيك وينصح باستخدام ملح كلوريد الصوديوم في زيادة كثافة الماء كونه

متوفر بكثرة بالإضافة إلى أنه رخيص الثمن مقارنة مع بقية الأملاح المنحلة (يمكن تحقيق ذلك بسهولة أكبر في عمليات الحفر البحري).

- إضافة بعض المواد التي تزيد من لزوجة الماء إلى سائل التشغيل و بحيث لا يكون لها أي تأثير تآكلي على المعدات المعدنية ، و هنا ننصح بإضافة سيليكات الصوديوم السائلة إلى الماء المالح كونها متوفرة في الحقول النفطية إضافة إلى أنها رخيصة الثمن أيضاً.
- تركيب صمام عند مخرج السائل من الكابح و ذلك بهدف زيادة عزم كبح الهيدروماتيك بقيم مختلفة من خلال إغلاق هذا الصمام بقيم مختلفة حيث نحصل في هذه الحالة على عدة قيم للضغط داخل حجرة الكابح ، و ينصح بتركيب مؤشر قياس الضغط على خط خروج السائل من الكابح بهدف مراقبة الضغط و منع ارتفاعه إلى قيم كبيرة جداً تؤدي إلى ضرر بالآلة ، و في حال التعامل مع ضغوط كبيرة ينصح بأن يكون الكابح مصنع بحيث يتحمل هذه القيم المرتفعة للضغط (اختبار تحمل الجهاز للضغط).

المراجع

أ- المراجع العربية:

1- مديرية حقول الحسكة (الرميلان) – شعبة المعدات الثقيلة و ميكانيك آلات الحفر.
2- أ.د. حديد، محمود – ميكانيك آلات الحفر و الإنتاج (2) – القسم النظري – كلية الهندسة الكيميائية و البترولية ، منشورات جامعة البعث 2010 – 2011.
3- أ.د. حديد، محمود – م. الكحيل، عبد الستار – ميكانيك آلات الحفر و الإنتاج (2) القسم العملي – كلية الهندسة الكيميائية و البترولية ، منشورات جامعة البعث 2011 – 2010.

ب- المراجع الأجنبية:

4- Parmac L.L.C company – Hydromatic Brake Catalog, HB-1-10 www.parmacbrake.com, USA, Texas 2010.
5- Parmac L.L.C company – Installation , Repair and Maintenance Instructions Hydromatic Brake, HB-1- 82, USA, Texas 1982.