

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

- م. عبد الستار الكحيل*
د.م. نضال إبراهيم**
أ.د.م. محمود حديد***

ملخص البحث

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو إيجاد موديل رياضي يعطي عزم الكبح للكابح الهيدروديناميكي المساعد المستخدم في وحدة الحفر بالعلاقة مع بعض المؤشرات التشغيلية و هي الضغط داخل حجرة الكابح و كثافة و لزوجة السائل العامل داخل الكابح ، بحيث نستطيع من خلال هذا الموديل معرفة عزم الكبح مباشرة مع أي تغيير في هذه المؤشرات.

إن التجارب المخبرية المنفذة بينت تأثير كل مؤشر من هذه المؤشرات على عزم الكبح بشكل مستقل (أي عند دراسة تأثير كل بارامتر يتم تثبيت بقية البارامترات) ، ومن ثم و باستخدام طريقة التحليل العكسي تم اقتراح موديل رياضي يأخذ بالاعتبار التأثير المشترك لهذه البارامترات على عزم كبح الكابح الهيدروماتيك.

و بما أن الموديل الرياضي تم اقتراحه بناء على التجارب المنفذة على النموذج المخبري للكابح فقد تم تطوير هذا الموديل لاحقاً ليحاكي الشروط الحقلية.

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

Finding of a mathematical model for hydrodynamic brake in drilling rig by using of inverse analysis method

Abstract

The main purpose of this research is to find a mathematical model for the braking torque of auxiliary hydrodynamic brake in drilling rig linking some of operational parameters which are the pressure in brake chamber, density and viscosity of operating liquid inside the brake, we can use this model to know the value of braking torque directly with any changing in this parameters.

The laboratory tests show the effect of any parameter independently, after that and by using of inverse analysis method we suggest a mathematical model which it take in consideration the combined effect for this parameters on braking torque of hydrodynamic brake.

The suggested model is the result of the experimental conditions so we developed this model to simulate the field conditions.

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

مقدمة: [1]

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 إبطائها خلال عمليات الرفع والإنتزال ، 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- الكوابح المنظمة أو المساعدة (Auxiliary Brakes): [1]

تستخدم هذه الكوابح من أجل:

1- التحكم بـسرع إنزال الخطاف والحمولة 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 إيقاف الحمولة المعلقة على الخطاف بشكل بطيء وسلس .

من أنواع الكوابح المساعدة نذكر الكابح الهيدروديناميكي (الهيدروماتيك) ، ويتلخص
مبدأ عمل هذا الكابح عند إنزال مجموعة مواسير الحفر بامتصاصه جزء من الطاقة
الحركية للمحور الرافع و تحويلها إلى طاقة حرارية و ذلك عن طريق الماء الموجود في
الكابح.

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

عند توصيل محور الكابح مع محور الأجهزة الرافعة خلال عمليات الإنزال يدور الجزء الدوار (الروتر) بسرعة دورانية مساوية لسرعة دوران محور الأجهزة الرافعة طارداً الماء باتجاه الشفرات (الزعانف) المائلة الموجودة داخل الجزء الثابت وعند ارتطام الماء بهذه الزعانف يرتد باتجاه معاكس لاتجاه الزعانف المركبة على الجزء الدوار معرقلاً حركته ويتكرر هذه العملية تزداد القوى المعرقة لحركة الجزء الدوار مما يولد عزم كبح يعاكس الحركة الدورانية لمحور الأجهزة الرافعة و يقلل من سرعة دورانه و بالنتيجة تنخفض سرعة إنزال مجموعة مواسير الحفر .

إن التنسيق بين عملي الكابحين الرئيسي الشريطي و الهيدروديناميكي المساعد يؤمن معامل أمان فرملة ضمن الحدود المسموح بها و يحافظ على زمن أطول لخدمة عناصر الكابح الرئيسي الشريطي من خلال تقليل تآكل الصفائح الاحتكاكية و عجلات الكابح الشريطي ، و هذا ما يجعل دراسة الكابح الهيدروديناميكي (الهيدروماتيك) ودراسة الوسائل التي تزيد عزم الكبح لهذا الكابح له أهمية كبيرة في تأمين عملية كبح آمنة و سليمة لحركة الاسطوانة الرافعة.

2-الحسابات الأساسية للكابح العنفي الحركي (الهيدروماتيك): [2]

تحدد الاستطاعة الهيدروليكية للكابح (N) من العلاقة:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

حيث أن:

ρ : كثافة السائل العامل (الماء العذب).

g : تسارع الجاذبية الأرضية.

Q : الكمية المصروفة من السائل العامل ، و تساوي حجم السائل العامل الذي يمر من خلال منظومة الزعانف في واحدة الزمن.

H : ارتفاع (مستوى) السائل العامل في الكابح.

يحدد عزم الكبح (M_B) للكابح العنفي الحركي بالعلاقة التالية:

$$M_B = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \omega \quad (2)$$

ω : السرعة الزاوية لدوران القسم المتحرك من الكابح.
لدراسة مؤشرات الكابح العنفي الحركي (عزم الكبح) تستخدم علاقات عزوم الكبح المشهورة المستخدمة في نظريات الآلات الهيدروليكية الزعنفية الآتية:

$$M_B = \lambda_M \cdot \rho (D^5 - d^5) \cdot \omega^2 \quad (3)$$

$$M_B = \lambda_M \cdot \rho (D^5 - d^5) \cdot \frac{n^2}{100} \quad (4)$$

حيث أن:

D : القطر الخارجي لحلقة السائل العامل المتكونة عند دوران دولاب القسم المتحرك (Rotor) و يؤخذ مساوياً لقطر دولاب القسم المتحرك.

d : القطر الداخلي لحلقة السائل العامل الذي يعتمد على مستوى (امتلاء) الكابح.

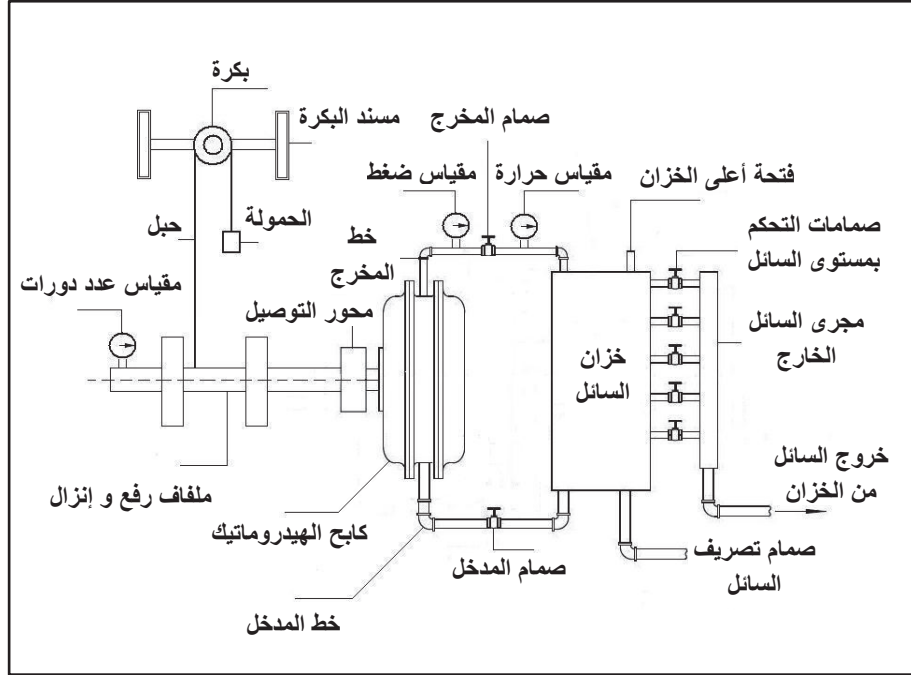
n : عدد دورات القسم المتحرك من الكابح (عدد دورات المحور الرافع) و يتم تعويضه بـ (r.p.m) على اعتبار أن $(\omega = \frac{2\pi n}{60} \Rightarrow \omega^2 = \frac{n^2}{100})$.

λ_M : معامل العزم الهيدروليكي وهو قيمة من دون وحدات ترتبط بأشكال التجاويف العاملة في الكابح والقياسات الهندسية لزعانف الكابح و عددها ، وتؤخذ في الحسابات العملية قيمة وسطية لمعامل العزم الهيدروليكي و هي (0.3).

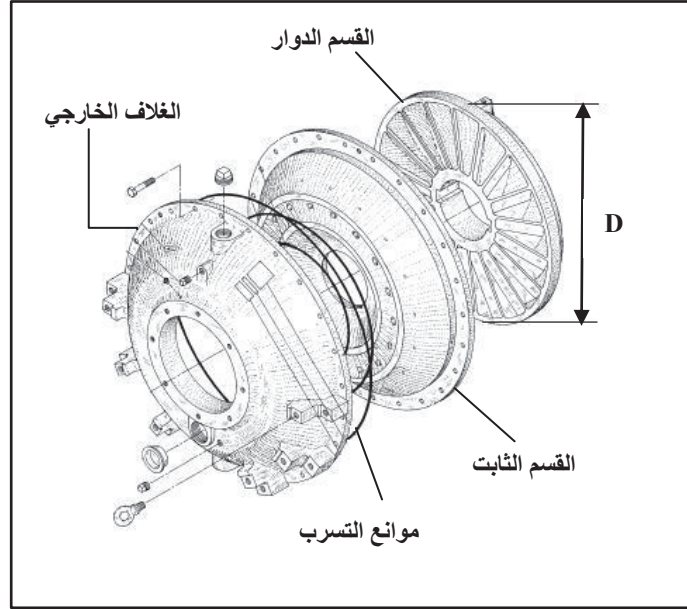
سوف نقوم في هذا البحث بدراسة تأثير بعض المؤشرات التشغيلية على عزم كبح الهيدروماتيك و هي الضغط داخل حجرة الكابح و كثافة و لزوجة السائل العامل داخل الكابح ، حيث أن هذه المؤشرات غير مأخوذة في الاعتبار ضمن العلاقة (4) على اعتبار أن الكابح يعمل عند الضغط الجوي (1 at) و السائل هو الماء العذب ذي الكثافة (1 gr/cm³) و اللزوجة (1 c.p) و لم تجري أي أبحاث تم فيها تغيير أي من هذه المؤشرات قبل هذا البحث.

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

لقد تم إجراء التجارب المخبرية باستخدام محطة مخبرية تمثل نموذج الكابح الهيدروديناميكي المساعد ، و يبين الشكلين (1) مخططاً تفصيلياً لهذا النموذج المخبري ، كما يبين الشكل رقم (2) رسماً تخطيطياً يوضح الأجزاء الداخلية للكابح الهيدروديناميكي المساعد. [3]



الشكل (1) يبين المحطة المخبرية المستخدمة في التجارب العملية



الشكل (2) يبين الأجزاء الداخلية للكابح الهيدروديناميكي المساعد

3- خطوات إجراء التجارب العملية:

- إملء الخزان و الكابح بالسائل إلى المستوى المطلوب ، سيتم إملء الخزان والكابح بالسائل حتى مستوى الصمام الأول الذي يبلغ ارتفاعه (4 inches).
 - رفع الوزن المعلق بالخطاف و الذي يبلغ (8 Kg) والتمتص مع الحبل حتى المسافة المحددة التي تبلغ (125 inches) وذلك بواسطة الذراع اليدوي الموصول مع الملفاف.
 - ترك الحمل ليهبط تحت تأثير وزنه.
 - أخذ القراءة من مؤشر عدد الدورات لمحور الملفاف.
- سنقوم بعد ذلك بدراسة تأثير المؤشرات التي أجرينا عليها التجارب المخبرية على عزم الفرملة لكابح الهيدروماتيك، و هذه المؤشرات هي:
- الضغط الذي تم تشكيله ضمن حجرة الكابح (P).
 - كثافة السائل العامل (ρ).
 - لزوجة السائل العامل (μ).

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

سوف نقوم أولاً بحساب عزم الكبح للكابح الهيدروديناميكي المساعد من خلال العلاقة رقم (4) حيث تم تحديد قيم (n ، d ، D) كما يلي:

D : القطر الخارجي لحلقة السائل العامل المتكونة عند دوران دولاب القسم المتحرك (Rotor) و يؤخذ مساوياً لقطر دولاب القسم المتحرك ، و لدينا قطر الروتر ضمن المحطة المخبرية المستخدمة في التجارب العملية ($D = 13 \text{ inches} = 0.33 \text{ m}$).

d : القطر الداخلي لحلقة السائل العامل الذي يعتمد على مستوى (امتلاء) الكابح، ويتم تحديده من خلال المساواة بين حجم السائل العامل ضمن الكابح و حجم حلقة السائل المتشكلة عند دوران القسم المتحرك داخل الكابح ، عند الارتفاع المحدد للسائل ضمن خزان التبريد (4 inches) كان حجم السائل العامل ضمن الكابح (2.85 Liters) وهو يساوي حجم حلقة السائل المتشكلة والتي قطرها الخارجي ($D = 0.33 \text{ m}$) وقطرها الداخلي المطلوب حسابه (d) و عرضها يساوي عرض نموذج الكابح الذي يبلغ ($5 \text{ inches} = 0.127 \text{ m}$) ، فإنه ينتج لدينا ($d = 0.283 \text{ m}$).

n : عدد الدورات المرتبط بالوزن المعلق ، و هو عبارة عن عدد الدورات في حال عدم تشغيل الكابح أي عدد دورات الملفاف في حال فصله عن الكابح ، و لدينا من التجارب المخبرية ($n = 240 \text{ r.p.m}$) عند الوزن المعلق بالخطاف (8 Kg).

و بالتالي نحسب عزم كبح الهيدروماتيك عند الوزن المعلق بالخطاف (8 Kg) حيث تم إجراء التجربة عند إملء الكابح بالماء العذب حتى مستوى الصمام الأول الذي يبلغ ارتفاعه (4 inches) ، وذلك عند المؤشرات التالية: الضغط ($P = 1 \text{ at}$) و كثافة السائل ($\rho = 1 \text{ gr/cm}^3$) ولزوجة السائل ($\mu = 1 \text{ c.p}$):

$$M_B = 0.3 \times 1000 \times (0.33^5 - 0.283^5) \times \frac{(240)^2}{100} = 355 \text{ N.m}$$

سنقوم بتحديد عزم كبح الهيدروماتيك أثناء دراسة المؤشرات المختلفة انطلاقاً من عدد دورات محور الملفاف المتصل مع محور الكابح (أي أثناء تشغيل الكابح) ، حيث أن انخفاض عدد دورات الملفاف بنسبة معينة يعني ازدياد عزم الكبح بنفس مقدار هذه النسبة وهذا ما توضحه العلاقة رقم (2) حيث التناسب عكسي و من الدرجة الأولى

بين عزم الكبح والسرعة الزاوية (ω) و بالتالي التناسب عكسي بين عزم الكبح وعدد دورات الملفاف (n) ، (على سبيل المثال انخفاض عدد دورات الملفاف بنسبة % 20 عند زيادة كثافة السائل بمقدار معين يعني ازدياد عزم كبح الهيدروماتيك الذي يبلغ 355 N.m بنسبة % 20) ، و قيمة عزم الكبح التي ستتم المقارنة معها هي (355 N.m) وهي تمثل عزم الكبح عند المؤشرات التالية: الضغط (P = 1 at) وكثافة السائل ($\rho = 1 \text{ gr/cm}^3$) ولزوجة السائل ($\mu = 1 \text{ c.p}$).

3-1- دراسة تأثير الضغط داخل الكابح على عزم كبح الهيدروماتيك:

في هذه التجارب سوف نقوم بتشكيل ضغط للسائل ضمن الكابح الهيدروماتيك من خلال إغلاق الصمام الموجود عند خط خروج السائل من الكابح ، لقد تم إغلاق الصمام بعدة قيم من أجل الحصول على عدة قيم للضغط ، و من خلال التجارب المخبرية وحساب عزم الكبح عند الوزن المعلق (8 Kg) فقد تم التوصل إلى النتائج الموضحة بالجدول التالي:

الجدول (1) يبين نتائج تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير الضغط داخل الكابح

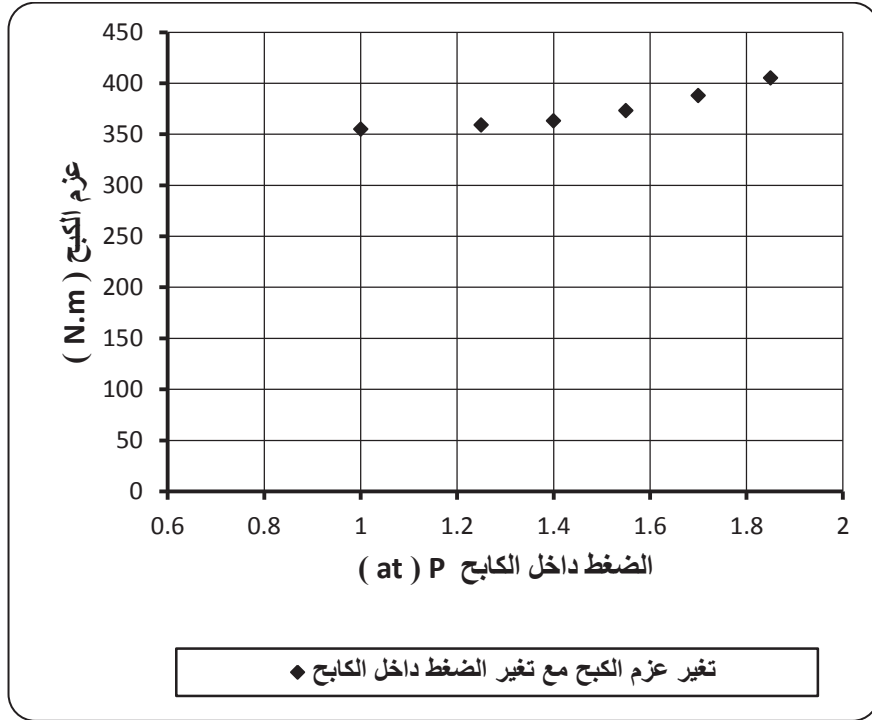
1.85	1.7	1.55	1.4	1.25	1	الضغط داخل الكابح (at)
90	95	100	103	104	105	عدد دورات الملفاف (r.p.m)
405	388	372	363	359	355	عزم كبح الهيدروماتيك (N.m)

إن النتائج الموجودة في الجدول (1) محسوبة عند المؤشرات التالية:

كثافة السائل (ρ)	لزوجة السائل (μ)
1 gr/cm^3	1 c.p

ويبين الشكل (3) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير الضغط داخل الكابح:

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي



الشكل (3) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير الضغط داخل الكابح

إن النقاط التجريبية توحى بشكل علاقة خطية تقريباً و لكن لا يمكن الافتراض أن العلاقة خطية أو أنها تمثل أي شكل قبل التأكد من خلال الموديل الرياضي و عندها يمكن وصل النقاط مع بعضها البعض.

3-2- دراسة تأثير كثافة السائل العامل على عزم كبح الهيدروماتيك:

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

3-2-1- دراسة تأثير الكثافة في حال استخدام ملح كلوريد الصوديوم:

لقد تم استخدام عدة تراكيز لملاح كلوريد الصوديوم المنحل في الماء و ذلك من أجل الحصول على عدة كثافات للسائل داخل الكابح ، و من خلال التجارب المخبرية وحساب عزم الكبح عند الوزن المعلق بالخطاف (8 Kg) فقد تم التوصل إلى النتائج الموضحة بالجدول التالي:

الجدول (2) يبين نتائج تغير عزم الكبح مع تغير الكثافة عند استخدام كلوريد الصوديوم

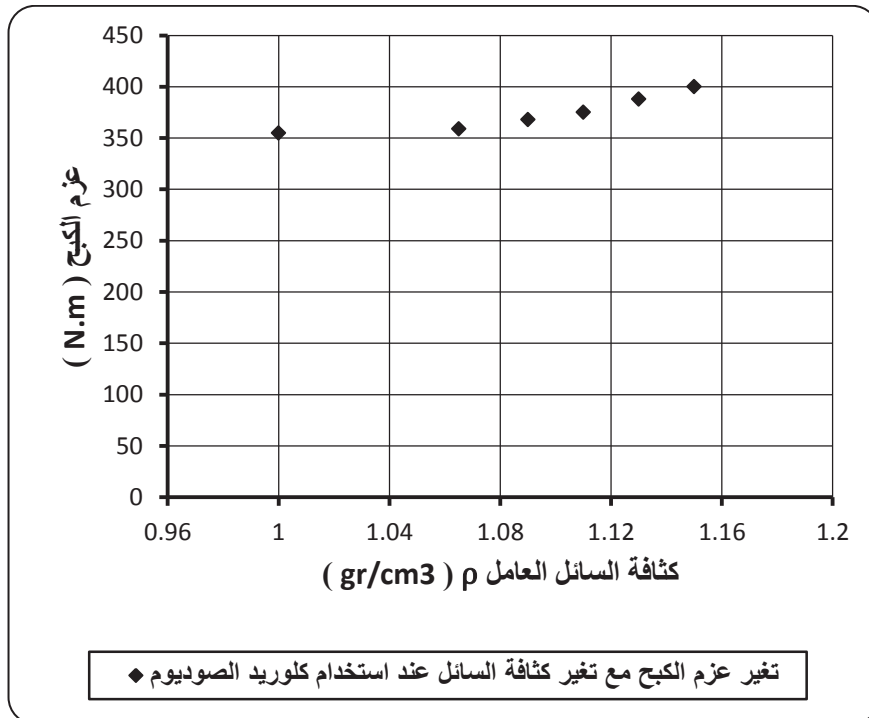
1.15	1.13	1.11	1.09	1.065	1	كثافة السائل العامل (gr/cm ³)
91	95	99	102	104	105	عدد دورات الملفاف (r.p.m)
402	388	375	366	359	355	عزم كبح الهيدروماتيك (N.m)

إن النتائج الموجودة في الجدول (2) محسوبة عند المؤشرات التالية:

الضغط داخل الكابح (P)	لزوجة السائل (μ)
1 at	1 c.p

إن تغير اللزوجة أثناء زيادة تركيز ملح كلوريد الصوديوم صغير جداً و يمكن اعتبار أن لزوجة السائل تساوي تقريباً (1 c.p).

ويبين الشكل (4) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير كثافة السائل العامل داخل الكابح و ذلك في حال استخدام ملح كلوريد الصوديوم:



إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

الشكل (4) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير كثافة السائل العامل داخل الكابح

إن النقاط التجريبية توحى بشكل علاقة خطية تقريباً و لكن لا يمكن الافتراض أن العلاقة خطية أو أنها تمثل أي شكل قبل التأكد من خلال الموديل الرياضي و عندها يمكن وصل النقاط مع بعضها البعض.

3-2-2- دراسة تأثير الكثافة في حال استخدام سكر الطعام:

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

لقد تم استخدام عدة تراكيز لسكر الطعام المنحل في الماء و ذلك من أجل الحصول على عدة كثافات للسائل داخل الكابح ، و من خلال التجارب المخبرية و حساب عزم الكبح عند الوزن المعلق بالخطاف (8 Kg) فقد تم التوصل إلى النتائج الموضحة بالجدول (3):

الجدول (3) يبين نتائج تغير عزم الكبح مع تغير الكثافة عند استخدام سكر الطعام

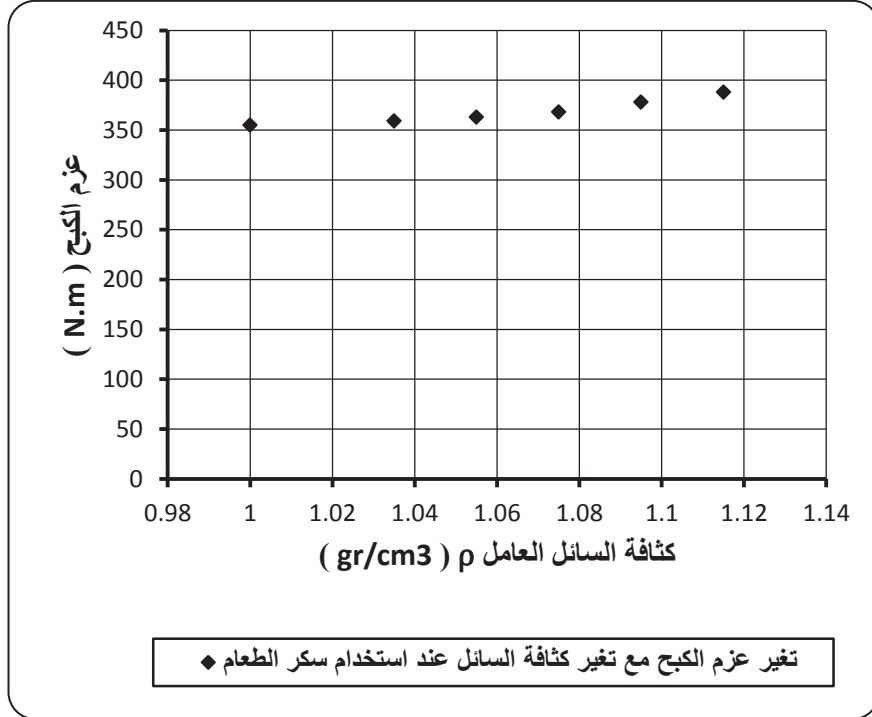
كثافة السائل (gr/cm^3)	1	1.035	1.055	1.075	1.095	1.115
عدد الدورات (r.p.m)	105	104	103	101	98	95
عزم الكبح (N.m)	355	359	363	368	378	388

إن النتائج الموجودة في الجدول (3) محسوبة عند المؤشرات التالية:

الضغط داخل الكابح (P)	لزوجة السائل (μ)
1 at	1 c.p

إن تغير اللزوجة أثناء زيادة تركيز سكر الطعام صغير جداً و يمكن اعتبار أن لزوجة السائل تساوي تقريباً (1 c.p).

ويبين الشكل (5) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير كثافة السائل العامل داخل الكابح و ذلك في حال استخدام سكر الطعام:



الشكل (5) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير كثافة السائل العامل داخل الكبح
إن النقاط التجريبية توحى بشكل علاقة خطية تقريباً و لكن لا يمكن الافتراض أن العلاقة
خطية أو أنها تمثل أي شكل قبل التأكد من خلال الموديل الرياضي و عندها يمكن
وصل النقاط مع بعضها البعض.

3-3- دراسة تأثير لزوجة السائل العامل على عزم كبح الهيدروماتيك:

3-3-1- دراسة تأثير اللزوجة في حال استخدام الغليسرين:

سوف نقوم في هذه التجارب باستخدام بعض المواد الكيميائية التي تزيد من لزوجة الماء
دون أن يكون لها تأثير تآكلي على المعدات المعدنية ، لقد تم استخدام عدة تراكيز من
مادة الغليسرين و إذابتها في الماء و ذلك من أجل الحصول على عدة لزوجات للسائل ،
و من خلال التجارب المخبرية و حساب عزم الكبح عند الوزن المعلق بالخطاف (8 Kg)
فقد تم التوصل إلى النتائج الموضحة بالجدول (4):

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

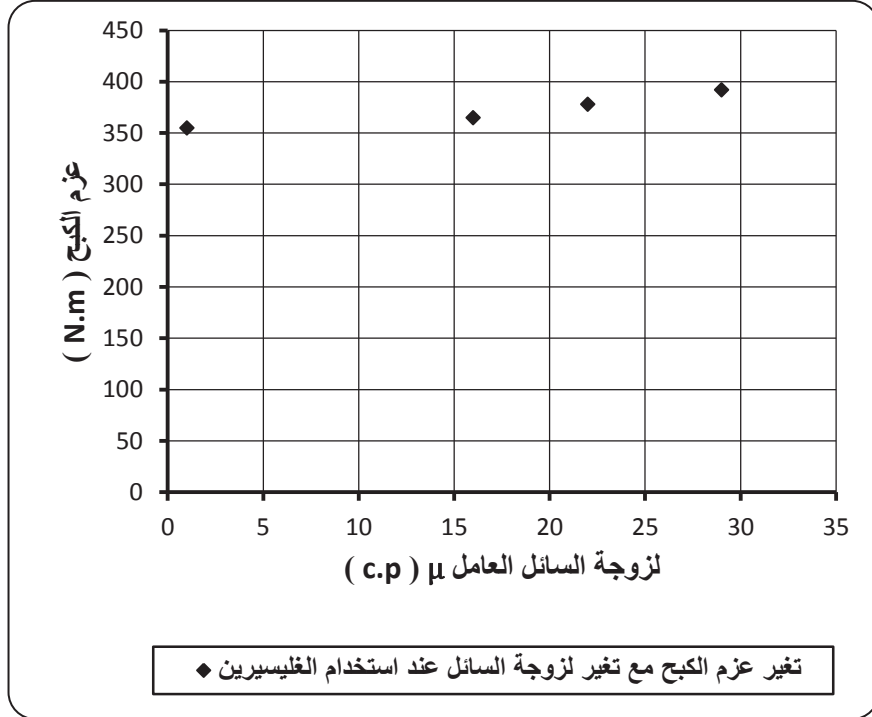
الجدول (4) يبين نتائج تغير عزم الكبح مع تغير اللزوجة عند استخدام الغليسرين

29	22	16	1	لزوجة السائل العامل (c.p)
94	98	102	105	عدد دورات الملفاف (r.p.m)
392	378	365	355	عزم كبح الهيدروماتيك (N.m)

إن النتائج الموجودة في الجدول (4) محسوبة عند المؤشرات التالية:

كثافة السائل (ρ)	الضغط داخل الكابح (P)
$\approx 1 \text{ gr/cm}^3$	1 at

ويبين الشكل (6) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير لزوجة السائل العامل داخل الكابح و ذلك في حال استخدام الغليسرين:



الشكل (6) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير لزوجة السائل العامل داخل الكابح

إن النقاط التجريبية توجي بشكل علاقة خطية تقريباً و لكن لا يمكن الافتراض أن العلاقة خطية أو أنها تمثل أي شكل قبل التأكد من خلال الموديل الرياضي و عندها يمكن وصل النقاط مع بعضها البعض.

3-3-2- دراسة تأثير اللزوجة في حال استخدام سيليكات الصوديوم السائلة:

لقد تم استخدام عدة تراكيز من مادة سيليكات الصوديوم السائلة و إذابتها في الماء وذلك من أجل الحصول على عدة لزوجات للسائل ، و من خلال التجارب المخبرية وحساب عزم الكبح عند الوزن المعلق بالخطاف (8 Kg) فقد تم التوصل إلى النتائج الموضحة بالجدول (5):

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

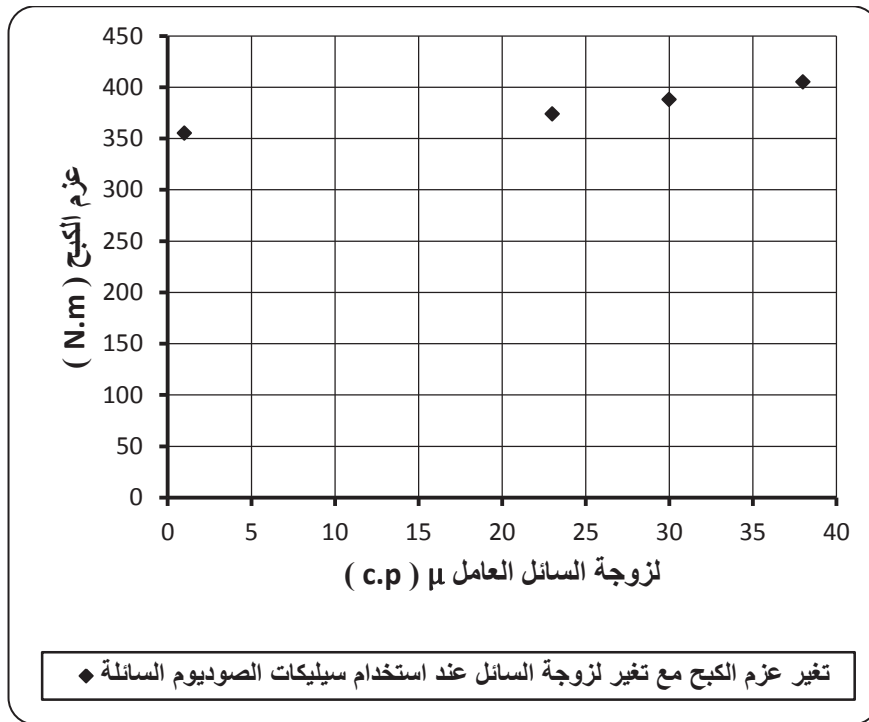
الجدول (5) يبين تغير عزم الكبح مع تغير اللزوجة عند استخدام سيليكات الصوديوم

38	30	23	1	لزوجة السائل العامل (c.p)
90	95	100	105	عدد دورات الملفاف (r.p.m)
405	388	372	355	عزم كبح الهيدروماتيك (N.m)

إن النتائج الموجودة في الجدول (5) محسوبة عند المؤشرات التالية:

كثافة السائل (ρ)	الضغط داخل الكابح (P)
$\approx 1 \text{ gr/cm}^3$	1 at

ويبين الشكل (7) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير لزوجة السائل العامل داخل الكابح و ذلك في حال استخدام سيليكات الصوديوم السائلة:



الشكل (7) تغير عزم كبح الهيدروماتيك مع تغير لزوجة السائل العامل داخل الكابح

أثناء دراسة مؤشر اللزوجة تبين أن بارامترات الكثافة و اللزوجة غير مستقلة عن بعضها (أي أن الكثافة لم تساوي 1 gr/cm^3) ، ويتضح ذلك من خلال الجدول التالي:

38	30	23	29	22	16	اللزوجة (c.p)
1.034	1.025	1.017	1.021	1.014	1.008	الكثافة (gr/cm^3)

كما تبين أن نسبة تأثير الكثافة لم تتجاوز (6 %) ، حيث تم حساب نسبة تأثير الكثافة من خلال احتساب الفرق بين كثافة السائل اللزج و بين كثافة الماء العذب ومثال على ذلك عندما كانت اللزوجة (30 c.p) كانت الكثافة (1.025 gr/cm^3) وبالتالي نسبة تأثير الكثافة تحسب كما يلي:

$$\Delta = \frac{1.025-1}{1} \times 100 = 2.5 \%$$

4- إيجاد الموديل الرياضي لكبح الهيدروماتيك:

4-1- مقدمة:

تعتبر الظاهرة الفيزيائية المدروسة عن تغير عزم الكبح مع الضغط والكثافة واللزوجة والتي لا يمكن التعبير عنها من خلال علاقة مباشرة (الدراسة المرجعية في بداية البحث) ، تم التعبير عن تأثير كل متغير من المتغيرات على عزم الكبح بالطرق التجريبية وبشكل مستقل لكل بارامتر (كما هو واضح من المنحنيات التجريبية).

4-2- طريقة التحليل العكسي: [5]

نتيجة لعدم وجود علاقات ضمن المراجع و البحث المرجعي تعبر عن علاقة عزم الكبح بالمتغيرات (الضغط والكثافة و اللزوجة) تم اللجوء إلى طريقة التحليل العكسي كطريقة فعالة في تحديد نماذج رياضية من خلال القياسات التجريبية ، وبالتالي استخدمنا في هذا البحث طريقة التحليل العكسي للوصول إلى موديل رياضي يربط هذه المتغيرات بعزم الكبح بحيث نستطيع التعبير عن الأثر المشترك لهذه البارامترات على عزم الكبح. يمكن التعبير عن تأثير البارامترات على الظاهرة المدروسة (و التي هي في بحثنا عزم كبح الهيدروماتيك) بالعلاقة التالية:

$$D = F(P, C) \quad (5)$$

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

F : تابع يربط الظاهرة المدروسة (D) مع مجموعة قيم متغيرات ومجموعة قيم ثابتة الموديل الرياضي المعبر عن الظاهرة.
إن نظرية التحليل العكسي تتمثل بإيجاد مجموعة قيم ثابتة الموديل المفترض (C) من خلال العلاقة العكسية التالية:

$$P = F^{-1}(D_m, C) \quad (6)$$

حيث أن:

D_m : مجموعة القيم التجريبية (المخبرية) للظاهرة المدروسة. [5],[6]
إن الحل المباشر للعلاقة (6) يعتبر مستحيلاً لذلك لا بد من استخدام الطرق الرقمية عن طريق منظومة تكرارية للوصول إلى مجموعة قيم الثوابت التي تعطينا حلاً أمثل.
و بالتالي يمكن اختصار ذلك بتحديد مجموعة قيم (P) بما يحقق العلاقتين التاليتين:

$$D_c = F(P, C) \quad (7)$$

$$|D_m - D_c| \leq \varepsilon \quad (8)$$

حيث أن:

D_c : مجموعة القيم المحسوبة للظاهرة المدروسة.
 ε : الدقة المطلوبة وفقاً لحساسية الظاهرة المدروسة.
إن المنظومة التكرارية تعتمد على تجريب كل مجموعات قيم الثوابت للوصول إلى الحل الأمثل وتأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار الأخطاء الإحصائية المرتكبة أثناء القياسات التجريبية عن طريق مصفوفة الأخطاء المعيارية للقياسات (S_1) و بنفس الأسلوب نأخذ بعين الاعتبار نسبة الخطأ المرتكبة في القيم المحسوبة من خلال الخطأ المعياري الأدنى الذي يحترم توزيع غاوس (Gauss) الإحصائي و بالتالي يتحدد تابع كثافة المعطيات الإحصائية بالعلاقة:

$$f_1(P) = P_1 = \text{const. exp} \left(-\frac{1}{2} [(D_c - D_m)^t \cdot C_d^{-1} (D_c - D_m)] \right) \quad (9)$$

C_d : هي مصفوفة الأخطاء المعيارية المبنية من الأخطاء المعيارية.
الرمز (t) يعني منقول المصفوفة.

$$C_d = \begin{bmatrix} S_1^2(1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & S_1^2(2) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & S_1^2(n) \end{bmatrix} \quad (10)$$

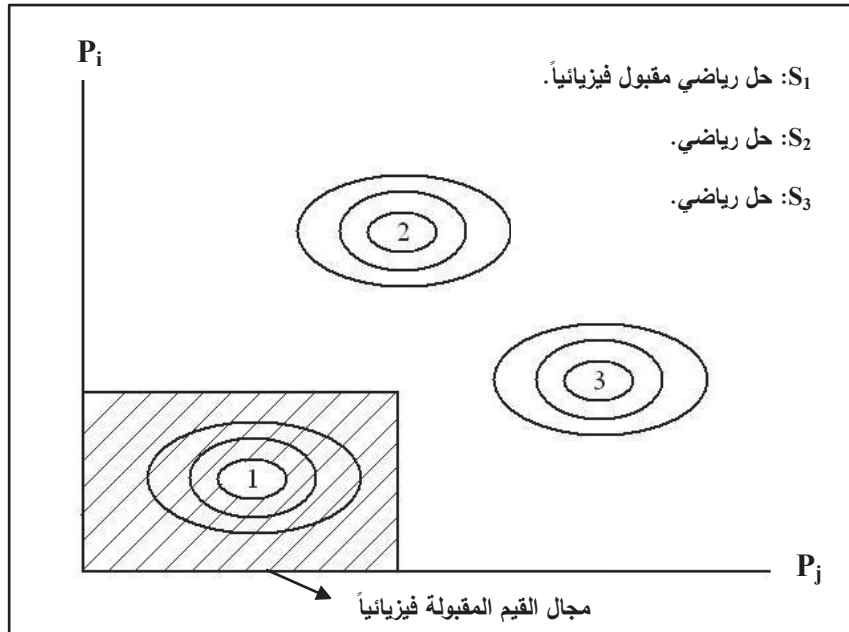
حيث أن:

n : عدد النقاط التجريبية.

بما أن (D_c) هي تابع لـ (P) فالمشكلة تعود إلى تحديد قيمة (P) بحيث تعطينا D_c القيمة الأعظمية لـ (P_1) ، و يتحقق ذلك عندما نحصل على القيمة الأصغرية لـ (S_d) بالعلاقة التالية: [5],[6]

$$S_d = (D_c - D_m)^t \cdot C_d^{-1} (D_c - D_m) \quad (11)$$

إن إيجاد القيمة الصغرى لـ (S_d) يمكن أن ينتج عند أكثر من مجموعة قيم لـ (P) وبالتالي يجب اختيار مجموعة البارامترات الصحيحة من خلال المحاكمة الفيزيائية الحقيقية لمعنى هذه البارامترات، و يمكننا توضيح ذلك من خلال المخطط الموجود في الشكل (8): [5],[4]



إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

الشكل (8) يوضح اختيار مجموعة البارامترات الصحيحة

و لهذا فإننا نستخدم مجموعة قيم أولية للبارامترات (P_o) يتم استنتاجها من خلال متوسط المجال الفيزيائي لهذه البارامترات آخذين بعين الاعتبار مصفوفة الانحرافات المعيارية (S_2) لهذه البارامترات.

عند استخدامنا من جديد توزيع غاوس (Gauss) نحصل على تابع الكثافة الإحصائي التالي:

$$f_2(P) = P_2 = \text{const. exp} \left(-\frac{1}{2} [(P - P_o)^t \cdot C_p^{-1} (P - P_o)] \right) \quad (12)$$

حيث أن:

C_p : مصفوفة الانحراف المعياري و تعطى كما يلي:

$$C_p = \begin{bmatrix} S_2^2(1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & S_2^2(2) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & S_2^2(r) \end{bmatrix} \quad (13)$$

حيث أن:

r : عدد البارامترات.

إن حل المشكلة المعبر عنها بالعلاقة رقم (6) بالتحليل العكسي تتلخص بإيجاد مجموعة قيم (P) ضمن المجال المقبول فيزيائياً والتي تحقق العلاقتين (7) و (8) وبالتالي نستطيع تحديد المجال المشترك للبارامترات (P_1) و (P_2) عن طريق علاقة عامة تحترم توزيع غاوس ، و التي يعبر عنها كما يلي:

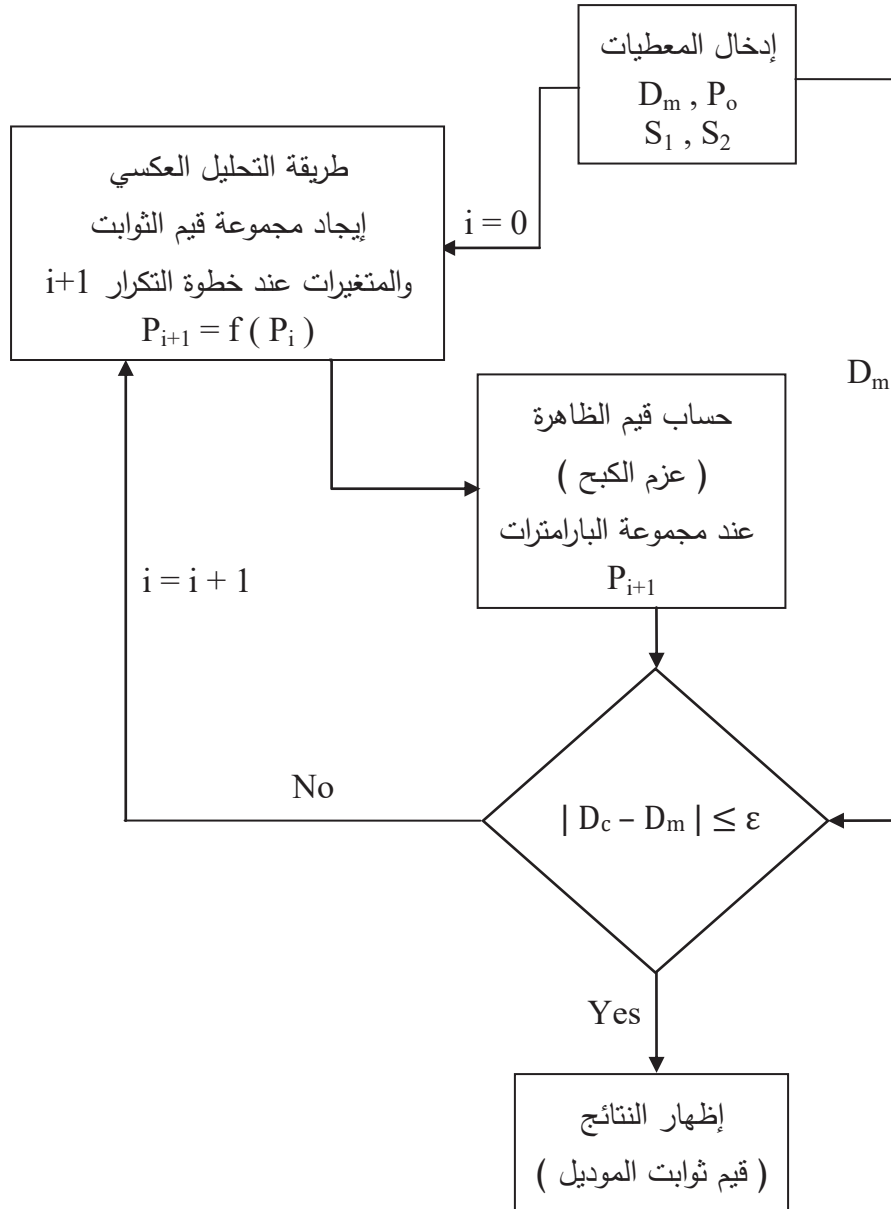
$$f(P) = P_1 \cdot P_2 = \text{const. exp}(-S) \quad (14)$$

$$S = \frac{1}{2} [(D_c - D_m)^t \cdot C_d^{-1} (D_c - D_m) + (P - P_o)^t \cdot C_p^{-1} (P - P_o)] \quad (15)$$

و بالتالي يمكن أن تحل المشكلة عند إيجاد القيم العظمى للتابع $f(P)$ أو إيجاد القيم الصغرى لـ (S).

إن الطريقة الوحيدة لإيجاد القيمة الأصغرية لـ (S) تكمن في استخدام الطرق الرقمية كطريقة نيوتن غاوس (Newton Gauss) و التي تعتمد على تحويل العلاقات

التحليلية إلى علاقات تكرارية رقمية آخذين بعين الاعتبار الخطأ المرتكب من خلال إهمال بعض الحدود في العلاقات التحليلية.
يمكن أن نعبر عن هذه الطريقة بالمخطط في الشكل (9):



إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

الشكل (9) مخطط خوارزمي لطريقة التحليل العكسي

بعد التعرف على طريقة التحليل العكسي في إيجاد الموديل الرياضي فقد تم اقتراح الموديل الأساسي (غير الخطي) التالي من أجل حساب عزم كبح الكابح الهيدروديناميكي المساعد كتابع لكل من الضغط و الكثافة و اللزوجة كما يلي:

$$M_B = f(P, \rho, \mu) + C \quad (16)$$

$$M_B = a. P^{n_1} + b. \rho^{n_2} + d. \mu^{n_3} + C \quad (17)$$

إن الموديل الرياضي المقترح في العلاقة (17) هو موديل عام غير خطي إذا كانت قيم (n_1, n_2, n_3) مختلفة عن الواحد. إن مجموعة الثوابت المطلوب إيجادها هي: (a, b, d) و (n_1, n_2, n_3) و (C) و هي مجموعة ثوابت الموديل المقترح. بعد تطبيق الطريقة الرقمية التكرارية عند دقة تساوي 0.001 تم إيجاد البارامترات الموضحة في الجدول (6):

الجدول (6) يبين قيم ثوابت الموديل المقترح

الثابت	n_1	n_2	n_3	a	b	d	C
القيمة	1	1	1	58.5	284.6	1.29	10.62

يتبين من الجدول (6) أن الظاهرة الفيزيائية المدروسة يمكن التعبير عنها بموديل خطي حيث أن (n_1, n_2, n_3) تساوي الواحد ، و يمكن التأكيد على ذلك لاحقاً من خلال المصادقة على الموديل المقترح. و بالتالي يأخذ الموديل المقترح الشكل الآتي:

$$M_B = 58.5 P + 284.6 \rho + 1.29 \mu + 10.62 \quad (18)$$

إن الموديل الرياضي استند إلى نتائج تجارب مخبرية بالوحدات المستخدمة لذلك يتم بشكل ضمنى ضمن الموديل الرياضي مجانسة الواحدات باختلاف قيمة الثابت.

4-3- المصادقة على الموديل الرياضي:

من أجل المصادقة على الموديل تم العمل على مرحلتين :

- **المرحلة الأولى:** تم اختبار هذا الموديل على الشروط البدائية للكابح و هي:

الضغط ($P = 1 \text{ at}$) و الكثافة ($\rho = 1 \text{ gr/cm}^3$) و اللزوجة ($\mu = 1 \text{ c.p}$) حيث نتج لدينا عزم كبح يساوي عزم الكبح الأولي و هو ($M_B = 355 \text{ N.m}$).

و هذا منطقي باعتبار أن القيم التجريبية الأساسية و طريقة حساب عزم الكبح لاحقاً استندت إلى عزم الكبح الأولي للكابح المخبري و هو ($M_B = 355 \text{ N.m}$).

- **المرحلة الثانية:** تم إجراء تجارب مخبرية أخذت بعين الاعتبار التأثير المشترك

لمجموعة المتغيرات كما يلي:

التجربة الأولى: حيث تم إجراء هذه التجربة عند الوزن المعلق على الخطاف (8 kg) و تم أخذ القيم العظمى للمتغيرات ، و تم بعد ذلك حساب قيمة عزم الكبح باستخدام الموديل الرياضي في العلاقة (18) ، وحساب نسبة الخطأ بين النتيجة التجريبية والنتيجة الرياضية.

التجربة الثانية: حيث تم إجراء التجربة عند الوزن المعلق على الخطاف (8 kg) وقد تم أخذ قيم عشوائية للمتغيرات بعيدة نسبياً عن القيم التجريبية المأخوذة ومن ثم حساب عزم الكبح من الموديل الرياضي ، وحساب نسبة الخطأ بين النتيجة التجريبية والنتيجة الرياضية.

التجربة الثالثة: حيث تم إجراء التجربة عند الوزن المعلق على الخطاف (8 kg) وقد تم أخذ قيم عشوائية للمتغيرات بعيدة نسبياً عن القيم التجريبية و من ثم حساب قيمة عزم الكبح من الموديل الرياضي ، وحساب نسبة الخطأ بين النتيجة التجريبية والنتيجة الرياضية.

إيجاد موديل رياضي للكابح الهيدروديناميكي في وحدة الحفر باستخدام طريقة التحليل العكسي

يبين الجدول (7) نتائج المصادقة على الموديل الرياضي.

الجدول(7) نتائج المصادقة على الموديل الرياضي

نسبة الخطأ	عزم الكبح المحسوب من الموديل(N.m)	عزم الكبح المقاس تجريبياً(N.m)	لزوجة السائل (c.p)	كثافة السائل (gr/cm ³)	الضغط (at)	رقم التجربة
1 %	495	490	38	1.15	1.85	1
6 %	434	406	13	1.10	1.60	2
5 %	447	423	26	1.12	1.45	3

يمكن أن نقيم النتائج في الجدول (7) تقيماً إيجابياً و ذلك لأن نسبة الخطأ المرتكب تعتبر مقبولة تماماً بالنسبة للظاهرة المدروسة ، و من جهة أخرى إن الأخطاء المرتكبة بالموديل لها تفسير علمي:

يعتبر الموديل الرياضي أن بارامتر الكثافة مستقل عن اللزوجة ، و لكن التجارب المنفذة سابقاً للتأكد من هذه النقطة بالتحديد أثبتت أن هناك ارتباط بين المؤشرين يصل حتى (6 %) وهذا يكافئ تقريباً نسبة الخطأ المرتكب أثناء استخدام الموديل الرياضي. يمكننا اقتراح حد جديد ضمن الموديل ($\rho.\mu$) للتعبير عن التأثير المشترك للكثافة واللزوجة ولكن باعتبار أن نسبة الخطأ قليلة لا نرى ذلك ضرورياً ، خصوصاً أن الموديل الرياضي سوف يتعقد أكثر

4-4- محاكاة الشروط الحقلية:

إن الموديل الرياضي المستنتج يعبر عن الظاهرة الفيزيائية التي تم تصميمها واختبارها في المخبر و التي تترجم بعزم الكبح الأولي للكابح المخبري ذو القيمة (355 N.m) إن الكوابح الحقلية تتميز أيضاً بقيمة أولية لعزم كبحها (M_{Bo}) ، نقترح إضافة حد للموديل الرياضي لا يغير من ماهية الموديل و لكن نفترض أن هذا الحد سوف يؤمن إمكانية المحاكاة و التعبير عن الكابح الحقلي كما في العلاقة التالية:

$$M_B = 58.5P + 284.6\rho + 1.29\mu + 10.62 + (M_{Bo} - M_{Bm}) \quad (19)$$

حيث أن:

M_B : عزم كبج الكابح الحقلي بعد تطبيق الشروط (الضغط و الكثافة و اللزوجة).

M_{Bo} : عزم الكبج الأولي للكابح الحقلي.

M_{Bm} : عزم الكبج الأولي للكابح المخبري و الذي يبلغ (355 N.m).

إن هذه الفرضية تعتبر جريئة و لكن لها مبرراتها و التي تكمن في أن أبعاد الكابح المخبري لم تؤخذ بشكل عشوائي و إنما تم اختيارها بدقة لتتناسب مع الأبعاد الحقيقية لأصغر الكوابح المصنعة من قبل شركة (Parmac L.L.C) و هو النموذج ذي الرقم (112-500).

الاستنتاجات والتوصيات :

1- تم إيجاد موديل رياضي باستخدام طريقة التحليل العكسي يربط بين عزم الكبج للكابح الهيدروديناميكي و بين البارامترات التشغيلية (الضغط ، اللزوجة و كثافة السائل داخل الكابح).

2- تمت المصادقة على الموديل من خلال تجارب عشوائية عند قيم مختلفة للبارامترات و لم تتجاوز نسبة الخطأ بين الموديل الرياضي و القيم التجريبية % 6 .

3- ترتبط اللزوجة و الكثافة ببعضهما البعض بحيث لا يمكن تغيير إحدهما دون التأثير على الأخرى و بالتالي تم تفسير نسبة الخطأ السابقة بهذا الارتباط بين الكثافة و اللزوجة.

4- تمت دراسة التأثير المتبادل بين اللزوجة و الكثافة فكانت النسبة تقريبا (6%).

5- اقترح إضافة تعديل على الموديل ليحاكي الكوابح الحقلية و يعبر عن نظامها التشغيلي.

6- إن إغناء هذا البحث ممكن عن طريق إجراء تجارب حقلية حقيقية بوجود حمولات واقعية و استخدام الموديل المقترح في الحقل.

المراجع

أ- المراجع العربية:

- 1- أ.د. حديد، محمود - ميكانيك آلات الحفر و الإنتاج (2) - القسم النظري - كلية الهندسة الكيميائية و البترولية ، منشورات جامعة البعث 2010 - 2011.
- 2- أ.د. حديد، محمود - م. الكحيل، عبد الستار - ميكانيك آلات الحفر و الإنتاج (2) - القسم العملي - كلية الهندسة الكيميائية و البترولية ، منشورات جامعة البعث 2010 - 2011.

ب- المراجع الأجنبية:

- 3- Parmac L.L.C company - Hydromatic Brake Catalog, HB-1-10 www.parmacbrake.com, USA, Texas 2010.
- 4-Tardieu, N., Constantinescu, A. (2000), On the determination of elastic coefficients from indentation experiments.Inverse Problems, 16(3): 577-588.
- 5- Tarantola, A. (2005), Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation, Society for Industrial and Applied Mathematics.Disponible au (<http://www.ipgp.jussieu.fr/~tarantola/>)
- 6-Shao J.F., Dahou A., Henry J.P. (1991), Application de la théorie des problèmes inverses à l'estimation des paramètres des modèles géologiques. Revue française de géotechnique,57:75-80.