

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 4

1445 هـ . 2024 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب
رئيس جامعة البعث
المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مدير مكتب مجلة جامعة البعث
د. إبراهيم عبد الرحمن

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرفي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
32-11	د. رشا محمد يوسف	تحضير جملة $MO - Cr_2O_3$ ودراسة بعض خصائصها البنيوية
64-33	خيرات محمد د. محمد باكير	أثر ضغوط ومعدلات استنزاف البخار من عنفة محطة AP1000 النووية على المردود الترموديناميكي
90-65	م. حمزة الحسين د. توفيق المسعود د. محمود الأسعد	دراسة خصائص القناة المصنعة بتقنية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي في سبيكة ألومنيوم (Al 443.0)
112-91	د. علاء ديوب	تحسين جودة الطاقة الكهربائية في شبكات التوزيع باستخدام مرمم الجهد الديناميكي المتصل مع نظام كهروضوئي
136-113	م. هادي موسى المحمد	" دراسة تأثير تعديل التصميم الداخلي للمكبس على أداء المخمد المغناطيسي الريولوجي "
158-137	م. هادي موسى المحمد	" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي الريولوجي - دراسة تجريبية "

تحضير جملة $MO - Cr_2O_3$ ودراسة بعض

خصائصها البنيوية.

د. رشا محمد يوسف

دكتورة- قائم بالأعمال في كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية- جامعة البعث

ملخص البحث

تم اصطناع الجملة $MO - Cr_2O_3$ حيث $M = Zn, Ni$ بطريقة الاصطناع الصلب وُحددت درجة حرارة الاصطناع المثلى عند الدرجة $1000^\circ C$ للمركب $NiCr_2O_4$ والدرجة $900^\circ C$ للمركب $ZnCr_2O_4$ بمراقبة الاصطناع من خلال مخططات انعراج الأشعة السينية. حسبت قرائن ميلر (hkl) للمركبات الناتجة وتبين أن المركب $NiCr_2O_4$ يتبلور وفق نمط التبلور المكعبي من نمط السباينل FCC وكانت أبعاد الخلية الأساسية $a = 8.2634 \text{ \AA}$ ، $Z = 8$ و حجم الخلية $v = 564.26 \text{ \AA}^3$ ومجموعة التناظر الفراغية S.G هي Fd3m. وُجد أيضاً أن المركب $ZnCr_2O_4$ يتبلور وفق نمط التبلور المكعبي من نمط السباينل FCC بأبعاد خلية أساسية $a = 8.2650 \text{ \AA}$ ، $Z = 8$ و حجم الخلية $v = 564.58 \text{ \AA}^3$ ومجموعة التناظر الفراغية S.G هي Fd3m. حسب حجم الحبيبات لكل من كروميت النيكل والزنك من علاقة ديبياي شرر وتبين أن للمركبين حجم حبيبات 31.92 nm و 32.78 nm على الترتيب.

كلمات مفتاحية: $MO - Cr_2O_3$ ، سباينل، طريقة الاصطناع الصلب، حجم الحبيبات.

Preparation The system $MO - Cr_2O_3$ and study some of its structural properties.

Abstract

$MO - Cr_2O_3$ system was synthesized by a solid-state method. The synthesized samples were characterized using X-ray powder diffraction technology (XRD). The temperature of synthesis was $1000^\circ C$ for $NiCr_2O_4$ and $900^\circ C$ for $ZnCr_2O_4$. Miller indexes (hkl) were calculated for the production, and it was shown that the compounds crystallized according to cubic lattice Fcc with following parameters $a=8.26\text{\AA}$, $Z = 8$, $V = 564.26 \text{\AA}^3$ and $a = 8.2650 \text{\AA}$, $Z = 8$, $v = 564.58 \text{\AA}^3$ for $NiCr_2O_4$ and $ZnCr_2O_4$ respectively. The space group of symmetry is $Fd3m$ for both. The grain sizes were calculated by Dedye Scherrer formula for the two compounds by and were 31.92nm and 32.78 nm respectively.

Key words: $MO - Cr_2O_3$, Spinel, Solid State Reaction Method, grain size.

1- مقدمة:

جذبت الأكاسيد المختلطة للكروم مع المعادن الانتقالية MCr_2O_4 والتي تتمتع ببنية السباينل [1] الكثير من الاهتمام لما لها من أهمية بالغة في العديد من المجالات التقنية ولما تتمتع به من صفات صناعية مرغوبة كارتفاع درجة انصهارها ومقاومتها الكبيرة للأحماض والقلويات ونشاطها الكبير وانخفاض تكلفة انتاجها [2] مما دفع الباحثين في السنوات الأخيرة الى تحسين وتطوير طرائق اصطناع هذه المواد ولعل أكثر الطرائق شيوعاً للحصول على هذه الأكاسيد هي طريقة الاصطناع الصلب [3] Solid-State Method والتي تعتمد على الخلط الميكانيكي للأكاسيد الصلبة وتلدينها بالإضافة إلى العديد من الطرائق الكيميائية الأخرى التي تسمح بالحصول على مواد نانومترية مع درجة نقاوة عالية وتجانس أكبر ومن هذه الطرائق طريقة الـ Sol-gel [2] وطريقة الاصطناع الحراري المائي Hydrothermal synthesis [4] وطريقة الترسيب المشترك Co-precipitation [5] والطريقة الانفجارية Combustion reaction [6].

في بحثنا هذا تم اعتماد طريقة الاصطناع الصلب لاصطناع جملة كروميت-معدن انتقالي، حيث يتمتع كروميت المعدن الانتقالي بصفات مغناطيسية مميزة ويستخدم كحفاز في العديد من التفاعلات كما يستخدم في صناعة الحساسات الغازية [6,7,8,9]

تعدّ طريقة الاصطناع الصلب "Solid State Reaction" من أهم طرائق الحصول على هذه المركبات لما تتمتع به من سهولة في العمل حيث لا تتطلب مهارات خاصة. وبما أن بعض المواد صعبة الانحلال في الماء فإن هذه الطريقة توفر حلاً لهذه المشكلة من ناحية تحضير المركبات المرغوبة بدون الحاجة إلى حلها في أي محلّ وهذا من ناحية أخرى يشكل جدوى اقتصادية عالية لطريقة الحالة الصلبة، حيث أن المادة الوحيدة

المستخدمة في أغلب تفاعلاتها هي الأسيتون الذي يستعمل للمساعدة على تمازج المركبات الصلبة أثناء عملية تحضير العينات وبكميات صغيرة نسبياً. تتميز هذه الطريقة بإعطائها مزيجاً عالي النقاوة لما تطلبه من أكاسيد ذات نقاوة عالية بدون وجود أي شوائب من مواد مختلفة للاصطناع عند الخلط بالمقارنة مع طرائق الاصطناع الأخرى. يتم أخذ نسب استيكيومترية من المواد الأولية بصورتها النقية لضمان اكتمال التفاعل والحصول على طور واحد للمادة الجديدة نقية بدون وجود أطوار أخرى لشوائب أو للمواد الأولية^{[10][11]}.

2- الهدف من البحث:

اصطناع كروميت النيكل وكروميت الزنك بطريقة الاصطناع الصلب انطلاقاً من أكاسيد النيكل والكروم والزنك، ودراسة الخصائص البنيوية للمركبات المحضرة بواسطة تقنية XRD وإيجاد درجة حرارة الاصطناع المثلى و الشروط المناسبة لاصطناعها.

3 - مواد وطرائق البحث :

1-3 الأجهزة والمواد المستخدمة :

1. أدوات زجاجية (هاون لطحن العينات - بوتقات خزفية تتحمل درجات حرارة حتى $1200^{\circ}C$).
2. ميزان تحليلي حساس بدقة $(0.0001)gr$.
3. مجفف للعينات من شركة memmert.
4. مكبس هيدروليكي لكبس العينات على شكل أقراص بضغط يصل إلى $20 ton.cm^{-2}$.
5. فرن لتلدين العينات من شركة (Carbolite) يصل مده ل $1100^{\circ}C$.
6. جهاز انعراج الأشعة السينية X-Ray Powder Diffractometer (PW 1840) ذو مصعد من الكوبالت Co بطول موجة $\lambda = 1.7889\text{Å}$ إنتاج شركة (PHILIPS).

7. دورق كثافة لحساب كثافة المادة الصلبة.

8. استخدمت مواد ذات نقاوة عالية ولأهداف تحليلية وهي:

• أكسيد الكروم الثلاثي Cr_2O_3

• أكسيد النيكل NiO

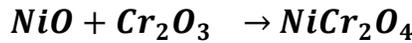
• أكسيد الزنك ZnO

3-2 تحضير العينات وطريقة الاصطناع:

في هذه الدراسة تم تحضير عينات كروميت النيكل وكروميت الزنك بطريقة الاصطناع الصلب Solid State Reaction على شكل مساحيق بخلط كميات مناسبة من أكاسيد كل من النيكل والزنك والكروم $Ni:Cr = 1:1$ و $Zn:Cr = 1:1$ وبوجود كمية من الهواء. تم طحن المواد السابقة وخلطها بواسطة هاون عقيق لضمان الحصول على خليط متجانس بعد إضافة كمية من الأسيتون بهدف تحسين عملية الخلط المتجانس لها و لمدة 15 دقيقة تقريباً حتى جفاف الأسيتون، أعيدت هذه العملية ثلاث مرات متتالية لكل عينة من العينات. بعد ذلك تم تجفيف الخليط الناتج بتسخينه إلى درجة الحرارة $100^\circ C$ لفترة زمنية كافية لضمان التخلص من الرطوبة.

وقد تم حساب أوزان المواد الأولية المستخدمة بالاصطناع وذلك انطلاقاً من الأوزان

المولية للمواد الأولية وفق المعادلات التالية:



والجدول (1) يبين أوزان المواد الأولية المستخدمة والمحسوبة وفق المعادلات السابقة.

حسبت الأوزان المطلوبة على أساس أن كمية المركب الناتج المطلوب تساوي 10gr.

الجدول (1): أوزان المواد الأولية المستخدمة والمحسوبة من النسب المولي لاصطناع كروميت الزنك والنيكل.

المادة الأولية	الكتلة الجزيئية (g/mol)	الكتلة المستخدمة (g)	النقاوة	الشركة المصدر
$Ni : Cr$			1:1	
NiO	74.71	3.2951	70 %	Chem-Lab
Cr_2O_3	151.99	6.7048	99.1%	Genral Purpose Reagent
$Zn : Cr$			1:1	
ZnO	81.37	3.487	99.0%	VWR International Ltd
Cr_2O_3	151.99	6.513	99.1%	Genral Purpose Reagent

بعد التجفيف قمنا بضغط العينات على شكل أقراص بأبعاد (قطر 5mm وسماكة 2mm) بهدف تقريب الجسيمات المتفاعلة من بعضها البعض وزيادة إمكانية التفاعل و التأثير المتبادل بين الجسيمات وذلك بواسطة مكبس ضغط هيدروليكي ومن ثم وضعت هذه الأقراص في بوتقات خزفية بمعدل ثلاث أقراص في كل بوتقة. وبعدها تم تليدين العينات عند درجات حرارة مختلفة مدة ست ساعات.

خلال ذلك تمت مراقبة الاصطناع من خلال سحب أطياف انعراج الأشعة السينية ومقارنة المخططات الناتجة مع مخططات انعراج الأشعة السينية للمواد الأولية، وذلك بهدف معرفة الدرجة المثلى للاصطناع وهي تلك الدرجة من الحرارة التي دلت على ظهور طور وحيد (مركب وحيد نقي) أي الحصول على المركب المطلوب. وقد كانت في بحثنا هذا $1000^{\circ}C$ لمركب كروميت النيكل و $900^{\circ}C$ لمركب كروميت الزنك ومدة التليدين ست ساعات والتي

عندها تم الحصول على مركب وحيد وغياب كافة قمم الانعراج الدالة على المواد الأولية
 NiO, ZnO, Cr_2O_3 .

وبعد التأكد من تشكّل الأكاسيد المختلطة بهذه الطريقة، قمنا بإجراء الحسابات البنوية
للمركب الناتج من خلال بيانات التحليل الطوري بواسطة الأشعة السينية (X-Ray
Phase analysis).

4- النتائج والمناقشة:

4-1 التحليل الطوري بالأشعة السينية:

✓ تم تحليل عينات كروميت النيكل وكروميت الزنك الملدنة عند درجات حرارة مختلفة
بواسطة جهاز انعراج الأشعة السينية والمخططات الناتجة تظهر قيم (2θ) للمركب
المحضر.

✓ ثم تم حساب المسافة بين المستويات البلورية (d) من خلال قيمة زوايا الانعراج
بواسطة علاقة براغ.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots(1)$$

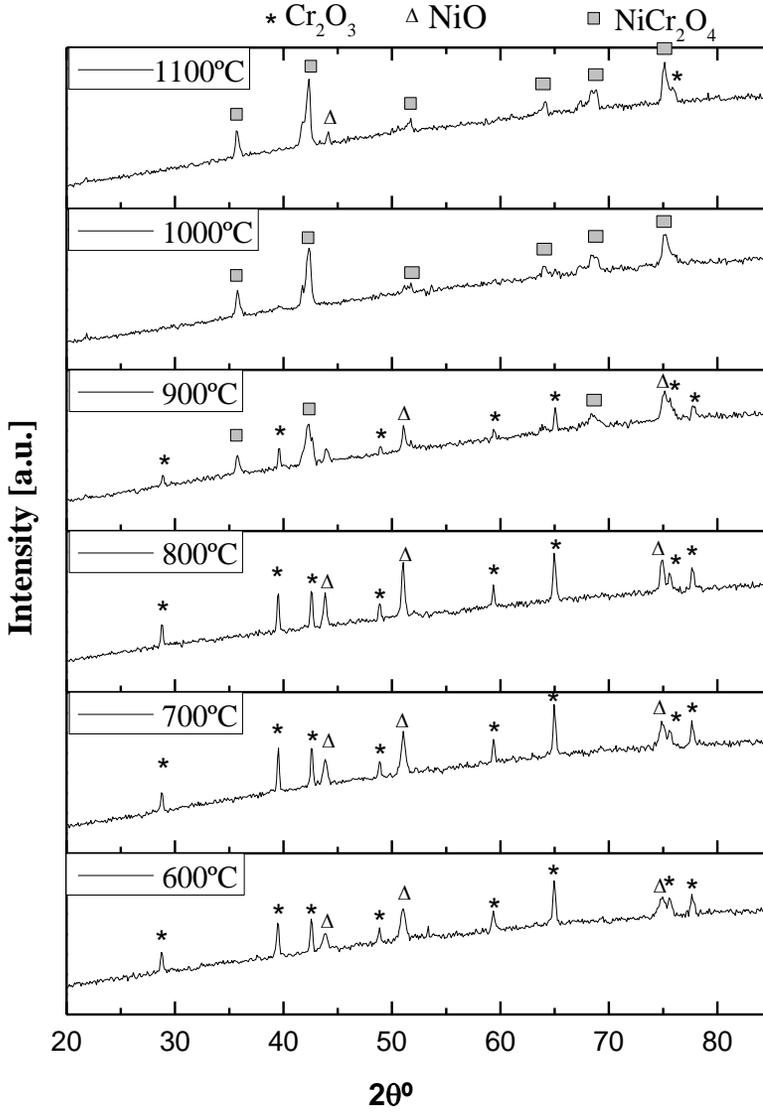
✓ ثم حساب قرائن ميلر باتباع طريقة التجارب والأخطاء وذلك ابتداء من فرضية أنماط
التبلور من الأعلى تناظرا الى الأدنى.

✓ ونورد فيما يلي مخططات انعراج الأشعة السينية التي تم الحصول عليها عند درجات
الحرارة المختلفة لكل من كروميت النيكل وكروميت الزنك والحسابات البنوية التي تم
إجراؤها بعد الحصول على درجة حرارة الاصطناع المثلى.

4-1-1 مركب كروميت النيكل $NiCr_2O_4$:

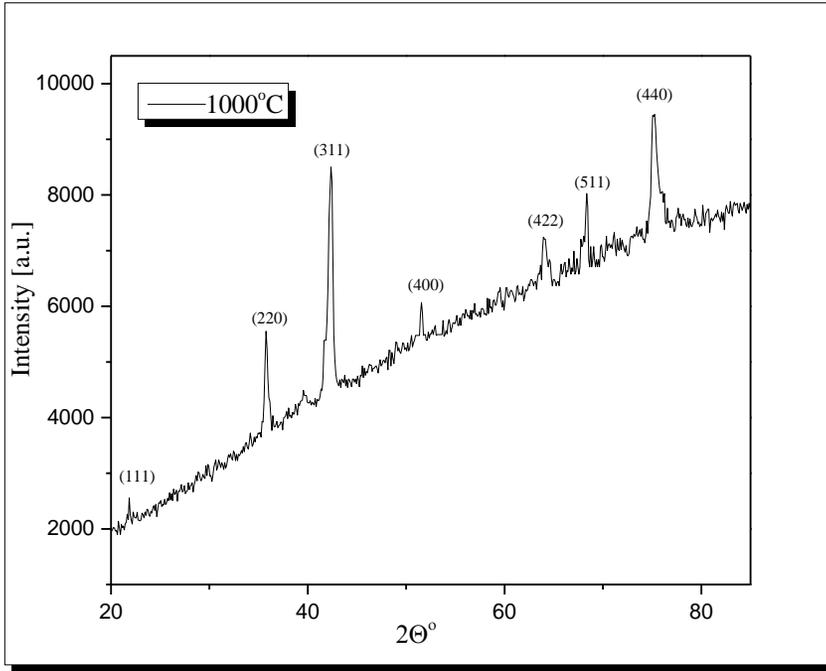
يوضح الشكل (1) مخططات انعراج الأشعة السينية لمركب كروميت النيكل $NiCr_2O_4$
المدن ضمن المجال الحراري $(600-1100)^\circ C$ حيث يظهر الشكل أن عملية التلدين
الابتدائية لن تؤدي إلى أي تفاعل بين المواد الأولية حيث أن القمم الناتجة تشير إلى

خليط من المواد الأولية ولا يوجد أي قمة تدل على المركب المطلوب وبالتالي لا يمكن اعتبار الدرجة $600^\circ C$ درجة حرارة ابتدائية لاصطناع مركب كروميت النيكل والخليط الناتج هو خليط من الأكاسيد الأولية غير المتحدة حرارياً فقط. لأجل ذلك قمنا برفع درجة حرارة التلدين تدريجياً مع مراقبة الاصطناع من خلال المخططات الناتجة ووجدنا أن الأكاسيد الأولية لن تتفاعل مع بعضها نهائياً ولن تتغير مواقع القمم أو شداتها حتى الدرجة $900^\circ C$. عند هذه الدرجة نلاحظ انخفاض واضح في شدات القمم التي تعود إلى المواد الأولية ولكن عدم اختفاءها بالإضافة إلى ظهور ثلاث قمم جديدة تشير إلى مركب كروميت النيكل عند الزوايا ($2\theta = 35.6, 42.2, 68.3$) الأمر الذي دعانا إلى رفع درجة حرارة التلدين إلى الدرجة $1000^\circ C$ للتأكد من أن الاصطناع تم بشكل مثالي عند هذه الدرجة أو يحتاج إلى درجة أعلى للحصول على نتائج أفضل. عند تلدين المركب الناتج عند الدرجة $1000^\circ C$ لاحظنا اختفاء القمم التي تعود إلى الأكاسيد الأولية بشكل كامل وأن كل القمم الموجودة تشير فقط إلى مركب كروميت النيكل وبالتالي يمكن القول أنه تم الحصول على طور نقي من المركب $NiCr_2O_4$ لا يحتوي على أي أطوار وسطية أو أي أطوار للمواد الأولية التي تم الانطلاق منها في عملية الاصطناع عند الدرجة $1000^\circ C$. عند رفع درجة حرارة التلدين إلى الدرجة $1100^\circ C$ لاحظنا ظهور بعد القمم التي تعود إلى المواد الأولية من جديد وبالتالي تبين لنا أن المركب $NiCr_2O_4$ يبدأ بالتفكك عند درجة الحرارة $1100^\circ C$ وأن الدرجة $1000^\circ C$ هي الدرجة المثلى لاصطناع المركب $NiCr_2O_4$ تتطابق النتيجة التي توصلنا إليها مع العمل العملي^[12].



الشكل (1) : مخططات انعراج الاشعة السينية لعينات كروميت النيكل الملدنة ضمن المجال الحراري (600-1100)C^o مدة ست ساعات.

لأجل دراسة بنية كروميت النيكل الملدن عند الدرجة $1000^\circ C$ تمّ تحديد قرائن ميلر للمركب بمقارنة الطيف في الشكل (2) مع البطاقة المرجعية رقم (1271 – 23) العائدة لكروميت النيكل في بنك المعلومات *JCPDS*. تبين البطاقة المرجعية أنّ كروميت النيكل يتبلور وفق البنية البلورية المكعبية وينتمي إلى المجموعة الفراغية $(Fd3m)$ وثابت الشبكة البلورية المرجعية له $a = b = c = 8.316 \text{ \AA}$.



الشكل (2) : مخطط انعراج الأشعة السينية لكروميت النيكل الملدن عند الدرجة $(1000^\circ C)$.

تم حساب ثوابت الشبكة البلورية لكروميت النيكل بالاستفادة من قانون براغ $n\lambda = 2d \sin \theta$ ، حيث $\lambda = 1.7889 \text{ \AA}$ طول موجة الأشعة السينية و θ زاوية الانعراج، وعلاقة البعد بين المستويات البلورية في حالة البنية المكعبية^[13]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \dots\dots\dots (2)$$

يبين الجدول (2) قيم زوايا الانعراج لكروميت النيكل والمسافة ما بين المستويات البلورية وقرائن ميلر.

الجدول (2): قيم زوايا الانعراج 2θ والمسافة ما بين المستويات البلورية وقرائن ميلر d_{hkl} لكروميت النيكل $NiCr_2O_4$ الملدن عند الدرجة $1000^\circ C$.

$2\theta^\circ$	$I/I_0\%$	$d_{exp}(A^\circ)$	hkl	$a(A^\circ)$
35.668	55	2.919	220	8.256
42.210	100	2.483	311	8.234
51.380	22	2.062	400	8.249
63.901	22	1.689	422	8.276
68.363	35	1.591	511	8.268
75.122	50	1.467	440	8.296
$= 8.2634 A^\circ$				

نلاحظ من الجدول السابق ومن مخطط الانعراج النهائي للاصطناع أن القيم العائدة لقرائن ميلر التالية: (220), (311), (400) هي الأشد كثافة.

و قد تبين أن المركب يتطابق مع نمط التناظر المكعبي وكانت جميع قيم قرائن ميلر لكافة القيم تتفق مع هذا النمط من التبلور الذي يتماشى مع العلاقة (2) ^[10]:

• تم حساب حجم الخلية الأساسية وفق نمط التبلور المكعبي من العلاقة الآتية:

$$V = a^3 = 564.26 (A^\circ)^3$$

• بالعودة الى قرائن ميلر المبينة في الجدول نجد أنها تحقق الشروط:

$$h + k = 2n \quad , \quad k + l = 2n \quad , \quad h + l = 2n$$

أي أن الخلية الأساسية متمركزة الوجوه وبالتالي فإن المركب يتبلور وفق النمط المكعبي متمركز الوجوه FFC.

- تم قياس الكثافة التجريبية للمادة الناتجة بطريقة دورق الكثافة (picknometer) وذلك لثلاثة مرات على التوالي وأخذ متوسط القيمة لها وبالاعتماد على كثافة المادة تم حساب Z (عدد الصيغ في الخلية البلورية الواحدة) وفق العلاقة (3):^[11]

$$\rho_E = 5.3311 \text{ gr/cm}^3$$

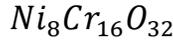
$$Z = \frac{N_a \cdot V \cdot \rho}{M} = 8.0443 \approx 8 \dots\dots\dots (3)$$

حيث M الوزن الجزيئي للمادة

N_a عدد أفوغادرو

V حجم الخلية الأساسية.

و بالتالي يمكننا أن نكتب الصيغة العامة لمحتوى الخلية الأساسية بالشكل التالي:



أي أن الخلية الواحدة تحتوي على ثماني ذرات نيكل وستة عشرة ذرات كروم و32 ذرة أوكسجين.

باستبدال قيمة Z كعدد صحيح في المعادلة السابقة ينتج لدينا قيمة الكثافة النظرية:

$$\rho_{cat} = 5.3006 \text{ gr/cm}^3$$

كانت القيمة المحسوبة قريبة جداً من القيمة التجريبية، مما يثبت دقة حساباتنا النظرية و دقة اختيارنا لوحدة الخلية الأساسية.

- تم حساب حجم الحبيبات من معادلة ديبياي شرر^{[14][15]}:

$$L = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots (4)$$

حيث

L: حجم الحبيبات الوسطي للمادة مقدراً بـ nm.

K: ثابت ويكون ضمن المجال 0.89-0.93 يؤخذ وسطياً 0.9.

λ : طول موجة جهاز الأشعة السينية المستخدم مقدرًا بـ nm.

θ : زاوية انعراج الأشعة السينية للقمة الأعلى شدة.

يوضح الجدول (3) كل من التعريض وحجم الحبيبات المحسوب لكل قمة من قمم المركب المحضر والتي تم حسابها باستخدام برنامج X'pert HighScore بالإضافة إلى حجم الحبيبات الوسطي النهائي.

حيث:

β_{Obs} : مقدار يعبر عن عرض القمة الأكثر شدة في الطيف عند منتصف هذه القمة .FWHM

β_{Std} : التعريض الناتج عن الجهاز.

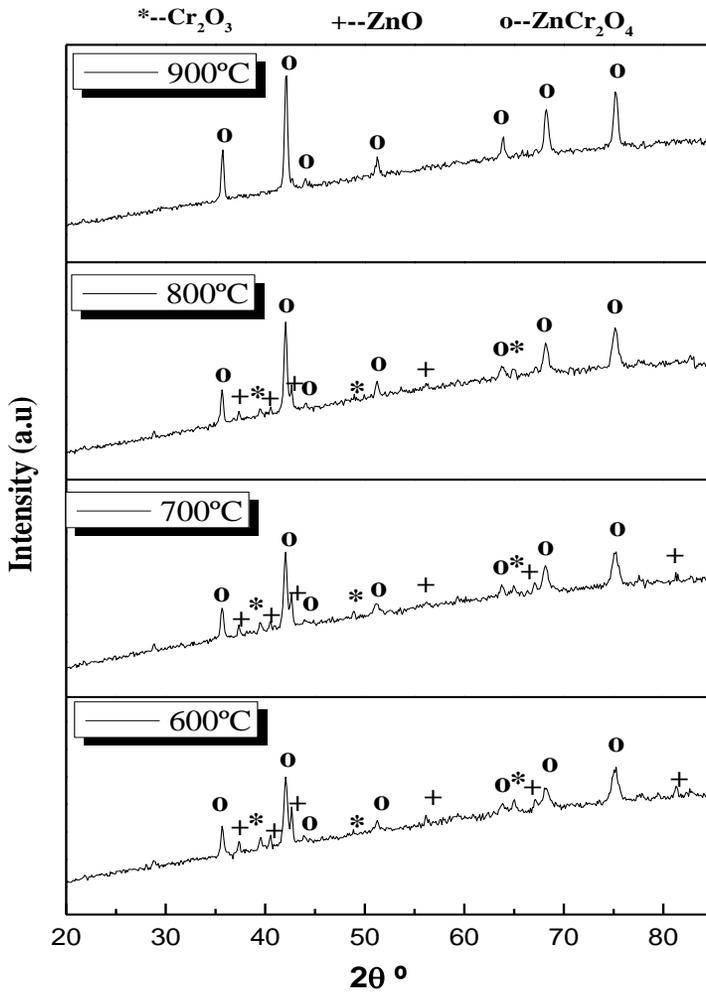
الجدول(3): حجم الحبيبات الوسطي لكروميت النيكل $NiCr_2O_4$ الملدن عند الدرجة $1000^\circ C$.

No.	Peak Pos. [°]	β_{Obs} [°]	β_{Std} [°]	Grain size L [Å]	Grain size L (avg.) [nm]
1	35.668	0.295		330	
2	42.21	0.394		252	
3	51.38	0.295		348	
4	63.9	0.295	0.001	370	31.92
5	68.363	0.296		378	
6	75.122	0.492		237	

2-1-4 مركب كروميت الزنك $ZnCr_2O_4$:

يوضح الشكل (3) مخططات انعراج الأشعة السينية لمركب كروميت النيكل $ZnCr_2O_4$ الملدن ضمن المجال الحراري $(600-900)^\circ C$ حيث يظهر أنّ التلدين عند درجات حرارة $600^\circ C$ إلى $800^\circ C$ أدى إلى تشكّل مركب كروميت الزنك ولكن مع وجود قمم أخرى

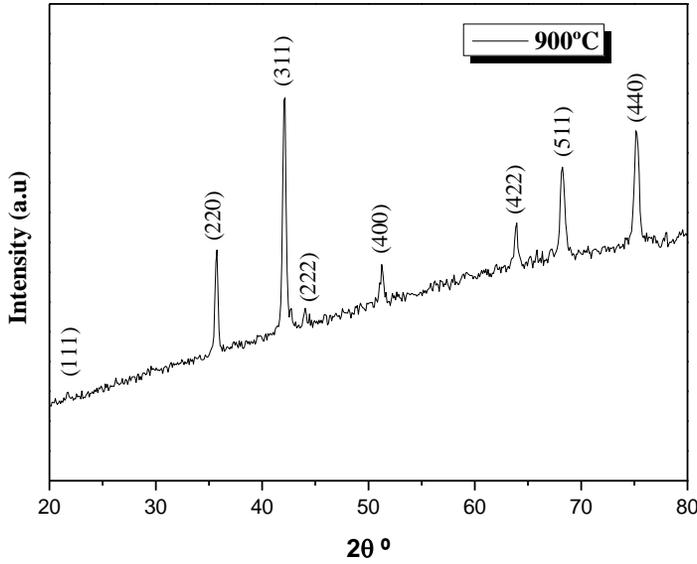
تعود إلى المواد الأولية ويدلّ ذلك على أن الاتحاد الحراري غير مكتمل، وعند رفع درجة حرارة التلدين إلى الدرجة 900 ° نلاحظ اختفاء جميع القمم التي تشير إلى المواد الأولية وبقاء القمم العائدة إلى مركّب كروميت الزنك، مما يدل على اكتمال تشكل المركّب واتحاد الأكاسيد الأولية حرارياً بشكل كامل، وبالتالي يمكن القول أن درجة حرارة تشكل كروميت الزنك هي 900 ° وهي أخفض من درجة حرارة تشكل كروميت النيكل.



الشكل (3) : مخططات انعراج الأشعة السينية لعينات كروميت الزنك المدنة ضمن المجال

الحراري (600-900)C° مدة ست ساعات.

لأجل دراسة بنية كروميت الزنك الملدن عند الدرجة 900°C تمّ تحديد قرائن ميلر للمركب بمقارنة الطيف في الشكل (4) مع البطاقة المرجعية رقم (24 – 495) العائدة إلى كروميت الزنك في بنك المعلومات *ICSD*. تبين البطاقة المرجعية أنّ كروميت الزنك يتبلور وفق البنية البلورية المكعبية وينتمي إلى المجموعة الفراغية ($Fd3m$) وثابت الشبكة البلورية المرجعية له $a = b = c = 8.297 \text{ \AA}$.



الشكل (4) : مخطط انعراج الأشعة السينية لكروميت الزنك الملدن عند الدرجة (900°C). تم حساب ثابت الشبكة البلورية لكروميت النيكل بالاستفادة من العلاقة (1) وعلاقة البعد بين المستويات البلورية في حالة البنية المكعبية (2). يبين الجدول (4) قيم زوايا الانعراج لكروميت الزنك والمسافة ما بين المستويات البلورية وقرائن ميلر لمركب كروميت الزنك الملدن عند الدرجة 900°C .

الجدول (4): قيم زوايا الانعراج 2θ والمسافة ما بين المستويات البلورية وقرائن ميلر d_{hkl} لكروميت الزنك $ZnCr_2O_4$ الملدن عند الدرجة $900^\circ C$.

$2\theta^\circ$	$I/I_0\%$	$d_{exp}(A^\circ)$	hkl	$a(A^\circ)$
21.704	6	4.7484	111	8.2245
35.675	45	2.9186	220	8.2549
42.066	100	2.4909	311	8.2614
44.031	7	2.3849	222	8.2615
51.246	16	2.0674	400	8.2692
63.8476	13	1.6906	422	8.2824
68.2505	35	1.5936	511	8.2804
75.2356	40	1.4646	440	8.2852
$= 8.2650 A^\circ$				

يبين الجدول (4) أن المركب يتطابق مع نمط التناظر المكعب كما تتفق جميع قيم قرائن ميلر لكافة القمم مع هذا النمط من التبلور الذي يتماشى مع العلاقة (2):

- تم حساب حجم الخلية الأساسية وفق نمط التبلور المكعب من العلاقة الآتية:

$$V = a^3 = 564.58(A^\circ)^3$$

- بالعودة الى قرائن ميلر المبينة في الجدول نجد أنها تحقق الشروط:

$$h + k = 2n \quad , \quad k + l = 2n \quad , \quad h + l = 2n$$

أي أن الخلية الأساسية متمركزة الوجوه وبالتالي فإن المركب يتبلور وفق النمط المكعب متمركز الوجوه FFC.

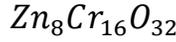
• تم قياس الكثافة التجريبية لكروميت الزنك بنفس الطريقة التي حسبت فيها كثافة

كروميت النيكل ثم حسبت Z عدد الصيغ وكانت النتائج:

$$\rho_E = 5.45 \text{ gr/cm}^3$$

$$Z = \frac{N_a \cdot V \cdot \rho}{M} = 7.94 \approx 8$$

و بالتالي يمكننا أن نكتب الصيغة العامة لمحتوى الخلية الأساسية بالشكل الآتي:



أي أن الخلية الواحدة تحتوي على ثماني ذرات زنك وستة عشرة ذرات كروم و32 ذرة
أوكسجين. باستبدال قيمة Z كعدد صحيح في المعادلة السابقة ينتج لدينا قيمة الكثافة

$$\rho_{cal} = 5.49 \text{ gr/cm}^3 \quad \text{النظرية:}$$

تم حساب حجم الحبيبات من المعادلة (4)، يوضّح الجدول (5) كل من التعريض وحجم
الحبيبات المحسوب لكل قمة من قمم المركب المحضر والتي تم حسابها باستخدام برنامج
X'pert HighScore بالإضافة إلى حجم الحبيبات الوسطي النهائي.

الجدول (5): حجم الحبيبات الوسطي لكروميت الزنك ZnCr_2O_4 المملدن عند الدرجة
 900°C

No.	Peak Pos. [°]	β_{Obs} [°]	β_{Std} [°]	Grain size L [Å]	Grain size L (avg.) [nm]
1	21.704	0.295		319	
2	35.675	0.295		330	
3	42.066	0.295	0.001	336	32.78
4	44.031	0.295		338	
5	51.246	0.295		348	
6	63.848	0.295		370	
7	68.251	0.394		284	
8	75.236	0.394		297	

تم ترتيب النتائج التي حصلنا عليها من الحسابات السابقة لكل من مركبي كروميت النيكل وكروميت الزنك في الجدول (6).

الجدول (6): الحسابات البنيوية والكثافة التجريبية والنظرية لمركبي $ZnCr_2O_4$ و $NiCr_2O_4$ المحضرين عند الدرجتين $1000^\circ C$ و $900^\circ C$.

Compound	a (Å)	V (Å) ³	$\rho_{Exp}(gr. cm^{-3})$	Z	$\rho_{cal}(gr. cm^{-3})$	L (nm)
$NiCr_2O_4$	8.2634	564.26	5.331	8	5.30	31.92
$ZnCr_2O_4$	8.2650	564.58	5.45	8	5.49	32.78

مما سبق نستنتج أن المجال الحراري لتحضير السبايل القائم على الكروم يتراوح بين الـ \square (800-1000) باستخدام طريقة تحضير بسيطة وغير مكلفة اقتصادياً وهي طريقة الاصطناع الصلب. بالإضافة إلى أن حجم الحبيبات الناتج عن طريقة التحضير هذه صغير من رتبة النانو مما يجعل مثل هذه المركبات قابلة للاستخدام في المجال التطبيقي كتطبيقات الحساسة الغازية أو الالكترودات أو غير ذلك.

يبين الجدول (7) مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع بعض الأعمال العلمية الأخرى.

الجدول (7): مقارنة نتائج البحث مع بعض المراجع العلمية.

$ZnCr_2O_4$		$NiCr_2O_4$		
V(Å ³)	a(Å)	V(Å ³)	a(Å)	
564.58	8.265	564.26	8.26	Our Work
567.66	8.280	575.96	8.32	[17] [16]
576.96	8.325	566.66	8.27	[19][18]

الخلاصة:

مما سبق يمكن أن نخلص الى النتائج الآتية:

1- تم اصطناع مركبي $ZnCr_2O_4$ و $NiCr_2O_4$ بطريقة الاصطناع الصلب وحددت درجة

الاصطناع عند الدرجة $1000^{\circ}C$ لكروميت النيكل و $900^{\circ}C$ لكروميت الزنك.

2- كانت درجة حرارة تشكل كروميت الزنك أقل من درجة حرارة كروميت النيكل.

3- حسبت قرائن ميلر للمركب الناتج وتبين أن المركبين يتبلوران وفق النمط المكعبي متمركز الوجوه FCC ومجموعة تناظر فراغية S.G هي $Fd3m$ وبأبعاد متقاربة للخلية الأساسية 8.2650Å , 8.2634Å على الترتيب.

4- تم حساب عدد الصيغ في وحدة الخلية الأساسية لكلا المركبين وكانت $Z = 8$.

References:

- [1] Fairouz NY, Imran AR. Wet commixing synthesis, physical properties and photocatalytical activity of nickel oxide chromite spinel. *J Appl Chem*. 2013;2:129-36.
- [2] Habibi MH, Fakhri F. Fabrication and Characterization of $CuCr_2O_4$ Nanocomposite by XRD, FESEM, FTIR, and DRS. Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal- Organic, and Nano-Metal Chemistry. 2016 Jun 2;46(6):847-51.
- [3] Ishibashi H, Yasumi T. Structural transition of spinel compound $NiCr_2O_4$ at ferrimagnetic transition temperature. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2007 Mar 31;310(2):e610-2..
- [4] Durrani SK, Hussain SZ, Saeed K, Khan Y, Arif M, Ahmed N. Hydrothermal synthesis and characterization of nanosized transition metal chromite spinels. *Turkish Journal of Chemistry*. 2012 Jan 30;36(1):111-20.
- [5] Safaei-Ghomi J, Akbarzadeh Z, Khojastehbakht-Koopaei B. C–N cross-coupling reaction catalysed by reusable $CuCr_2O_4$ nanoparticles under ligand-free conditions: a highly efficient synthesis of triaryl amines. *RSC Advances*. 2015;5(37):28879-84.
- [6] Bakar SA, Ahad N, Saion EB. Thermal Treatment Synthesis and Characterization of Nanosized Nickel Chromite Spinel. *Solid State Science and Technology*, Vol. 21, No 1 & 2 (2013) 47-54
- [7] Barros BS, de Melo Costa AC, Kiminami RH, da Gama L. Preparation and characterization of spinel MCr_2O_4 (M= Zn, Co, Cu and Ni) by combustion reaction. In *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials* 2004 (Vol. 20, pp. 325-332). Trans Tech Publications.
- [8] Tomiyasu K, Kagomiya I. Magnetic structure of $NiCr_2O_4$ studied by neutron scattering and magnetization measurements.

Journal of the Physical Society of Japan. 2004 Sep 15;73(9):2539-42.

[9] Ptak M, Maczka M, Gaęor A, Pikul A, Macalik L, Hanuza J. Temperature-dependent XRD, IR, magnetic, SEM and TEM studies of Jahn–Teller distorted NiCr₂O₄ powders. Journal of Solid State Chemistry. 2013 May 1;201:270-9.

[10] Smart LE, Moore EA. Solid state chemistry: an introduction. CRC press; 2012 May 29.

[11] West AR. Solid state chemistry and its applications. John Wiley & Sons; 2014 Mar 17.

[12] Gao H, Guo J, Li Y, Xie C, Li X, Liu L, Chen Y, Sun P, Liu F, Yan X, Liu F. Highly selective and sensitive xylene gas sensor fabricated from NiO/NiCr₂O₄ pp nanoparticles. Sensors and Actuators B: Chemical. 2019 Apr 1;284:305-15.

[13] Noshahi NA, Nadeem K, Kamran M. Role of Mn doping on magnetic properties of multiferroic NiCr₂O₄ nanoparticles. Ceramics International. 2021 Apr 15;47(8):10643-9.

[14] Bakar SA, Soltani N, Yunus WM, Saion E, Bahrami A. Structural and paramagnetic behavior of spinel NiCr₂O₄ nanoparticles synthesized by thermal treatment method: Effect of calcination temperature. Solid state communications. 2014 Aug 1;192:15-9.

[15] Enhessari M, Salehabadi A, Khanahmadzadeh S, Arkat K, Nouri J. Modified sol-gel processing of NiCr₂O₄ nanoparticles; structural analysis and optical band gap. High Temperature Materials and Processes. 2017 Feb 1;36(2):121-5.

[16] Joshi P, Saxena P, Choudhary P, Varshney MD, Mishra A. Structural and vibrational response in Al modified NiCr₂O₄. In AIP

Conference Proceedings 2019 Apr 24 (Vol. 2100, No. 1). AIP Publishing.

[17] Yazdanbakhsh M, Khosravi I, Goharshadi EK, Youssefi A. Fabrication of nanospinel $ZnCr_2O_4$ using sol-gel method and its application on removal of azo dye from aqueous solution. Journal of hazardous materials. 2010 Dec 15;184(1-3):684-9.

[18] Kumar KV, Bhavani SD. Influence of calcination temperature on physical and optical properties of nickel chromite nanoparticles. Science of Sintering. 2022;54(4):457-68.

[19] Ghosh D, Dutta U, Haque A, Mordvinova NE, Lebedev OI, Pal K, Gayen A, Seikh MM, Mahata P. Ultra-high sensitivity of luminescent $ZnCr_2O_4$ nanoparticles toward nitroaromatic explosives sensing. Dalton Transactions. 2018;47(14):5011-8.

أثر ضغوط ومعدلات استنزاف البخار من عنفة محطة

AP1000 النووية على المردود الترموديناميكي

طالب الدكتوراه: خيرات محمد

قسم القوى الميكانيكية - كلية الهندسة - جامعة البعث

إشراف الدكتور: محمد باكير

ملخص البحث:

تنتشر محطات الطاقة النووية في العديد من دول العالم، ومن هذه المحطات هي المحطات النووية العاملة على مفاعلات الماء المضغوط من الجيل الثالث والتي تتميز بعوامل أمان أكبر وباستطاعة [1000]MW، لقد تم اعتماد محطة مقترحة باستطاعة [1000]MW تعمل على مفاعل الماء المضغوط [3490]MW، تم إجراء دراسة تحليلية ترموديناميكية للمحطة، وذلك بكتابة معادلات انحفاظ الكتلة والطاقة لكل مكون من مكونات المحطة، وكتابة معادلات العمل للعنفات وللمضخات ومعادلة المردود الترموديناميكي، وبواسطة برنامج EES المتخصص في الحسابات الترموديناميكية تم تحديد مجالات ضغوط استنزاف البخار من العنفات بناء على درجات حرارة خرج المسخنات، ودراسة تأثير كل مجال على معدلات تدفقات استنزاف البخار من العنفات وعلى المردود الترموديناميكي للمحطة. ومن خلال الدراسة كانت مجالات ضغوط الاستنزاف من العنفات على الشكل التالي: $P_9 = 1560 \dots 2459$ [kPa] و $P_8 = 1560 \dots 2459$ [kPa] و $P_{10} = 617.6 \dots 683.8$ [kPa] و $P_{16} = 134 \dots 1057 \dots 1500$ [kPa] و $P_{17} = 46 \dots 70.3$ [kPa] و $P_{18} = 20 \dots 26.2 \dots 169.7$ [kPa]، وبعد دراسة تأثير كل مجال وجدنا أن أعلى مردود هو 0.3918 عندما $P_9 = 1057$ مع تثبيت بقية الضغوط التي كانت تعمل عليها المحطة. كما ازداد معدل التدفق m_9 بحدود 0.49 [kg/s].

الكلمات المفتاحية: المحطة ، المردود الحراري ، الاستنزاف ، إشباع ، بخار ، مفاعل

الماء المضغوط .

Effect of Pressures and rates of steam exhaustion from the station turbine AP1000 on the thermodynamic yield

Abstract

Nuclear plants available across many countries of the world, one of them is PWR (pressure water Reactor) form third generation which have more safety factors and produce high energy 1000MW, A Nuclear power plant with pressure water reactor power 3490 MW produced around 1000MW energy has proposed in this paper, Thermodynamic analysis had done with mass and energy conservation equations for all parts of power plant, the efficiency and work done by pump, turbine had calculate using ESS software, from turbine depend on temperate at the outlet of heaters, Moreover, the effect of each pressure rang on steam bleeding flow and thermodynamic efficiency of power plant has studied .The result got for pressure bleeding rang from turbines during study was : $P_8=1565..2459$ [kPa]& $P_9=1057..1500$ & $P_{10}=617.6..683.8$ [kPa] & $P_{16}=134..169.7$ [kPa] & $P_{17}=46..70.3$ & $P_{18}=20..26.2$ [kPa], At the end of study for each rang the highest efficiency has found 0.3918 at $P_9=1057$ [kPa], Considering other pressures of power plant was fixed.

Key words:

Plant, Efficiency thermal, the extraction ,saturation ,steam ,pressurized water reactor

مقدمة:

تعتبر الطاقة النووية من الطاقات النظيفة نسبياً والمتجددة وتعتبر مفاعلات PWR من أكثر المفاعلات انتشاراً بسبب عوامل الأمان الشديدة فيها، وبسبب تمتعها بمردود تشغيل مرتفع نسبياً.

درس الباحث . Lior [9] في محطة الطاقة النموذجية الخاصة به (محطات الطاقة النووية لمفاعل PWR water المبرد)، استخدم وحدة التسخين الفائق للوقود الأحفوري مع الطاقة النووية الأصلية في محطة توليد الطاقة الحرارية. في مصنعه الهجين، حيث زادت كفاءة الطاقة والفعالية بنسبة 16 % و 6 % ، على التوالي.

قام الباحثان [10] Dunbar,Wr &Moody,Sd ، بدراسة محطة BWR بادخال سخان فائق خارجي بوقود بترولي، حيث تم التحسين في كفاءة المحطة المقترحة لديهم حتى 33%، ولكن هذا النوع من المحطات لايعمل لفترة طويلة من الزمن، كما أجروا مقارنة بين المحطات النووية والمحطات النووية الهجينة التي تعمل على الطاقة النووية والوقود الأحفوري (المحطات الهجينة).

تتميز محطات الطاقة النووية PWR بكفاءة حرارية منخفضة (حوالي 33% -34%) [1]، مقارنة بوحدات الطاقة البخارية التي تستخدم الوقود الأحفوري (حوالي 40 - 45%). حتى بالنسبة لأحدث تكنولوجيا مستخدمة في محطات الطاقة PWR من الجيل الثالث ، فإن الكفاءة لا تتجاوز 40%. [8]

ويرجع ذلك أساساً إلى الضغط المنخفض نسبياً ودرجة حرارة البخار المشبع الذي يتم توفيره للعنفات البخارية...[5]

تعطى البيانات الفنية لمحطات الطاقة المقترحة في الجدول رقم(1). تتكون محطة الطاقة الأصلية لمفاعل الماء المضغوط (PWR) بقدرة 1000 ميغاوات التي تحتوي على

مفاعل نووي حراري بسعة 3490 ميغاوات من دورتين رئيسيتين...[1]. الدورة الأولى هي دورة المبرد (دورة تبريد المفاعل) أو الدورة الأولية والدورة الثانية هي دورة بخار الماء (الجسم العامل) والتي تسمى بالدورة الثانوية.....[1]

مميزات المحطة AP1000:

- بساطة التصميم.
- ذات مردود تشغيل مرتفع نسبيا.
- هوامش أمان وتشغيل مرتفعة.
- الجدول الزمني لبنائها وتشغيلها قصير.
- قلة المشاكل التقنية.....[5]
- مرخصة وذات كلفة تشغيلية منخفضة.

الجدول رقم (1):التفاصيل الفنية لمحطة الطاقة النووية المقترحة[1]

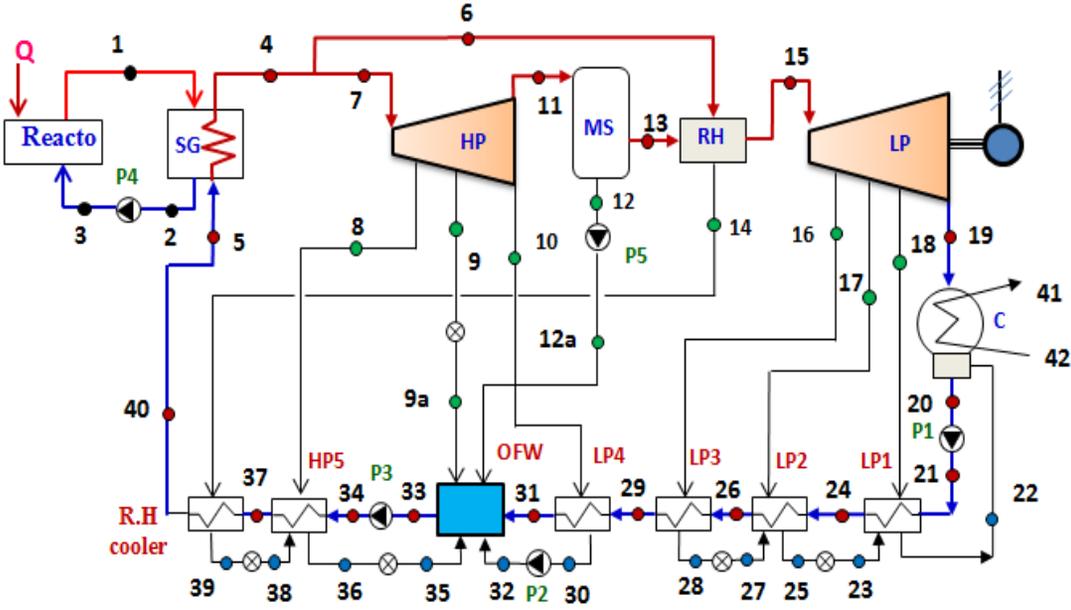
Reactor:	المفاعل
3490 MW	الطاقة الحرارية للمفاعل Total input thermal power
H ₂ O	مائع التبريد Coolant
302.7 °C	درجة حرارة Coolant inlet temperature to the reactor المبرد عند مدخل المفاعل
326.1 °C	Coolant outlet temperature from the reactor درجة حرارة المبرد عند المخرج
18800 (kg/s)	معدل تدفق مائع التبريد Coolant flow rate
158 bar (15.8 MPa)	ضغط التشغيل في المفاعل Average reactor pressure
Steam generator:	مولد البخار
233 °C	درجة حرارة مياه التغذية في مدخل مولد البخار Water inlet temperature
284.5°C	درجة حرارة مياه التغذية عند مخرج مولد البخار Water outlet temperature
68.65 bar(≈6.87 MPa)	ضغط بخار الماء المشيع في مولد البخار Steam outlet pressure

1503 (kg/s)	Steam outlet flow rate معدل تدفق بخار الماء المشبع المتولد في مولد البخار
Steam turbines:	العنفات البخارية
1	Number of H.P turbine عدد عنفات الضغط العالي
2	Number of L.P turbine عدد عنفات الضغط المنخفض
80%	Isentropic efficiency المردود الإيزونتروبي
Generator:	المولد
1000 MW	Nominal power الاستطاعة الاسمية للمولدة
Coolant pumps:	مضخات حلقات تبريد المفاعل
4	Number of pump عدد المضخات
3.42×4 MW	Power الاستطاعة
85%	Isentropic efficiency المردود الإيزونتروبي
Condenser:	المكثف
39224 (kg/s)	Water inlet flow rate معدل تدفق مياه تبريد المكثف
(7.5 kPa)	Condenser pressure ضغط المكثف
15 °C	Water inlet temperature درجة حرارة مياه تبريد المكثف عند مدخل المكثف
25 °C	Water outlet temperature درجة حرارة مياه تبريد المكثف عند مخرج المكثف
Condensate pump:	مضخة المكثف
1.066 MW	Power الاستطاعة
85%	Isentropic efficiency المردود الإيزونتروبي
L.P feed water heater pump:	مضخة مسخن مياه التغذية منخفض الضغط
0.04 MW	Power الاستطاعة
85%	Isentropic efficiency المردود الإيزونتروبي

وصف دورة الجسم العامل في محطة الطاقة النووية المرجعية:

تم اختيار وحدة طاقة نووية نموذجية PWR مع خرج طاقة $\dot{W}_e = 1000$ [MW]. يوضح الشكل رقم (1) الرسم التخطيطي لدورة البخار لوحدة الطاقة. إنها دورة رانكين تقليدية للتجديد (إعادة استرجاع الحرارة). يشار إلى الحالات الترموديناميكية للعقد المختلفة في الدورة بدوائر بأرقام، في حين يتم تحديد المكونات الحرارية باستخدام التسميات المقابلة... [1]

تشمل المكونات الرئيسية لدورة الجسم العامل في محطة الطاقة النووية، من مفاعل الماء المضغوط (PWR) ، ومن عنفة الضغط العالي H.P. Turbine وعنفتين بخاريتين منخفضة الضغط L.P. Turbine ، ومن مولد (GEN) متصل بالعنفات بواسطة عمود مشترك ، ومن مكثف (CON) ، وجهاز فصل الرطوبة (MSR) ، وجهاز نزع الغازات المنحلة (DEA) ، ومن أربعة سخانات مياه تغذية منخفضة الضغط (LP₁&LP₂&LP₃&LP₄) واثنين من سخانات المياه عالية الضغط (R.H. &HP₅) (Cooler). ومن مولد البخار (SG).....[1]



الشكل (1) المخطط الرمزي للمحطة النووية المقترحة

تنتقل الحرارة المتولدة من تفاعل الانشطار للوقود النووي في قلب المفاعل PWR إلى المبرد (الماء الخفيف) ومن ثم إلى مولدات البخار SG، يتم إعادة تدوير المبرد من خلال مولد البخار ويتبخر الجسم العامل مولدا بخار الماء المشبع للدورة الثانوية. يكون البخار

الناتج عن SG في حالة مشبعة [68.65[bar] ودرجة حرارة 284.5°C ، وبلغ معدل تدفق الكتلة [1].1503[kg/s]

يتم توجيه جزء من بخار الماء إلى عنفة الضغط العالي (H.P. Turbine) ويستخدم الباقي لإعادة تسخين التيارات المستخرجة من فاصل الرطوبة MS. حيث تتم إزالة الرطوبة وإعادة تسخين البخار المتبقي إلى درجة حرارة 240°C ، لمزيد من التمدد في عنفات الضغط المنخفض L.P.Turbine..... [4] [1]

يدخل البخار المحمص القادم من جهاز التسخين RH إلى عنفة الضغط المنخفض (L.P.Turbine). ثم يتمدد فيها إلى ضغط المكثف ليتابع دورته المعروفة. [5] [1]

مشكلة البحث:

أهمية قطاع الطاقة في الوقت الحاضر، والسعي إلى الاستهلاك المنطقي والترشيد في استهلاكها، حيث يسعى الخبراء والمهندسون إلى تحسين كفاءة المحطات الحرارية التقليدية منها والنووية.

هدف البحث

إجراء تحليل ترموديناميكي للمحطة المقترحة ومن ثم تحديد ضغوط الاستنزافات بناء على درجات حرارة خرج المسخنات ومن ثم دراسة تأثير كل ضغط استنزاف على معدلات تدفق الاستنزافات وعلى المردود الترموديناميكي للمحطة.

مببرات البحث:

أن المحطات النووية من سلبياتها المردود الحراري المنخفض نسبيا لها وذلك بسبب درجة حرارة الدخول المنخفضة للماء المشبع عند مدخل العنفة بسبب عدم اعتماد تحميص البخار في هذه المحطة.

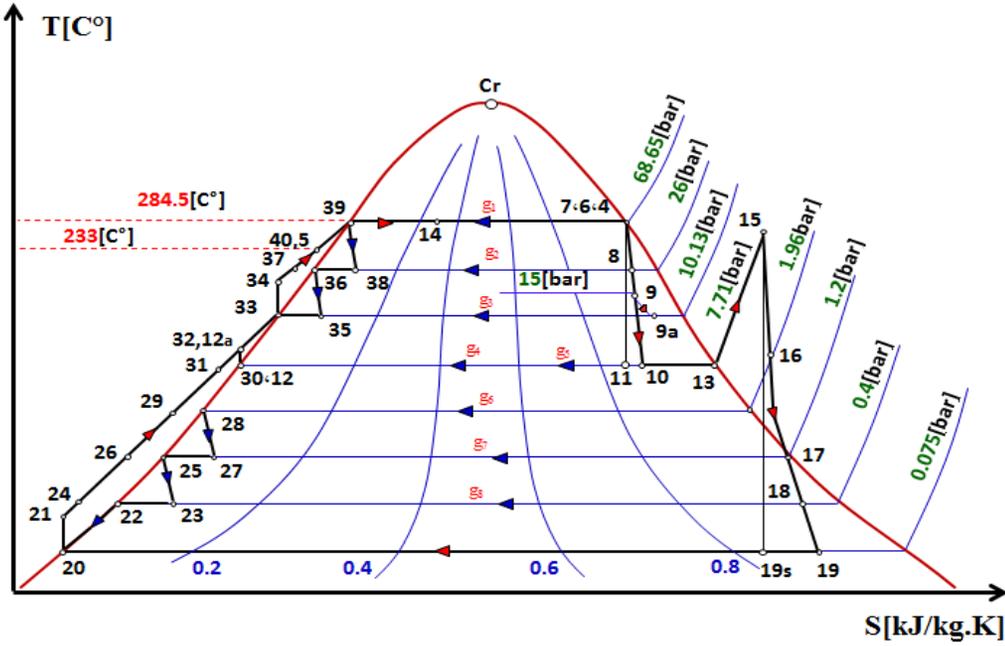
ندرة الدراسات المرجعية الموجودة في هذا المجال وإن وجدت فهي لا تحوي إلا على النتائج بدون معرفة أي خوارزميات أو مدخلات كما أن هناك صعوبات في تأمينها والدخول لها.

أهمية البحث:

الحاجة الماسة المستقبلية للطاقة النووية كونها:

1. تأسيس قاعدة بحثية جديدة لدراسة محطات الطاقة النووية في الجامعات السورية لتكون بداية لأبحاث أخرى في هذا المجال في بلادنا والتي لا بد أن تتجه يوما من الأيام للعمل بهذه التكنولوجيا المتقدمة والدقيقة.
2. أحد مصادر الطاقة الكهربائية الرخيصة والطلب المتزايد عليها في بلادنا .
3. كما يمكن اعتبارها أحد المصادر المتجددة للطاقة إذا درست بعناية ونفذت بتصميم دقيق.

يبين الشكل (2) الدارة الترموديناميكية للمحطة ومكوناته على المخطط الحراري (T-S).



الشكل (2) الدارة الترموديناميكية للمحطة ومكوناته على المخطط الحراري (T-S).

نفترض ان ضياعات الضغط مهمة في الانابيب والاجهزة الطاقية في المحطة، وكذلك
نفترض ان الحالة مستقرة

تعطى معادلة انحفاظ الكتلة، [2],[4],[5]:

$$\sum m_{in} = \sum m_{out} \quad (1)$$

تعطى معادلة انحفاظ الطاقة، [2],[4],[5]:

$$E_{in} = E_{out} \quad (2)$$

تعطى معادلة المردود الحراري بالعلاقة، [1],[5]:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{add}} \quad (3)$$

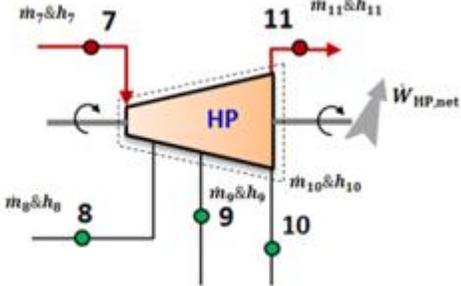
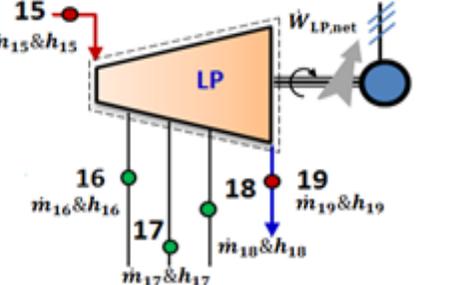
حيث: $\dot{Q}_{add} = 2652 [MW]$ وهي مقدار ثابت ، لان استطاعة المفاعل ثابتة، [1] وهي تحسب من المعادلة:

$$\dot{Q}_{add} = [m_1(h_1 - h_2) = m_4(h_4 - h_5)] \times 0.001 \quad (4)$$

اما العمل الصافي للمحطة فيعطى بالعلاقة: [2][5]

$$W_{net} = [(W_{HP} + W_{LP}) - (W_{P1} + W_{P2} + W_{P3} + W_{P5})] \times 0.001 \quad (5)$$

يعطى عمل العنفات والمضخات بالمعادلات التالية: وفق الجدول (2).

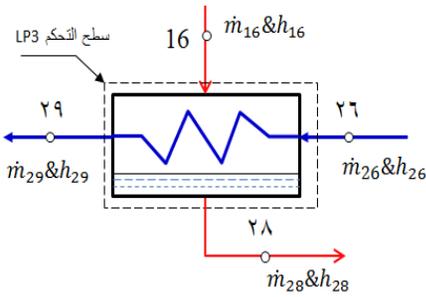
	$W_{HP} = [m_7(h_7 - h_8) + (m_7 - m_8)(h_8 - h_9) + (m_7 - m_8 - m_9)(h_9 - h_{10})] \times 0.001$
	$W_{LP} = [m_{15}(h_{15} - h_{16}) + (m_{15} - m_{16})(h_{16} - h_{17}) + (m_{15} - m_{16} - m_{17})(h_{17} - h_{18}) + (m_{15} - m_{16} - m_{17} - m_{18})(h_{18} - h_{19})] \times 0.001$
<p>المضخة P₁</p>	$W_{p1} = [m_{20}(h_{21} - h_{20})] \times 0.001$
<p>المضخة P₂</p>	$W_{p2} = [m_{30}(h_{32} - h_{30})] \times 0.001$
<p>المضخة P₅</p>	$W_{p2} = W_{p5}$
<p>المضخة P₃</p>	$W_{p3} = [m_{33}(h_{34} - h_{33})] \times 0.001$

معادلات التوازن الكتلي لكافة اجزاء المحطة: وفق الجدول (3) .

$m_4=m_{40}=1503[\text{kg/s}] =m_5$
$m_7=m_4 -m_6$
$m_{11}=m_7 - m_8 - m_9 - m_{10}$
$m_{13}=m_{11}- m_{12}$
$m_{13}=m_{15}$
$m_{15}=m_{16}+ m_{17}+ m_{18}+ m_{19}$
$m_{20}=m_{19} + m_{22}$
$m_{20}=m_{21}$
$m_{22}=m_{18} + m_{23}$
$m_{23}=m_{25}$
$m_{25}=m_{17} + m_{27}$
$m_{27}=m_{28}$
$m_{28}=m_{16}$
$m_{10}=m_{30}$
$m_{30}=m_{32}$
$m_{21}=m_{24}= m_{26}=m_{29} =m_{31}$
$m_{33}=m_9 + m_{12}+ m_{32}+ m_{35} + m_{31}$
$m_{33}=m_{34} ; m_{36}=m_{35} ; m_{38}=m_{39} ; m_{39}=m_{14} ; m_{14}=m_6$
$m_{36}=m_8 + m_{38}$
$m_{40}=m_{37}= m_{34}=m_{33}$

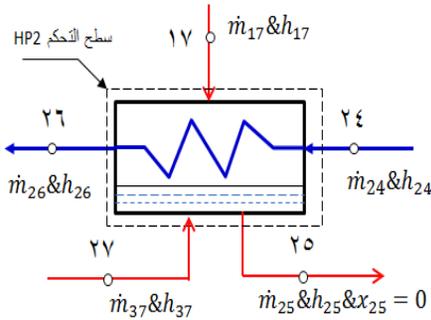
معادلات التوازن الطاقى لمكونات المحطة : وفق الجدول (4) .

<p>R.H. Cooler</p>	$m_{14}(h_{14} - h_{39}) = m_{40}(h_{40} - h_{37})$
<p>H.P.5</p>	$m_{14}(h_{14} - h_{39}) = m_8 \cdot h_8 + m_{38} \cdot h_{38} - m_{36} \cdot h_{36}$
<p>O.F.W</p>	$m_{33} \cdot h_{33} = m_{35} \cdot h_{35} + m_{32} \cdot h_{32} + m_{31} \cdot h_{31} + m_9 \cdot h_{9a} + m_{12} \cdot h_{12a}$
<p>LP4</p>	$m_{31}(h_{31} - h_{29}) = m_{10}(h_{10} - h_{30})$



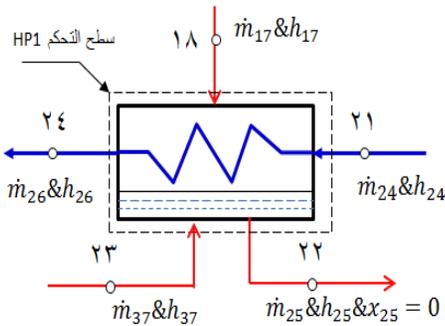
$$m_{29}(h_{29} - h_{26}) = m_{16}(h_{16} - h_{28})$$

LP3



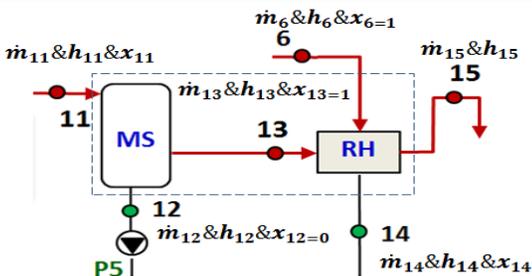
$$m_{26}(h_{26} - h_{24}) = m_{17}.h_{17} + m_{27}.h_{27} - m_{25}.h_{25}$$

LP2



$$m_{24}(h_{24} - h_{21}) = m_{18}.h_{18} + m_{23}.h_{23} - m_{22}.h_{22}$$

LP1



$$m_{11}.h_{11} = m_{12}.h_{12} + m_{13}.h_{13}$$

$$m_{13}.h_{13} + m_6.h_6 = m_{14}.h_{14} + m_{15}.h_{15}$$

M.S AND R.H

معادلات الضغوط ودرجات الحرارة من المخطط (T , S) :وفق الجدول (5) .

الضغط [kPa]	درجة الحرارة [°C]
$P_1=15800$	$T_1=326.1$, $T_2=302.5$, $T_3=302.6$
$P_2=15350$	$T_{15}=240$, $T_{41}=15$, $T_{42}=25$
$P_3=15800$	$T_4=T_6=T_7$
$P_4=P_5=P_6=P_7=6865$	$T_4=T_{Sat}(\text{steam},P=P_4)$
$P_5=P_{40}=P_{37}=P_{34}=P_{39}$	$T_9=T_{Sat}(\text{steam},P=P_9)$
$P_{14}=P_4$	$T_{a9}=T_{Sat}(\text{steam},P=P_{a9})$
$P_8=2600$	$T_{13}=T_{Sat}(\text{steam},P=P_{13})$
$P_9=1500$	$T_{39}=T_4=T_{14}$
$P_{a12}=1013$	$T_{36}=T_8=T_{38}$
$P_{10}=771$	$T_{33}=T_{35}=T_{a9}$
$P_{15}=P_{13}=P_{10}=P_{11}=P_{12}=P_{30}$	$T_{30}=T_{12}=T_{10}=T_{11}=T_{13}$
$P_{16}=196$, $P_{16}=P_{28}$	$T_{16}=\text{Temperature}(\text{steam},p=p_{16},h=h_{16})$
$P_{17}=120$	$T_{17}=T_{Sat}(\text{steam},P=P_{17})$
$P_{17}=P_{27}=P_{25}$	$T_{18}=T_{Sat}(\text{steam},P=P_{18})$
$P_{18}=40$	$T_{19}=T_{Sat}(\text{steam},P=P_{19})$
$P_{18}=P_{22}=P_{23}$	$T_{28}=T_{Sat}(\text{steam},P=P_{28})$
$P_{19}=7.5$	$T_{25}=T_{27}=T_{17}$, $T_{22}=T_{23}=T_{18}$
$P_{19}=P_{20}$	$T_{20}=T_9$ $T_{40}=T_5$
$P_{33}=1013$	$T_{21}=\text{Temperature}(\text{water},p=p_{21} , h=h_{21})$
$P_{33}=P_{32}=P_{21}=P_{31}=P_{29}=P_{26}=P_{35}$	$T_{32}=\text{Temperature}(\text{water},p=p_{32} , h=h_{32})$
$P_{41}=100$	$T_{34}=\text{Temperature}(\text{water},p=p_{34} , h=h_{34})$
$P_{41}=P_{42}$	$T_{24}=65$ $T_{26}=80$ $T_{29}=107$
$P_8=P_{38}=P_{36}$	$T_{31}=164$ $T_{37}=222.5$ $T_{40}=233$

معادلات الانثالي وجودة البخار لكافة نقاط المحطة: وفق الجدول (6)

النقطة	الانثالي h	جودة البخار X
1	$h_1 = \text{enth}(\text{water}, p=p_1, t=t_1)$	مضغوط
2	$h_2 = \text{enth}(\text{water}, p=p_2, t=t_2)$	مضغوط
3	$h_3 = \text{enth}(\text{water}, p=p_3, t=t_3)$	مضغوط
4	$h_4 = \text{enth}(\text{steam}, p=p_4, x=x_4)$	0.9975
5	$h_5 = h_{40}$	مضغوط
6	$H_6 = h_4$	$X_6 = X_4$
7	$H_7 = h_4$	$X_7 = X_4$
8	$X_{th8} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_8, s=s_4)$ $h_{th8} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_8, x=x_{th8})$ $\text{eta}_{iso} = (h_4 - h_8) / (h_4 - h_{th8})$	$X_8 = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_8, s=s_8)$
9	$X_{th9} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_9, s=s_4)$ $h_{th9} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_9, x=x_{th9})$ $\text{eta}_{iso} = (h_8 - h_9) / (h_8 - h_{th9})$	$X_9 = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_9, s=s_9)$
10	$X_{th10} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{10}, s=s_4)$ $h_{th10} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{10}, x=x_{th10})$ $\text{eta}_{iso} = (h_9 - h_{10}) / (h_9 - h_{th10})$	$X_{10} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{10}, h=h_{10})$
11	$h_{11} = h_{10}$	$X_{11} = X_{10}$
12	$h_{12} = h_{30}$	0
13	$h_{13} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{13}, x=x_{13})$	0.99
14	$h_{14} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{14}, x=x_{14})$	0.311
15	نحصل عليها من معادلة التوازن الطاقى لـ RH	بخار محمص

16	$h_{th16} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{16}, S=S_{15})$ $\text{eta_iso} = (h_{15} - h_{16}) / (h_{15} - h_{th16})$	بخار محمص
17	$X_{th17} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{17}, S=S_{15})$ $h_{th17} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{17}, x=x_{th17})$ $\text{eta_iso} = (h_{16} - h_{17}) / (h_{16} - h_{th17})$	$X_{17} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{17}, h=h_{17})$
18	$X_{th18} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{18}, S=S_{15})$ $h_{th18} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{18}, x=x_{th18})$ $\text{eta_iso} = (h_{17} - h_{18}) / (h_{17} - h_{th18})$	$X_{18} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{18}, h=h_{18})$
19	$X_{th19} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{19}, S=S_{15})$ $h_{th19} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{19}, x=x_{th19})$ $\text{eta_iso} = (h_{18} - h_{19}) / (h_{18} - h_{th19})$	$X_{19} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{19}, h=h_{19})$
20	$h_{20} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{20}, x=x_{20})$	0
21	$h_{th21} - h_{20} = v_{20}(p_{21} - p_{20})$ $v_{20} = \text{volum}(\text{steam}, p=p_{20}, x=x_{20})$ $\text{eta_iso} = (h_{th21} - h_{20}) / (h_{21} - h_{20})$	مضغوط
22	$h_{22} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{22}, x=x_{22})$	0
23	$h_{23} = h_{25}$	$X_{23} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{23}, S=S_{23})$
24	$h_{24} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{24}, t=t_{24})$	مضغوط
25	$h_{25} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{25}, x=x_{25})$	0
26	$h_{26} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{26}, t=t_{26})$	مضغوط
27	$h_{27} = h_{28}$	$X_{27} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{27}, h=h_{27})$
28	$h_{28} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{28}, x=x_{28})$	0
29	$h_{29} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{29}, t=t_{29})$	مضغوط
30	$h_{30} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{30}, x=x_{30})$	0
31	$h_{31} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{31}, t=t_{31})$	مضغوط

32	$h_{th32} - h_{30} = v_{30}(p_{32} - p_{30})$ $v_{30} = \text{volum}(\text{steam}, p=p_{30}, x=x_{30})$ $\text{eta_iso} = (h_{th32} - h_{30}) / (h_{32} - h_{30})$	مضغوط
33	$h_{33} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{33}, x=x_{33})$	0
34	$h_{th34} - h_{33} = v_{33}(p_{34} - p_{33})$ $v_{33} = \text{volum}(\text{steam}, p=p_{33}, x=x_{33})$ $\text{eta_iso} = (h_{th34} - h_{33}) / (h_{34} - h_{33})$	مضغوط
35	$h_{35} = h_{36}$	$X_{35} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{35}, h=h_{35})$
36	$h_{36} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{36}, x=x_{36})$	0
37	$h_{37} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{37}, t=t_{37})$	مضغوط
38	$h_{38} = h_{39}$	$X_{38} = \text{Quali}(\text{steam}, p=p_{38}, h=h_{38})$
39	$h_{39} = \text{enth}(\text{steam}, p=p_{39}, x=x_{39})$	0
40	$h_{40} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{40}, t=t_{40})$	مضغوط
41	$h_{41} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{41}, t=t_{41})$	مضغوط
42	$h_{42} = \text{enth}(\text{water}, p=p_{42}, t=t_{42})$	مضغوط

تحديد الانتروبي لكافة نقاط المحطة: وفق الجدول (7) .

النقطة	الانتروبي	النقطة	الانتروبي
1	$S_1 = \text{entrop}(\text{water}, p=p_1, t=t_1)$	22	$S_{22} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{22}, X=X_{22})$
2	$S_2 = \text{entrop}(\text{water}, p=p_2, t=t_2)$	23	$S_{23} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{23}, h=h_{23})$
3	$S_3 = \text{entrop}(\text{water}, p=p_3, t=t_3)$	24	$S_{24} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{24}, t=t_{24})$
4	$S_4 = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_4, h=h_4)$	25	$S_{25} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{25}, X=X_{25})$
5	$S_5 = S_{40}$	26	$S_{26} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{26}, t=t_{26})$

6	$S_6 = S_4$	27	$S_{27} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{27}, h=h_{27})$
7	$S_7 = S_4$	28	$S_{28} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{28}, X=X_{28})$
8	$S_8 = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_8, h=h_8)$	29	$S_{29} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{29}, t=t_{29})$
9	$S_9 = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_9, h=h_9)$	30	$S_{30} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{30}, X=X_{30})$
10	$S_{10} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{10}, h=h_{10})$	31	$S_{31} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{31}, t=t_{31})$
11	$S_{11} = S_{10}$	32	$S_{32} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{32}, h=h_{32})$
12	$S_{12} = S_{30}$	33	$S_{33} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{33}, X=X_{33})$
13	$S_{13} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{13}, X=X_{13})$	34	$S_{34} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{34}, h=h_{34})$
14	$S_{14} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{14}, X=X_{14})$	35	$S_{35} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{35}, h=h_{35})$
15	$S_{15} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{15}, T=T_{15})$	36	$S_{36} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{36}, X=X_{36})$
16	$S_{16} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{16}, h=h_{16})$	37	$S_{37} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{37}, t=t_{37})$
17	$S_{17} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{17}, h=h_{17})$	38	$S_{38} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{38}, h=h_{38})$
18	$S_{18} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{18}, h=h_{18})$	39	$S_{39} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{39}, X=X_{39})$
19	$S_{19} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{19}, h=h_{19})$	40	$S_{40} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{40}, t=t_{40})$
20	$S_{20} = \text{entrop}(\text{steam}, p=p_{20}, X=X_{20})$	41	$S_{41} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{41}, t=t_{41})$
21	$S_{21} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{21}, h=h_{21})$	42	$S_{42} = \text{entrop}(\text{water}, p=p_{42}, t=t_{42})$

نقوم بإدخال المعادلات على برنامج EES وهو برنامج متخصص بحل المعادلات الترموديناميكية لاحتوائه على مكتبة تضم جميع الجداول الترموديناميكية وهو برنامج معتمد في الحسابات الترموديناميكية والموائع: [7].

يتميز EES عن بعض البرامج الأخرى بأنه:

- 1- لا يهتم بترتيب المعادلات
- 2- لا يهتم بترتيب المجاهيل
- 3- يحتوي مكتبة ضخمة من بنك المعلومات ويشمل جداول البخار التي تجمع جميع الخواص الترموديناميكية فيكفي أن نعرف خاصيتين لتظهر بقية الخواص
- 4- تهمل حالة الأحرف كبيرة أم صغيرة عند تعريف المتغيرات حيث يقوم البرنامج تلقائياً بتعديل حالة الأحرف لتتطابق حالة أول مرة كتبت بها.
- 5- يمكن كتابة أكثر من معادلة في نفس السطر بالفصل بينهما بفاصلة منقوطة.....[7]

الجدول رقم (8):بيانات التدفق والمؤشرات الترموديناميكية لمحطة توليد الطاقة
PWR(AP1000) المعتمدة: [1]

Stream	Flow rate [kg/s]	$g=m_i/m_{st}$	T [°C]	P [kPa]	Steam Quality	Enthalpy [kJ/kg]	Exergy [kJ/kg]
1	18800	12.5	326.1	15800		15000	490
2	18800	12.5	302.5	15350		1358	415.7
3	18800	12.5	302.6	15800		1359	416
4	1503	1	284.5	6865	0.997	2770	1096
5	1503	1	233	6865		1004	245.9
6	156.6	$g_1=0.10419$	284.5	6865	0.997	2770	1096
7	1347	0.8962	284.5	6865	0.997	2770	1096
8	138.1	$g_2=0.09188$	226.1	2600	0.9036	2626	931.4
9	10.9	$g_3=0.00725$	198.3	1500	0.8616	2522	831.5
9a	10.9	$g_3=0.00725$	180.3	1013	0.9325	2522	720.2
10	128.6	$g_5=0.08556$	168.9	771	0.8284	2415	722.7

أثر ضغوط ومعدلات استنزاف البخار من عنفة محطة AP1000 النووية على المردود الترموديناميكي

11	1069	0.71124	168.9	771	0.8284	2415	722.7
12	174.8	$g_4=0.1163$	168.9	771	0	714.5	130.9
12a	174.8	$g_4=0.1163$	168.9	1013		714.07	162.31
13	894.4	0.595	168.9	771	0.99	2747	838.4
14	156.6	$g_1=0.10419$	284.5	6865	0.311	1731	593.3
15	894.4	0.595	240	771		2929	909.4
16	46.01	$g_6=0.03061$	119.6	196		2713	653.5
17	24.64	$g_7=0.01639$	104.8	120	0.946	2603	563
18	38.86	$g_8=0.02585$	75.85	40	0.918	2447	394.9
19	784.9	0.522222	40.3	7.5	0.86	2239	171.5
20	894.4	0.595	40.3	7.5	0	168.8	4.397
21	894.4	0.595	40.58	1013		169.9	4.493
22	109.5	0.07285	75.85	40	0	317.5	23.65
23	70.65	0.047	75.85	40	0.0525	439.3	44.88
24	894.4	0.595	65	1013		272.1	16.31
25	70.65	0.047	104.8	120	0	439.3	48.9
26	894.4	0.595	80	1013		334.9	26.77
27	46.01	$g_6=0.03061$	104.8	120	0.0279	502	63.8
28	46.01	$g_6=0.03061$	119.6	196	0	502	64.77
29	894.4	0.595	107	1013		448.6	51.15
30	128.6	$g_5=0.08556$	168.9	771	0	714.5	130.9
31	894.4	0.595	164	1013		693.1	123.4
32	128.6	$g_5=0.08556$	169	1013		714.8	131
33	1503	1	180.5	1013	0	765.3	149.2
34	1503	1	182.2	6865		773	152
35	294.7	0.19607	180.5	1013	0.1	971.7	224.4
36	294.7	0.19607	226.1	2600	0	971.7	231.8

37	1503	1	222.5	6865		955.1	224.7
38	156.6	0.10419	226.1	2600	0.157	1260	353.7
39	156.6	0.10419	284.5	6865	0	1260	365.9
40	1503	1	233	6865		1004	245.9
41	39224	26.0971	15	100		62.92	0
42	39224	26.0971	25	100		104.8	0.711

ونتيجة الحل على برنامج EES بعد ادخال المعادلات ينتج لدينا الجدول التالي الذي يوضح المقارنة بين نتائج الحل ومعطيات المحطة المقترحة.

الجدول (9) مقارنة بين معطيات المحطة المعتمدة ونتائج الحل :

	الرمز	المحطة المعتمدة	نتائج الحل	Er%
1	W_{HP}	447.6	448.3	0.15
2	W_{LP}	578	577.6	0.06
3	W_{net}	1012.78	1013	0.021
4	μ_{th}	38.16	38.19	0.07
5	μ_e	37.23	37.24	0.026
6	W_{P1}	1.066	1.066	0
7	W_{P2}	0.04	0.04067	1.64
8	W_{P3}	11.67	11.67	0
9	T_{15}	240	239.1	0.037
10	T_{40}	233	233.1	0.042
11	X_{11}	82.84	82.81	0.036
12	X_{19}	86.00	86.01	0.011
13	M_6	156.6	154.9	1.09
14	M_8	138.1	139.3	0.86
15	M_9	10.9	10.9	0
16	M_{10}	128.6	128.4	0.15
17	M_{16}	46.01	45.99	0.13
18	M_{17}	24.64	24.64	0
19	M_{18}	38.86	39.23	0.18

تحديد مجال ضغوط الاستنزاف اعتمادا على درجة حرارة خرج المسخنات:

تعطى مجالات درجة حرارة خرج المسخنات التصميمية والشائعة في اغلب محطات الطاقة النووية التي تعمل على مفاعلات الجيل الثالث كمايلي في المحطة المعتمدة:.....[1]

يبين الجدول (10) درجات حرارة خرج المسخنات:[1]

المسخن	درجة حرارة الخرج [C]
LP ₁	T ₂₄ =60.....66
LP ₂	T ₂₆ =79.....90
LP ₃	T ₂₉ =107...115
LP ₄	T ₃₁ =160...164
OFW	T ₃₃ =180.5
R.H	T ₃₇ =200...223
Cooler.H	T ₄₀ =233

في هذه الحالة سوف نعتبر ان البخار المستنزف من العنفات يتكاثف بشكل كامل في المسخنات، أي ان درجة حرارة خرج مياه التغذية من المسخن تساوي درجة حرارة خرج البخار المتكاثف من المسخن. أي:.....[6]

$$T_{37} = T_{36} \quad \& T_{31} = T_{30} \quad \& T_{29} = T_{28} \quad \& T_{26} = T_{25} \quad \& T_{24} = T_{22}$$

نأخذ الحالة الاولى: من الشكل (1) عندما:

$$\& T_{31} = T_{30} = 164 \text{ C}^0 \quad \& T_{29} = 90 \text{ C}^0 \quad \& T_{24} = T_{22} = 66 \text{ C}^0 \\ T_{28} = 115 \text{ C}^0 \quad \& T_{26} = T_{25} \quad T_{33} = 180.5 \text{ C}^0 \quad \& T_{36} = T_{37} = 223 \text{ C}^0$$

وتكتب معادلات ضغوط الاستنزافات في هذه الحالة:

$$P_{16} = P_{\text{sat}}(\text{steam}, T=T_{36}) \quad \& P_{10} = P_{\text{sat}}(\text{steam}, T=T_{30}) \quad \& P_8 = P_{\text{sat}}(\text{steam}, T=T_{36}) \\ \& T=T_{28})$$

$$P_{18} = P_{\text{sat}}(\text{steam}, T=T_{22}) \quad \& P_{17} = P_{\text{sat}}(\text{steam}, T=T_{25})$$

$$P_{17} = P_{16} = 169.7 \text{ kPa} \quad P_{10} = 683.8 \text{ kPa} \quad P_9 = 1500 \text{ kPa} \quad P_8 = 2459 \text{ kPa}$$

$$70.3 \text{ kPa}, \quad P_{18} = 26.2 \text{ kPa}$$

نأخذ الحالة الثانية:

$$T_{29} = T_{28} = [C] \quad T_{26} = T_{25} = 79[C] \quad T_{24} = T_{22} = 60 [C^0]$$

$$T_{31} = T_{30} = 160[C] \quad T_{107}$$

$$T_{37} = T_{36} = 200[C]$$

ونتيجة الحل نجد:

$$P_{17} = 46 \text{ kPa}, \quad P_{16} = 134 \text{ kPa} \quad P_{10} = 617.6 \text{ kPa} \quad P_9 = 1057 \text{ kPa} \quad P_8 = 1560 \text{ kPa}$$

$$P_{18} = 20 \text{ kPa}$$

وبالتالي يكون مجال الضغط لكل استنزاف مع مراعاة جودة البخار الخارج من العنفات وهي X_{HP} يجب ان لا تقل عن 0.82 و X_{LP} يجب ان لا تقل عن 0.86..... [1]

$$P_{10} = P_9 = 1057...1500 \text{ kPa} \quad P_8 = 1560...2459 \text{ kPa}$$

$$P_{16} = 134...169.7 \text{ kPa} \quad P_{17} = 46.. 617.6...683.8 \text{ kPa}$$

$$70.3 \text{ kPa} \quad P_{18} = 20.. 26.2 \text{ kPa}$$

وبالتالي تكون نافذة الحل بعد تحديد ضغوط الاستنزاف كمايلي:

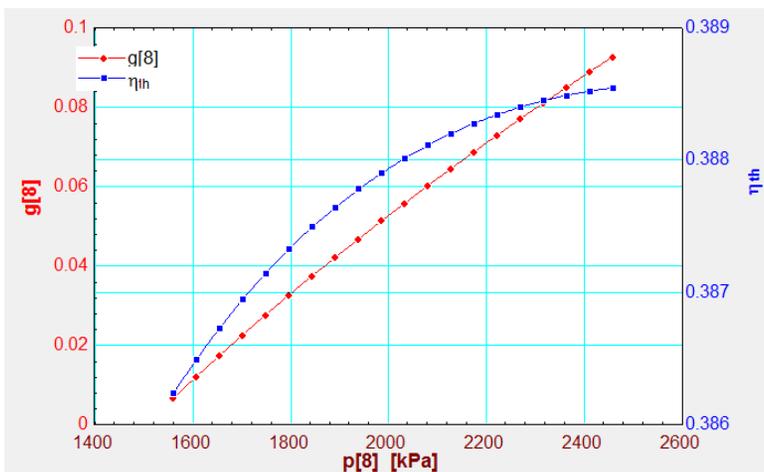
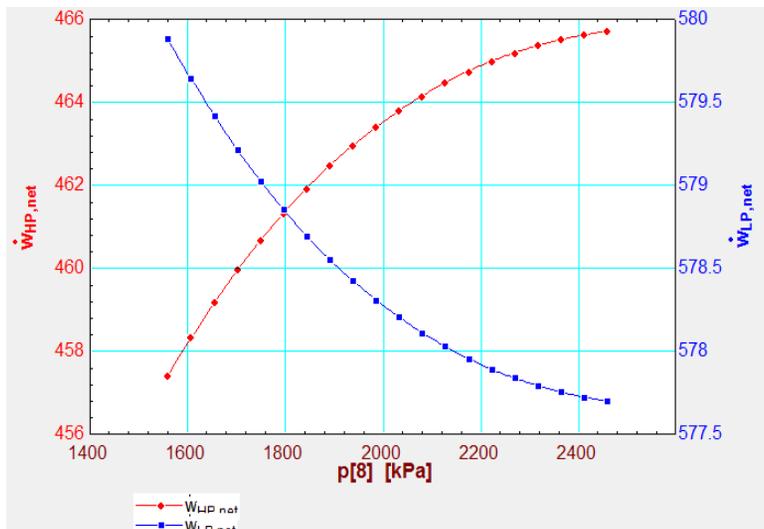
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$\eta_{condp} = 0.85 [-]$	$\eta_e = 0.3789 [-]$	$\eta_{HP, fwp} = 0.85 [-]$
$\eta_{HP, st} = 0.8 [-]$	$\eta_{iso} = 0.8$	$\eta_{LP, fwp} = 0.85 [-]$
$\eta_{LP, st} = 0.8 [-]$	$\eta_{pump} = 0.85 [-]$	$\eta_{th} = 0.3885 [-]$
$F = 0.01146$	$g = 123.2 \text{ [kg/s]}$	$h_0 = 63 \text{ [kJ/kg]}$
$\dot{m} = 265.5 \text{ [kg/s]}$	$\dot{m}_{cond} = 39224 \text{ [kg/s]}$	$\dot{m}_{cw} = 18800 \text{ [kg/s]}$
$\dot{m}_{st} = 1503$	$No_{pumps} = 4 [-]$	$p_0 = 101.3 \text{ [kpa]}$
$P_{cond} = 0.075 \text{ [bar]}$	$p_R = 158 \text{ [bar]}$	$p_{st, o} = 6865 \text{ [kpa]}$
$\dot{Q}_{add} = 2652 \text{ [MW]}$	$s_0 = 0.224 \text{ [kJ/kg*k]}$	$t_0 = 288.2 \text{ [c]}$
$t_{cw, i} = 302.7 \text{ [c]}$	$t_{cw, o} = 326.1 \text{ [c]}$	$t_{fwo} = 284.5 \text{ [c]}$
$t_{wcond, in} = 15 \text{ [c]}$	$t_{wcond, out} = 25 \text{ [c]}$	$w_e = 1005 \text{ [MW]}$
$w_G = 1000 \text{ [MW]}$	$w_{HP, net} = 465.7$	$w_{LP, net} = 577.7 \text{ [MW]}$
$w_{net} = 1031 \text{ [MW]}$	$w_{onep} = 3.42 \text{ [MW]}$	$w_P = 12.84 \text{ [MW]}$
$w_{P1} = 1.07 \text{ [MW]}$	$w_{P2} = 0.04749 \text{ [MW]}$	$w_{P3} = 11.67 \text{ [MW]}$
$w_{P5} = 0.04749 \text{ [MW]}$	$w_R = 3490 \text{ [MW]}$	$w_T = 1043 \text{ [MW]}$

دراسة تأثير مجال كل ضغط على الاستنزافات والمردود الحراري للمحطة:

ندرس تأثير مجال كل ضغط على حدا على معدلات الاستنزاف وعلى المردود الترموديناميكي للمحطة مع تثبيت بقية الضغوط:

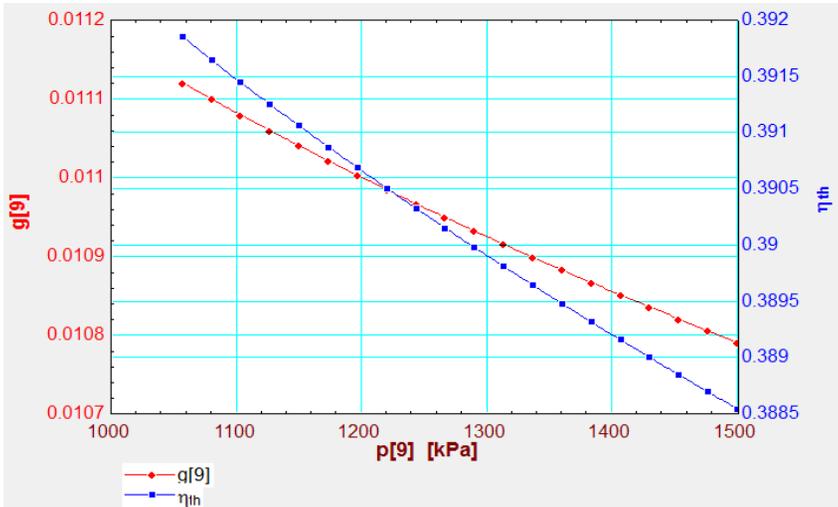
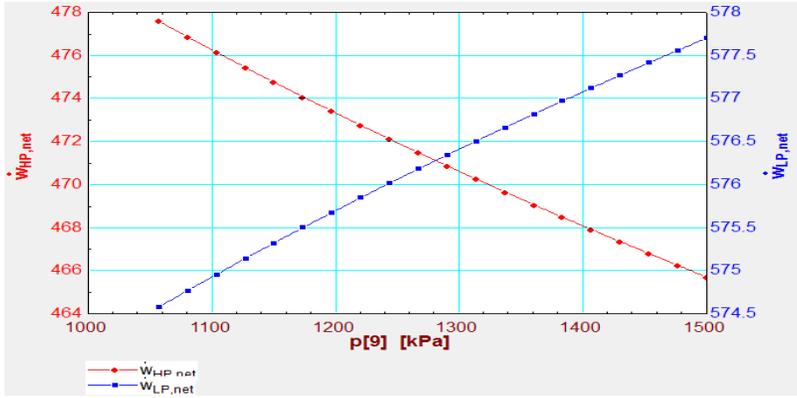
ضغط الاستنزاف الاول P_8 :



الشكل (5): علاقة P_8 مع W_{LP} , W_{HP} , $g[8]$, μ_{th}

نلاحظ من الشكل (5): مع ازدياد P_8 تزداد h_8 وكذلك يزداد الاستنزاف g_8 أي تزداد m_8 اللازمة لرفع درجة حرارة خرج المسخن R.H، وعلى الرغم من ان الاستنزاف يزداد مع ازدياد الضغط الا ان عمل عنفة الضغط العالي يزداد والسبب هو زيادة الهبوط الحراري بين النقطتين 8 و 9 كما هو موضح في الشكل 1. وبالمحصلة زيادة العمل الصافي وبالتالي زيادة المردود الترموديناميكي للمحطة.

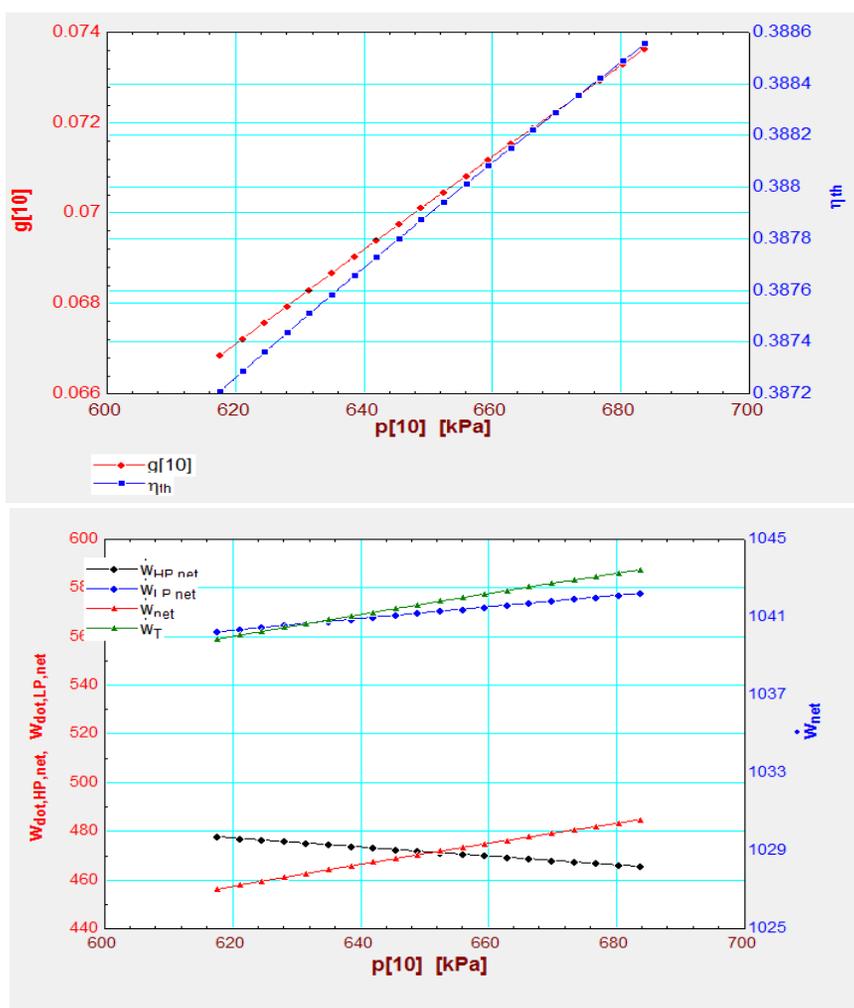
ضغط الاستنزاف الثاني. P_9 :



الشكل (6): علاقة P_9 مع W_{LP} ، W_{HP} ، $g[9]$ ، μ_{th}

نلاحظ من الشكل (6) :انه مع زيادة P_9 المردود يتناقص والاستنزاف يتناقص والسبب في ذلك. ان ضغط المسخن المفتوح ثابت ودرجة الخروج منه ثابتة $180.5[C]$ وبالتالي عند زيادة الضغط تزداد h_9 أي يزداد المحتوى الحراري مما يؤدي الى إنقاص الكمية اللازمة للتسخين الى درجة الحرارة الثابتة. في حين نلاحظ ان عمل عنفة الضغط العالي يتناقص بشكل اكبر من زيادة عمل عنفة الضغط المنخفض وبالمحصلة نقصان العمل الصافي والمردود الترموديناميكي للمحطة.

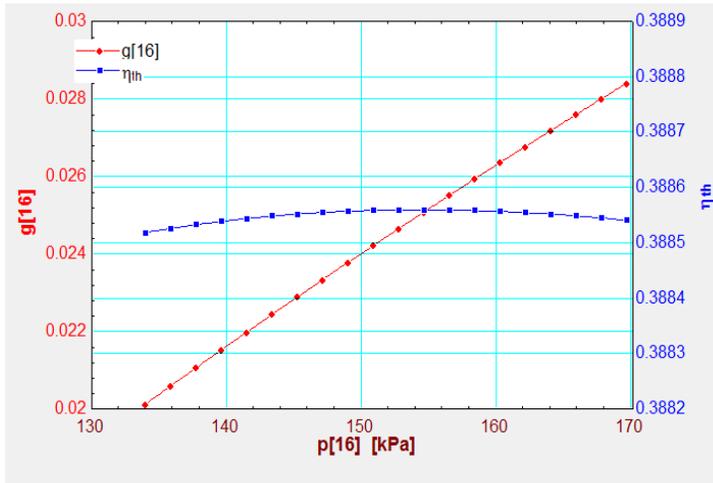
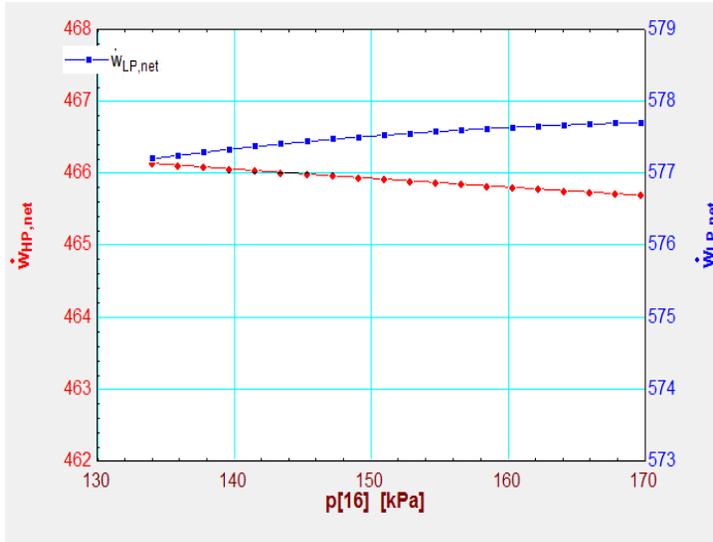
ضغط الاستنزاف الثالث. P_{10}



الشكل (7): علاقة P_{10} مع W_{HP} ، W_{LP} ، W_{net} ، $g[10]$ ، μ_{th}

نلاحظ من الشكل (7): بزيادة P_{10} تزداد h_{10} وكذلك كمية الاستنزاف g_{10} أي تزداد m_{10} اللازمة لرفع درجة حرارة خرج المسخن LP_4 ومع زيادة كمية الاستنزاف من عنفة الضغط العالي يتناقص عملها في حين نلاحظ ان عمل عنفة الضغط المنخفض يزداد بمقدار اكبر من نقصان عمل عنفة الضغط العالي وبالمحصلة زيادة العمل الصافي وبالتالي المردود الترموديناميكي للمحطة.

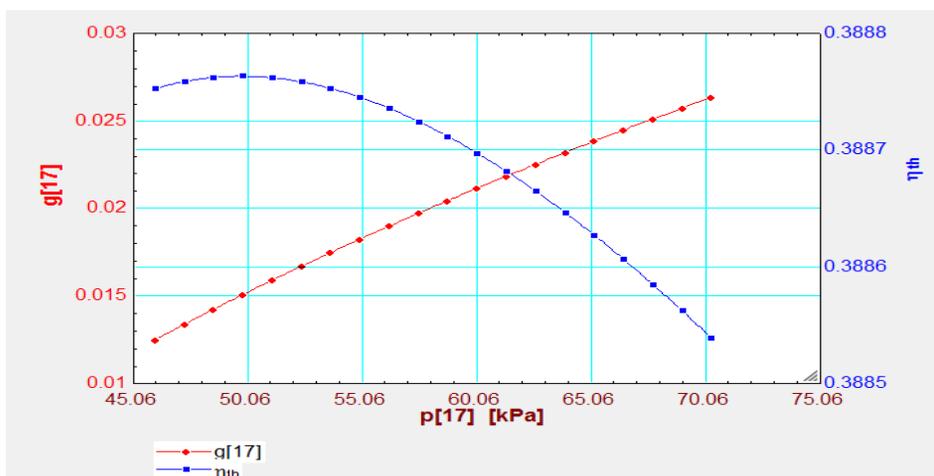
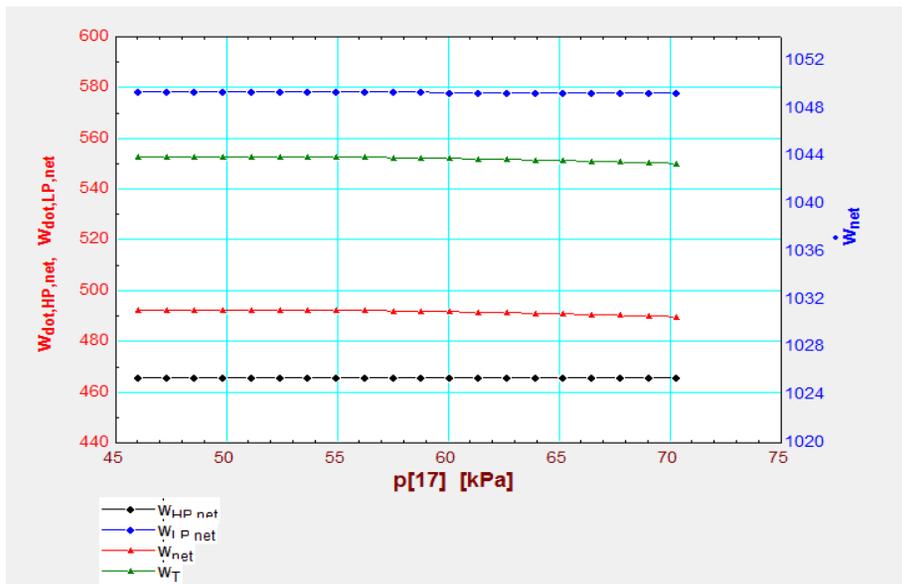
ضغط الاستنزاف الرابع: P_{16}



الشكل (8): علاقة P_{16} مع W_{LP} ، W_{HP} ، $g[16]$ ، μ_{th}

نلاحظ أيضا من الشكل(8) : بازدياد الضغط تزداد كمية الاستنزاف اللازمة لرفع درجة حرارة خرج المسخن LP_3 . ونلاحظ ان المردود تقريبا يبقى ثابتا والسبب هو ان زيادة عمل عنفة الضغط المنخفض يساوي تقريبا نقصان عمل عنفة الضغط العالي وبالمحصلة العمل الصافي يبقى ثابتا تقريبا وبالتالي المردود تقريبا يبقى ثابتا:

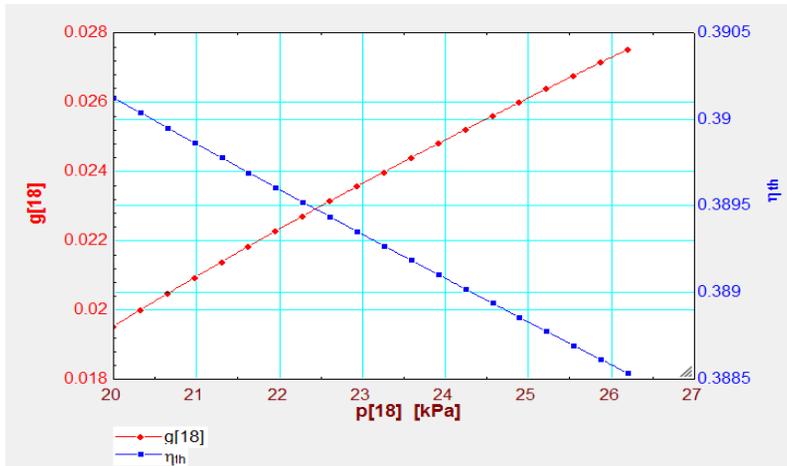
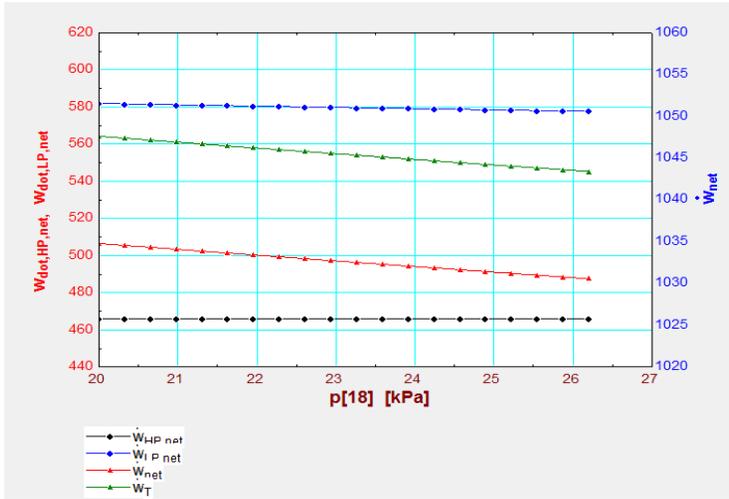
ضغط الاستنزاف الخامس. P_{17} :



الشكل (9): علاقة P_{17} مع W_{LP} , W_{HP} , W_{net} , $g[17]$, μ_{th}

نلاحظ من الشكل (9): مع ازدياد P_{17} تزداد كمية الاستنزاف m_{17} اللازمة لتسخين خرج المسخن L_{P_2} مما يؤدي الى نقصان عمل عنفة الضغط المنخفض بنسبة قليلة في حين لا يتغير عمل عنفة الضغط العالي وبالمحصلة نقصان العمل الصافي قليلا وبالتالي انخفاض بقيمة المردود قليلا.

ضغط الاستنزاف السادس. P_{18} :



الشكل (10): علاقة P_{18} مع W_{HP} ، W_{LP} ، W_{net} ، $g[18]$ ، μ_{th}

يظهر من الشكل (10): بازدياد P_{18} تزداد الكمية اللازمة لتسخين خرج المسخن LP_1 مما يؤدي الى نقصان عمل عنفة الضغط المنخفض وبالتالي نقصان العمل الصافي وبالتالي نقصان في المردود الحراري.

بعد دراسة تأثير كل ضغط على حدا يمكن ترتيب الجدول التالي:

الجدول (9) يبين قيمة الضغوط التي تعطي أعلى مردود وقيمة معدل التدفق الموافقة له، وذلك عند دراسة كل ضغط على حدا مع تثبيت قيمة الضغوط الأخرى:

الضغط الموافق لاعلى مردود [kPa]	المردود	معدل التدفق الكتلي [kg/s]
$P_8 = 2459$	0.3885	138.1
$P_9 = 1057$	0.3918	16.71
$P_{10} = 683.8$	0.3886	110.7
$P_{16} = 162.2$	0.3886	40.23
$P_{17} = 46$	0.3888	18.79
$P_{18} = 20$	0.3901	29.35

يتبين من الجدول رقم (9): ان اعظم مردود يمكن ان نحصل عليه هو 0.3918 عندما $P_9 = 1057$ مع تثبيت بقية الضغوط التي كانت تعمل عليها المحطة. حيث كان مردود المحطة 0.3885 وذلك عند الضغوط: [kPa]

$$P_{17} = 70.12 \ \& \ P_{16} = 169 \ \& \ P_9 = 1500 \ \& \ P_{10} = 683.1 \ \& \ P_8 = 2459 \\ P_{18} = 26.12 \ \&$$

أي نلاحظ من الجدول (13) ان ضغط P9 انخفض الى أقل قيمة له ، في حين نجد أن معدل التدفق الكتلي m_9 قد ازداد من $16.22[\text{kg/s}]$ الى $16.71[\text{kg/s}]$ ، أي ازداد بمقدار $0.49[\text{kg/s}]$ ، حيث $m_{st} = g_9 * m_9$ ، والسبب في زيادة معدل التدفق الكتلي m_9 رغم تناقص P9، هو نلاحظ من الشكل (2) أن درجة حرارة خرج مياه التغذية من خزان التجميع ثابتة وتساوي $180[\text{c}]$ وذلك لان ضغطه ثابت $1013[\text{kPa}]$ ، وبالتالي نقصان P9 سوف ينقص المحتوى الحراري h_9 بالتالي سوف تزداد m_9 اللازمة لتحقيق درجة حرارة خرج خزان تجميع مياه التغذية المفتوح OFW. كما يبين الشكل (6) أنه بنقصان P9 يزداد المردود بسبب زيادة عمل عنفة الضغط العالي نتيجة زيادة الهبوط الحراري بين النقطة (8) النقطة (9).

الاستنتاجات والتوصيات:

لقد تم تحديد مجالات الضغوط ومن ثم دراسة تأثير مجال كل ضغط استنزاف على المردود الترموديناميكي للمحطة وكان أعلى مردود هو 0.3918 وذلك عند ضغط الاستنزاف الثاني $P_9 = 1057[\text{kPa}]$ ، أي المحطة أعطت أعلى قيمة للمردود عند أقل قيمة لضغط الاستنزاف الثاني مع تثبيت بقية الضغوط الأخرى.

يمكن دراسة تأثير مجال كل ضغط على أكسيري جي وكفاءة كل مكون من مكونات المحطة وعلى كفاءة المحطة بالكامل.

REFERENCES

- [1] Sayyaadi, H.& Sabzaligol, T. (2010)-Comprehensive exergetic and economic comparison of PWR and hybrid fossil fuel-PWR power plants. Energy, 35 (7), 2953-2964.
- [2] João , O& Antonella ,L& Costa,& Ângela,S. (2019)- Energy and exergy analyses of Angra 2 nuclear power plant. International Nuclear Atlantic Conference,83,PP169-184
- [3]- Tony,S.(2019)-energy and exergy analyses of steam power plant.Energy nuclear, E3S Web of Conferences 125, ICENIS
- [4]- Sayyaadi, H., & Sabzaligol, T. (2009). Exergoeconomic optimization of a 1000 MW light water reactor power generation system. International Journal of Energy Research, 33(4), 378-395.
- [5]- Eshun, R. B. (2019). Energy and exergy based performance analysis of Westinghouse AP1000 nuclear power plant. Applied Sciences, 4(1), 1-10.
- [6]- Rajput,K.2007-Engineering Thermodynamic.Golden house Delhi10002,3-Indian,p966.
- [7]- Klein,S.2000-EES- Engineering Equations Solver. Microsoft operating systems F-Chart Software Box 44042 Madison, WI 53744
- [8]- Ibrahim, S&Ibrahim, M & Attia, S. (2014). The impact of climate changes on the thermal performance of a proposed pressurized water reactor: nuclear-power plant. International Journal of Nuclear Energy, Vol. 2014,793908, p7.
- [9]N ,Lior. (1997) - exergy and thermoeconomic analysis of the effects of fossil fuel superheating in nuclear power plants. energy comers, P- S0196eS8904 (96)00235-X.
- [10] Dunbar ,WR& Moody, SD. (1995)- Exergy analysis of an operating boiling-water-reactor nuclear power station. Energy Conversion and Management, 1995;6e3:149e59

دراسة خصائص القناة المصنعة بتقنية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي في سبيكة ألومنيوم (Al 443.0)

طالب الدراسات العليا: م. حمزة الحسين قسم التصميم والإنتاج - الهمة-جامعة البعث
إشراف: د. م. توفيق المسعود + د. م. محمود الأسعد

الملخص: في هذا البحث تم إجراء عمل تجريبي على صفيحة مصبوبة من سبيكة ألومنيوم (Al 443.0) لتشكيل قناة مستمرة داخلية بمسار خطي باستخدام تقنية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي، حيث تعتبر هذه التقنية أحد أهم العمليات الحديثة في مجال التصنيع بالمزج الاحتكاكي. تمت التجربة على الآلة (Pillar Drill JIH GWO K-) باستخدام أداة تشكيل ثابتة اسطوانية وبسرعة دوران (1225 rpm) وسرعة تقدم (30 mm/min). نتيجة للتجربة تم الحصول على قناة داخلية مستمرة في صفيحة الألومنيوم ذات الأبعاد (100×100×5 mm)، حيث أن الشكل الهندسي للمقطع العرضي للقناة المشكولة عبارة عن شكل مستطيل أبعاده (3.7×1.9 mm).

تمت مقارنة خصائص القناة المصنعة بطريقة المزج الاحتكاكي مع الطرق التقليدية مثل التثقيب والتفريز والتشغيل بالتفريغ الكهربائي من خلال إجراء تحليل نقاط القوة والضعف والفرص والتهديدات (SWOT)، حيث بينت النتائج أن عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي هي تقنية مبتكرة لديها إمكانيات عالية ليتم تقديمها في مختلف الصناعات على الرغم من وجود العديد من التقنيات التقليدية، ومع ذلك تتمتع تقنية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي ببعض المزايا مقارنةً مع هذه التقنيات.

الكلمات المفتاحية: تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي - سبيكة ألومنيوم (Al 443.0) - قناة داخلية مستمرة - التشغيل بالتفريغ الكهربائي.

Studying Characteristics of Channel Produced by Friction Stir Channeling Technique in Aluminum Alloy (Al 443.0)

Student: Eng. Hamzah Alhussein Design & Production Dep. –
Faculty of Mech. & Elec. Engineering – Al-Baath University
Suprivesrd by: Dr. Tawfik Al-Masood + Dr. Mahmoud Al-Assad

Abstract: In this research, experimental work was conducted on a plate of cast Aluminum Alloy (Al 443.0) to produce an internal continuous channel with linear path using Friction Stir Channeling (FSC) technique, as this technology is considered one of the most important modern process in the field of friction stir manufacturing. The experiment was carried out on a machine (Pillar Drill JIH GWO K-1316F) using fixed cylindrical tool with rotation speed (1225 rpm) and travel speed (30 mm/min). As a result of experiment a continuous internal channel was obtained in aluminum plate with dimensions (100×100×5 mm), where the cross-sectional geometric shape of channel is rectangular shape with dimensions (3.7×1.9 mm).

The Characteristics of the channel produced by FSC method were compared with traditional method such as Drilling, Milling, and Electric Discharge Machining EDM by Strength, Weakness, Opportunities, and Threats Points (SWOT) analysis. The results showed that FSC process is an innovative technology that has high potential to be introduced various industries. Although there are many traditional technique, FSC tech has some advantages over these techniques.

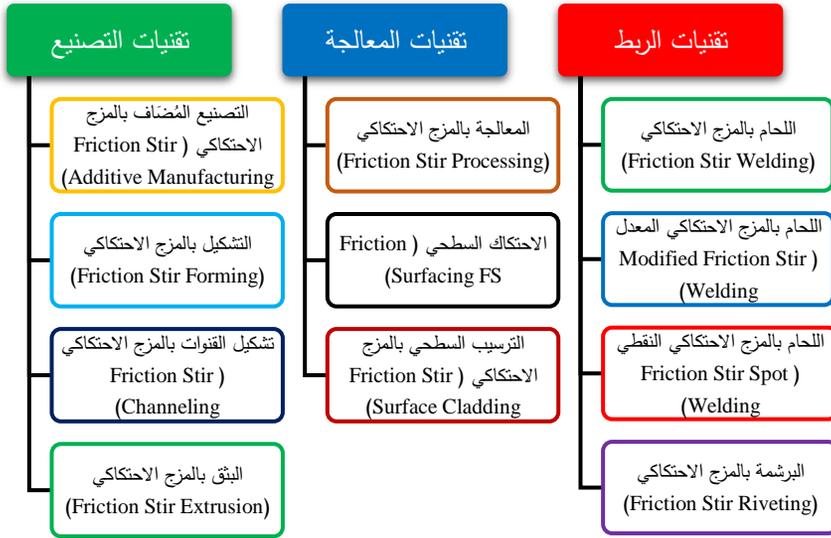
Keywords: Friction Stir Channeling – Aluminum Alloy (Al 443.0)
– Internal Continuous Channel – Electric Discharge Machining

مقدمة:

حققت التقنيات القائمة على المزج الاحتكاكي (Friction stirring based technologies) نجاحاً ملحوظاً في ربط ومعالجة سبائك الألمنيوم والسبائك الأخرى اللينة، ومع ذلك لم تتجح كافة هذه العمليات والتقنيات الحديثة تماماً في الوصول إلى الطرق المطلوبة لربط أو معالجة أو تصنيع السبائك الأخرى لتلبية متطلبات البيئات الصناعية المتطورة [1].

ومن خلال الجهود المبذولة لتحسين العملية ونقل قاعدة المعرفة الحالية للعمليات القائمة على المزج الاحتكاكي إلى التطبيقات المتقدمة الأخرى، ظهرت العديد من التقنيات الوليدة القائمة على المزج الاحتكاكي على مدار العقد الماضي وحتى وقتنا الحالي. فقد تم تطوير عدد قليل من هذه التقنيات بشكل جيد بينما لا يزال البعض الآخر في طور الظهور. يمكن تصنيف العمليات القائمة على المزج الاحتكاكي إلى ثلاث فئات رئيسية وهي [1]:

- 1- تقنيات ربط / لحام (Welding technologies).
- 2- تقنيات معالجة (Processing technologies).
- 3- تقنيات تصنيع (Manufacturing technologies).

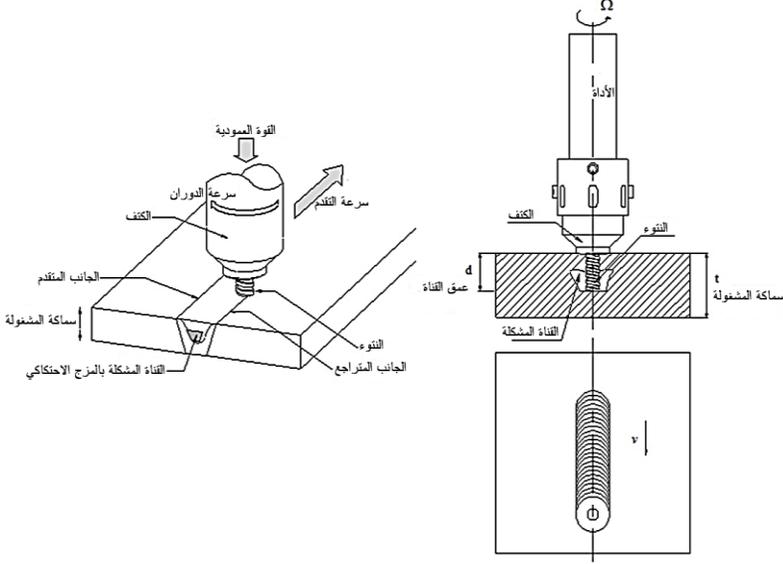


الشكل (1): تصنيف التقنيات القائمة على المزج الاحتكاكي [1].

في التصنيع القائم على المزج الاحتكاكي، يتم توليد الحرارة من تبديد الطاقة أثناء التشوه اللدن لقطع العمل التي تتم معالجتها، وأيضاً من الاحتكاك الملازم لعمل الاحتكاك بين عناصر العملية (الأداة والمشغولة) [2].

بناءً على أسس هذه العملية، توجد تقنيات مختلفة ويتم تطويرها في تطبيقات صناعية متميزة تشمل مجموعة واسعة من المواد الهندسية المختلفة. من أهم هذه التقنيات عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي (Friction Stir Channeling FSC)، وهي إحدى طرق التصنيع القائمة على المزج الاحتكاكي. هذه العملية يتم فيها تشكيل قنوات داخلية مستمرة في مسار واحد في صفائح متجانسة وبخطوة واحدة. تعتمد عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي في تشكيل القنوات على الاستفادة من مشكلة تكوين عيب الثقب الدودي (Worm hole) في عملية اللحام بالمزج الاحتكاكي FSW لإنتاج قنوات مستمرة [3].

إن عيب الفراغ/الثقب الدودي (Void/Wormhole) هو عيب حتمي يحدث تحت السطح العلوي للمشغولة بالكامل حيث تبقى المنطقة فارغة من وجود أي مادة. يحدث هذا العيب بسبب سرعة تقدم اللحام العالية وسرعة الدوران المنخفضة [4].



الشكل (2): مبدأ عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي [4].

تم تطوير عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي منذ ظهورها في عام 2005 وحتى وقتنا الحاضر علي يد العديد من الباحثين، كما ظهرت عدة أنواع ومبادئ لهذه العملية وهي كالتالي:

1- تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي مع خلوص بين الكتف والمشغولة:

طور الباحث (N. Balasubramanian) "النسخة الأولى" من FSC وجوانبها الرئيسية هي كالتالي [4]:

- يتم تدوير أداة التشكيل بحيث يكون تدفق المواد للأعلى باتجاه كتف الأداة.

- يتم توفير خلوص أولي بين الكتف والمشغولة، حيث يتم ترسيب المادة من قاعدة النتوء.

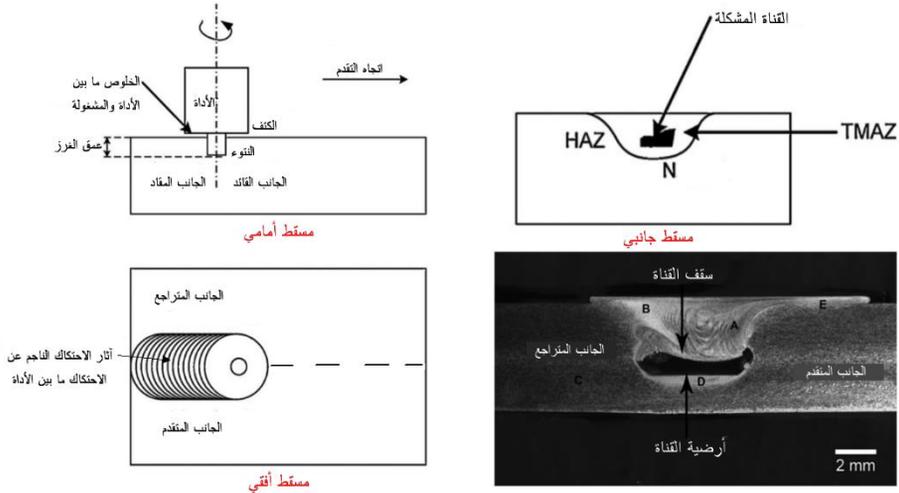
- يمكن تعديل هذه المسافة بين كتف الأداة وقطعة العمل للتحكم في شكل وحجم وسلامة القناة.

خلال عملية FSC يتم إنشاء قوة صاعدة عن طريق تدوير أداة ملولبة ذات سن يميني باتجاه عقارب الساعة (أو أداة ملولبة ذات سن يساري عكس اتجاه عقارب الساعة). يتم تشكيل قناة بسبب فصل المادة اللدنة حول النتوء مع المادة اللدنة أسفل قاعدة النتوء.

تتحرك المادة حول النتوء للأعلى بسبب دوران النتوء واتجاه السن، ويتم ترسيبها على الجزء العلوي من الكتلة الصلبة تحت سطح الكتف. يؤدي الخلوص بين الكتف وقطعة العمل إلى تعزيز تكوين عيب "الثقب الدودي". نظراً لحقيقة أن هذا العيب حدث بسبب سوء ملامسة الكتف، وبالتالي يعد هذا الخلوص ضرورياً لتشكيل القناة.

هناك جانب آخر من FSC والذي عزز تشكيل القناة وهو المساعدة في الدوران في الاتجاه المعاكس لتلك التي يتم إجراؤها في FSW كل هذه العوامل مكنت من إنتاج قناة مستمرة بأي حجم أو عمق أو مسار ضمن حدود أداة FSC وبالتالي يمكن التحكم في شكل وحجم القناة من خلال تغيير البارامترات التالية [4]:

- الخلوص بين قطعة العمل وكتف الأداة.
- سرعة دوران الأداة
- سرعة تقدم الأداة
- تصميم الأداة.



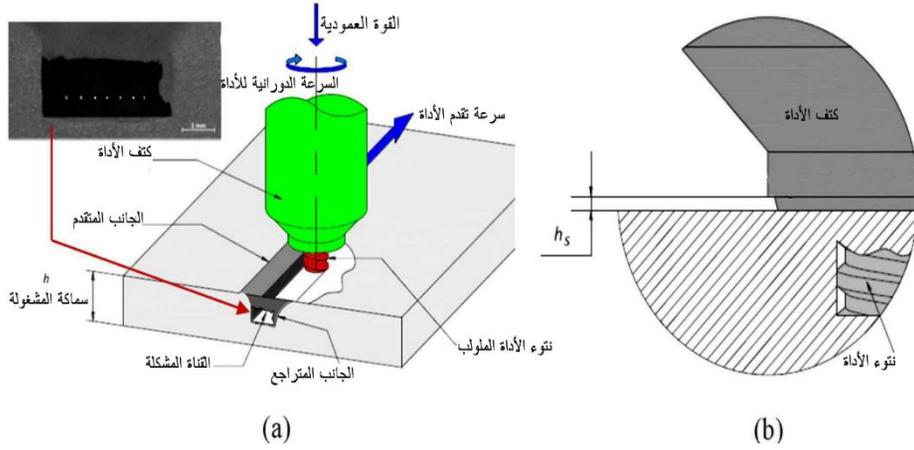
الشكل (3): مبدأ عملية تشكيل مبدأ عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي مع وجود خلوص ما بين الكتف والمشغولة [4].

2- تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي من دون خلوص بين الكتف والمشغولة:

اخترع كل من (C. Vidal) و (P. Vilaça) طريقة تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي من دون خلوص بين الكتف والمشغولة [3]، حيث يمكن الحصول على القناة المخصصة بحجم أكبر وتحكم أفضل في الشكل، مقارنة بمتغيرات عملية FSC مع وجود خلوص.

في هذه العملية يتم إدخال أداة مصممة خصيصاً تتكون من نتوء ملولب وكتف. أثناء عملية FSC، يكون الكتف الذي تم تمريره في الجهة العلوية لسطح قطعة العمل في اتصال دائم ويقوم بالضغط على سطح قطعة العمل. يمكن أن تنتج القناة التي تم تصنيعها بواسطة FSC زوائد على أطراف وسطح مسار القناة الخارجي، ويعود ذلك إلى المواد المستخرجة من قطعة العمل لإنتاج القناة، حيث يتم إزالته بالكامل من المنطقة التي يمر فيها نتوء الأداة، وهناك ضغط دائم يطبق من الكتف [3].

في عملية FSC مع وجود خلوص، لا يمكن إنتاج قنوات كبيرة الحجم، لأن هناك حاجة لزيادة الخلوص بين قطعة العمل والكتف لتلقي هذا الحجم الأكبر من المواد المستخرجة، وليس من الممكن استخدام ضغط منخفض لإغلاق القناة على طول المسار الكامل مع زيادة الخلوص. في عملية FSC بدون خلوص، تتيح القنوات المخصصة الأكبر تطبيقات جديدة لعملية FSC [3].



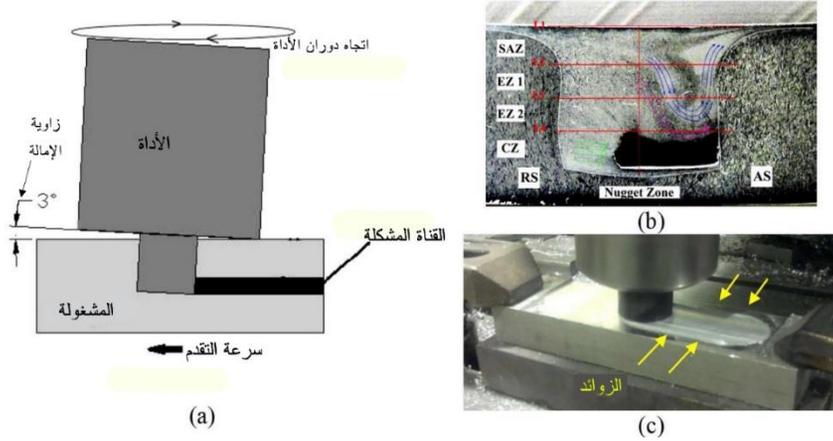
الشكل (4): مبدأ عملية FSC من دون وجود خلوص، (a) توصيف العملية، (b) ميزة مضافة لكتف الأداة لتحسين التلامس مع المشغولة [3].

3- تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي مع زاوية إمالة للأداة:

تم اختبار عملية FSC بزاوية الإمالة (Tilt angle) بواسطة (A. Rashidi) [3]، حيث تتكون الأداة من نتوء أسطواني أو مخروطي والذي يصنع تلامساً من جانب الحافة الخلفية للكتف بقطعة العمل باستخدام زاوية إمالة أعلى للأداة بحدود (2 - 3) درجات. إن مبدأ هذه الطريقة سمي أيضاً بتشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي المعدّل، ولكن في

الواقع لا يوجد تعديل في مبدأ العملية، ولكنه استخدام لأحد أساليب اللحام بالمزج الاحتكاكي وإدخالها كطريقة جديدة في عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي [3].

في هذه الطريقة يؤدي وجود زاوية الإمالة إلى تجميع المواد في الخلوص ما بين قطعة عمل والكتف التي تُركت فارغة بزاوية الميل. كما تؤدي زاوية الميل العالية إلى انعكاس تدفق المواد العمودي نحو اتجاه الكتف من المنطقة المعالجة، والتي بدورها تشكل القناة.



الشكل (5): (a) مبدأ عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي بإمالة الأداة، (b) سمات منطقة تشكيل القناة، (c) التطبيق العملي للطريقة [3].

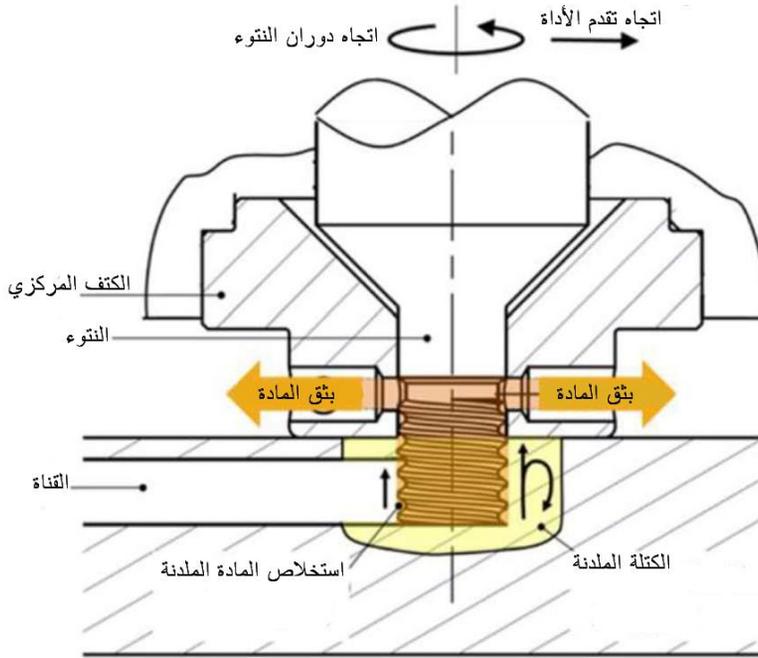
4- تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي بالكتف المركزي:

تم اختراع طريقة تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي بالكتف المركزي (Stationary Shoulder Friction Stir Channeling SSFSC) من قبل (J. Gandra)، حيث يتم استخراج المادة اللزجة الملدنة من منطقة المزج الاحتكاكي من خلال الأسنان الموجودة على نتوء الأداة وإخضاعها للخروج من المنطقة المعالجة عبر الممر الداخلي للكتف الثابت [3].

إن شكل المقطع للممر الداخلي داخل الكتف الثابت دائري، حيث يحول المواد المستخرجة على شكل سلك يمكن استخدامه لأي غرض آخر. في طريقة SSFSC، يدور النتوء فقط لتحريك المادة المدونة من داخل قطعة العمل، بينما يتلامس الكتف مع السطح العلوي لقطعة العمل ويظل ثابتاً.

نظراً لأن الكتف ثابت، فإنه يوفر مدخلات حرارة أفضل مقارنةً بـ FSC والذي يكون فيه الكتف الدوار التقليدي. في طريقة SSFSC، يتم توليد الحرارة في الغالب داخل منطقة المزج من التفاعل بين نتوء الأداة والمشغولة، حيث أن التشوه اللدن للمادة يسبب سلوكاً لزوجاً لئناً حول النتوء، مما يتيح تدفق المواد نحو منطقة الخروج بين النتوء والكتف، أو من خلال الكتف الثابت.

إلى جانب ذلك، يساهم الكتف الثابت بشكل أقل في توليد الحرارة، ولكنه مسؤول بشكل أساسي عن تشكيل الحرارة على السطح العلوي لقطعة العمل. تعطي عملية SSFSC مزايا تحسين وإنهاء للسطح وتقليل الحد الأدنى من تشوهات السطح وتقليل مدخلات حرارة. تزيل عملية SSFSC عيوب طريقة FSC مع وجود خلوص، مثل تأثير سماكة المشغولة، وحجم القناة الأكبر الذي يمكن الحصول في طريقة SSFSC، إلى جانب مزايا التكرارية العالية، وتحسين إنهاء السطح [3].



الشكل (6): مبدأ عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي بالكتف المركزي [3].

هدف البحث: يهدف هذا البحث إلى التعريف بتقنية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي، والتي تعتبر تقنية حديثة، وذلك من خلال دراسة خصائص القناة المصنعة بهذه التقنية بالاعتماد على إجراء عمل تجريبي على سبيكة ألومنيوم (Al 443.0)، ومقارنة خصائص هذه القناة التي تم إنتاجها بتقنية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي مع الطرق التقليدية مثل التنقيب والتفريز والتشغيل بالتفريغ الكهربائي من خلال إجراء تحليل نقاط القوة والضعف والفرص والتحديات (SWOT).

مواد وطرق البحث:

أولاً: آلة التشكيل

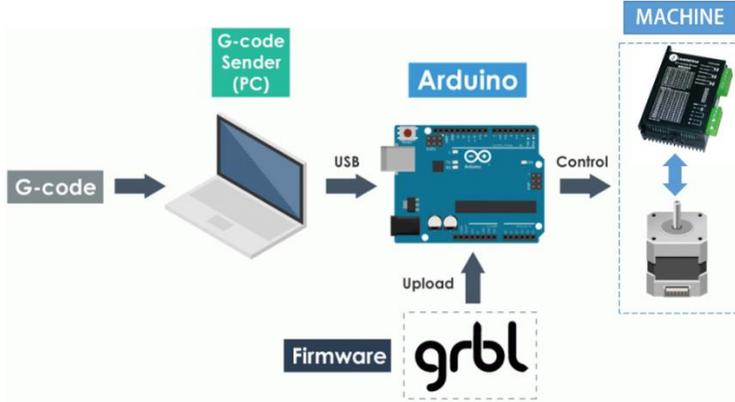
إن الآلة التي تم اختيارها لإجراء العمل التجريبي هي عبارة عن منقّب شجري (Pillar Drill) من الشركة المصنعة التايوانية والمعروفة باسم (K & K JIH GWO) من الطراز (K-1316F). وقد تم تزويد هذه الآلة بطاولة عمل لتأمين الحركة الخطية بالسرعة المطلوبة لعملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي من خلال محرك خطوي.



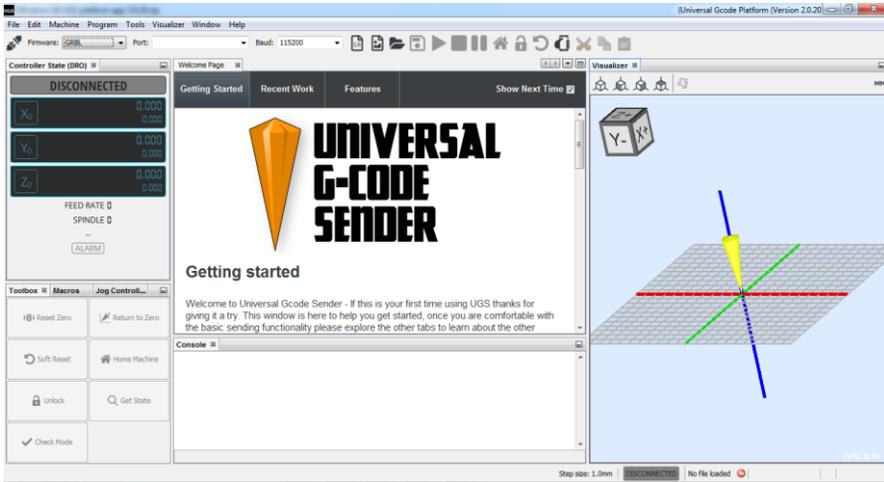
الشكل (7): الآلية الخاصة بتشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي

ويتم التحكم في الآلة من خلال منظومة تحكم مزودة بشريحة تطوير (Arduino MEGA 2560) ومبرمجة من خلال برمجية مفتوحة المصدر تعرف باسم (GRBL G-code Reference Block Library) حيث يستخدم (GRBL) الـ G-code كمدخل له بحيث يكون الخرج عبارة عن أوامر التحكم بالحركة. علماً أن برمجية

(GRBL) تعلم الأردوينو كيفية قراءة G-code والتحكم بالآلة من خلاله، أما الواجهة البرمجية لإرسال الـ G-code الذي يخبر الأردوينو عما يجب فعله، فهي برنامج مفتوح المصدر (UGS Universal G-code sender Platform 2.0).



الشكل (8): مخطط برمجة منظومة تحكم الآلة



الشكل (9): واجهة برنامج (UGS Universal G-code sender Platform 2.0)

ثانياً: المواد الخام والعينات

إن المادة المستخدمة في هذا البحث للعينات هي سبيكة ألومنيوم (Al 443.0)، تم التحقق من التركيب الكيميائي لهذه السبيكة باستخدام جهاز التحليل الطيفي (Spectro Analytical Instrument)، حيث تم الحصول على نتائج التحليل وهي مطابقة لمعايير (ASTM - B209M).



الشكل (10): جهاز التحليل الطيفي واختبار السبيكة (Al 443.0) لتحديد تركيبها الكيميائي

الجدول (1): نتائج اختبار التحليل الطيفي لسبيكة (Al 443.0)

Mg	Mn	Cu	Fe	Si	العنصر
0.2062	0.1412	< 0.001	0.694	6.95	النسبة %
Ca	Bi	Be	Ag	Ti	العنصر
0.0092	< 0.001	0.0001	0.0030	0.0246	النسبة %
Sn	Pb	Cr	Ni	Zn	العنصر
0.0621	0.2237	0.0125	0.2036	4.475	النسبة %
-	Al	V	Sb	P	العنصر
-	86.96	0.005	0.0113	< 0.001	النسبة %

العينة هي عبارة عن صفيحة مربعة الشكل بأبعاد (100 × 100 × 5 mm)، وتم قص المادة الخام باستخدام مقص العينات على البارد (METKON ROBOCUT -M) إلى قطع صغيرة لصهرها في داخل الفرن باستخدام البوتقة، ومن ثم صبها ضمن قوالب رملية للحصول على العينات.



الشكل (11): قص سبيكة الألمنيوم المصبوبة (Al 443.0)



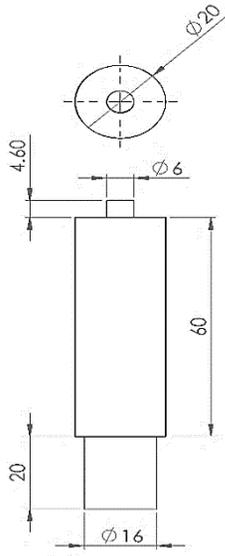
الشكل (12): الفرن الكهربائي (CARBOLITE) المستخدم لصهر سبيكة الألمنيوم وصبها

ثالثاً: أداة التشكيل

إن الأداة المستخدمة هي أداة تشكيل ثابتة تتألف من قطعة واحدة تشتمل على الكتف ومنتوء الغرز، حيث يمكن لهذه الأداة العمل في المشغولات ذات السماكة الثابتة وذلك بسبب طول منتوء الغرز الثابت. وقد تم تصنيع أداة التشكيل من قضيب فولاذ سرعات قطع عالية (HSS High Speed Steel)، وهو نوع من أنواع فولاذ العدة السبائكي، وذلك من السبيكة (AISI HSS T1) وهي سبيكة فولاذ العدة للسرعات العالية القائمة على إضافة رئيسية من التنجستن، تحتوي على مزيج من أكثر من (3.0%) كروم، و(17.65%) تنغستين و(1.30%) فناديوم، وأكثر من (0.65%) كربون.

الجدول (2): مواصفات أداة التشكيل

أسطوانة غير مسنن	شكل المنتوء	أسطوانة	حامل الأداة
4.6 mm	طول المنتوء	أسطوانة	الشكل الخارجي للكتف
6.0 mm	قطر المنتوء	مسطح من دون سمات	شكل سطح الكتف



الشكل (13): أبعاد وتصميم وتنفيذ أداة التشكيل

رابعاً: الإجراء التجريبي

تم تثبيت العينة على طاولة العمل التي تؤمن حركة خطية لإنجاز عملية تشكيل القناة بمقدار تغذية طولية (30 mm/min) وسرعة دوران للأداة (1225 rpm). أما الأداة فقد تم تثبيتها برأس المنقب بواسطة حامل الأداة (جوزة المنقب).

يتم تثبيت قطعة العمل باستخدام ملزمة التثبيت بإحكام، وذلك ليتم تأمين قمت مناسب للقطعة بحيث تحافظ على وضعها خلال عملية التشكيل لأنها تتعرض لقوة ضغط ناتجة من أداة التشكيل والتشوهات اللدنة التي تتم خلال عملية التشكيل.

نشغل المنقب وفق سرعة الدوران المطلوبة، وبعدها نحقق التلامس بين رأس الأداة وسطح قطعة العمل في بدايتها، وتبدأ الأداة بالتغلغل تدريجياً حتى نحقق التلامس ما بين كتف الأداة وسطح قطعة العمل.

بعدها يتم تأمين حركة تغذية آلية، ويظهر شوط العملية ويتم تشكيل القناة الداخلية، وتستمر حركة التغذية حتى نهاية قطعة العمل. عند الوصول لنهاية الشوط يتم إيقاف حركة التغذية أولاً ثم سحب الأداة تدريجياً.



الشكل (14): تقدم الأداة في المشغولة لإنجاز عملية التشكيل



الشكل (15): العينة بعد إنجاز عملية التشكيل

النتائج ومناقشتها:

بعد الحصول على العينة قمنا بقصها للحصول على مقطع عرضي فيها لتحديد الخصائص والشكل الهندسي للقناة المشكلة، ومن ثم شحذ هذا السطح وتعيمه باستخدام ورق شحذ بعدة مستويات نعومة (P 400, 600, 1000, 1200, 2000)، ومن ثم تلميع السطح باستخدام معجون ألماسي ($0.2 \mu\text{m}$) على لبادة تلميع، وذلك على آلة الشحذ والتلميع (Buehler METASERV 2000)، وتتميش السطح باستخدام كاشف كيلر (Keller) ($2.5\text{ml HNO}_3 + 1.5 \text{ ml HCl} + 1\text{ml HF} + 95 \text{ ml Water}$) وذلك لتوضيح البنية الماكروية للمقطع العرضي للعينة والقناة المشكلة فيه.



الشكل (16): مقطع عرضي في العينة

إن شكل مقطع القناة التي تم الحصول عليها من FSC أقرب إلى شكل مستطيل أو شبه منحرف أبعاده (3.7×1.9 mm). عادةً ما يختلف شكل وأبعاد القناة بشكل غير خطي مع بارامترات العملية (سرعة الدوران والتغذية) حيث تنقلص مساحة القناة مع انخفاض سرعة دوران الأداة وتزداد المساحة بازدياد سرعة الدوران نفسها مع زيادة التغذية.

كما أن التركيبة الصحيحة ما بين اتجاه دوران الأداة وهندسة تصميم النتوء وسمات الكتف يعطي أفضل نتائج لشكل القناة، أي يمكن التحكم في خصائص القنوات التي يتم إنتاجها باستخدام FSC عن طريق تحديد بارامترات العملية وهندسة تصميم الأداة. يمكن فهم إنتاج القناة بطريقة FSC بشكل كامل من خلال تحليل مناطق المقطع العرضي للقناة، حيث تنقسم منطقة المزج الاحتكاكي في عملية FSC إلى ما يلي:

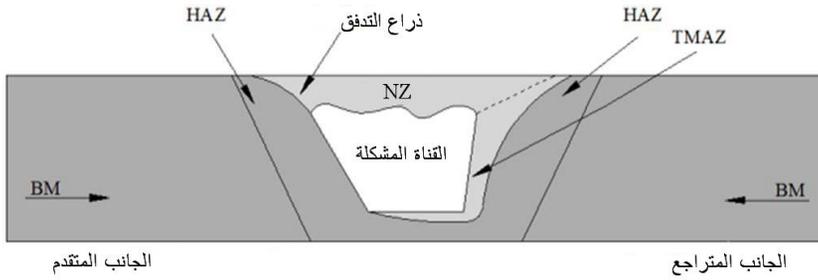
(1) منطقة المواد غير المتأثرة (Base metal BM): وهي منطقة المادة التي لم يتم تشويهها على الرغم من أنها قد تكون قد شهدت دورة حرارية، إلا أنها لا تتأثر بالحرارة من حيث البنية المجهرية أو الخواص الميكانيكية.

(2) المنطقة المتأثرة بالحرارة (High affected zone HAZ): في هذه المنطقة والتي تقع بالقرب من مركز المسار شهدت المادة دورة حرارية عدلت البنية المجهرية و/أو الخواص الميكانيكية، ومع ذلك لا يوجد تشوه لدن كالذي يحدث في مجال المنطقة الحرارية المتأثرة ميكانيكياً.

(3) المنطقة الحرارية المتأثرة ميكانيكياً (Thermo –mechanical affected zone) (TMAZ): في هذه المنطقة تسببت أداة التشكيل في تشويه المادة بشكل ثابت وستكون في هذه المنطقة للحرارة الناتجة عن العملية بعض التأثير على المادة. فمثلاً في حالة الألمنيوم يمكن الحصول على تشوهات لدنة كبيرة دون إعادة التبلور في هذه المنطقة،

وهناك عموماً حدود مميزة بين المنطقة المعاد تبلورها (الكتلة الصلبة) والمناطق المشوهة في (TMAZ).

(4) الكتلة الصلبة (Nugget zone NZ): وتشير إلى المنطقة التي تمت إعادة تبلورها بالكامل والتي تسمى أحياناً منطقة المزج وهي المنطقة التي كان يشغلها من قبل نتوء غرز الأداة، وهي المنطقة التي تتشكل فيها القناة.



الشكل (17): سمات بنية منطقة المزج الاحتكاكي في عملية FSC

كما تبين في التجربة فإن عملية تشكيل القنوات بالمزج الاحتكاكي هي تقنية مبتكرة لديها إمكانيات عالية ليتم تقديمها في مختلف الصناعات على الرغم من وجود العديد من التقنيات التقليدية، ومع ذلك تتمتع FSC ببعض المزايا مقارنةً مع هذه التقنيات، لذلك من الضروري التعرف على التقنيات المقابلة لعملية FSC. إن التقنيات الحالية القادرة على إنتاج القنوات الداخلية المستمرة هي ثلاث تقنيات رئيسية:

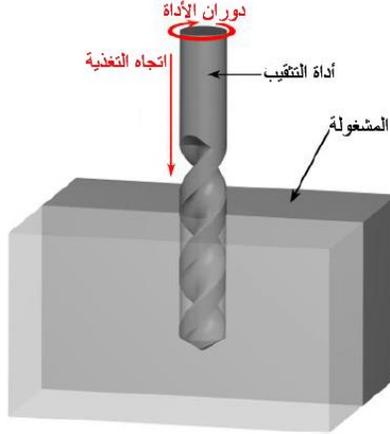
(1) التنقيب (Drilling).

(2) التشغيل بالتفريغ الكهربائي (Electrical Discharge Machining EDM).

(3) التفريز (Milling).

كل واحدة من هذه التقنيات لها مزاياها وعيوبها ولكن جميعها يمكن أن تشكل منافساً لـ FSC لذلك يجب أخذها في عين الاعتبار، لذلك تم إجراء تحليل (SWOT) والذي يعتبر أداة استراتيجية لتقييم نقاط القوة (Strength) والضعف (Weakness) والفرص (Opportunities) والتهديدات (Threats) التي تساعد في تحديد العوامل الداخلية والخارجية التي تؤثر على الأداة ونجاح عملية FSC مقارنة بالتقنيات التقليدية.

إن التنقيب هو التكنولوجيا الرئيسية الأولى لتشكيل القنوات الداخلية في الكتل الصلبة، حيث يشكل التنقيب حوالي 40% من جميع عمليات قطع المعادن. إن التطبيقات التي تتضمن حفر عدد كبير من الثقوب تشمل العديد من الصناعات. يمكن تلخيص مبدأ التنقيب العميق على أنه عملية تشغيل تعتمد على ضبط سرعة القطع العالية وتغذية الأداة بشكل صحيح مما يؤدي إلى معدل إزالة كبير نسبياً للمواد [3].



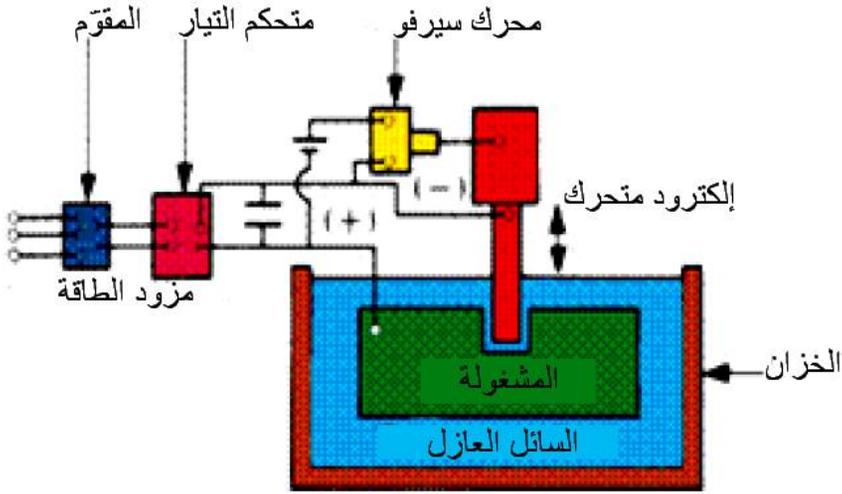
الشكل (18): مبدأ عملية التنقيب [3]

أمور معطلة لتحقيق الأهداف		أمور مساعدة لتحقيق الأهداف		SWOT ANALYSIS
<h3>نقاط ضعف</h3> <ul style="list-style-type: none"> - انعدام المعرفة التقنية الكافية بـ FSC - إنهاء سطحي خشن جداً للقناة الداخلية والسطح المشكل. 		<h3>نقاط قوة</h3> <ul style="list-style-type: none"> - زيادة الإنتاجية، حيث يمكن أن ينتج FSC مكونات أفضل (أعلى جودة) مع إنتاجية أعلى. - التبريد المطابق (Conformal Cooling)، مما يعطي إمكانية التبريد باستخدام قنوات بمسارات معقدة. 		داخلية
<h3>مخاطر</h3> <ul style="list-style-type: none"> - لا يمكن أن تبدأ القنوات وتنتهي في نفس الموضع. - فتح حفرة في نهاية مسار القناة - مجموعة المواد المستخدمة هي غير الحديدية فقط بسبب القدرات المحدودة للتقنية. - لا يمكن للقنوات الوصول إلى أعماق كبيرة في داخل الصفائح والبلاطات. 		<h3>فرص</h3> <ul style="list-style-type: none"> - يمكن أن يكون للقنوات أي مسار، وهذا ما يعطي أفضلية أكبر في مجال التبريد المطابق. - إمكانية تعديل أبعاد القناة على طول مسارها. - معدل نقل الطاقة الحرارية أكبر للقناة الداخلية بسبب شكل المقطع العرضي. (الشكل الرباعي مقابل الدائرة) وخشونته العالية. 		خارجية

الشكل (19): تحليل (SWOT) لعملية التثقيب و FSC

ظهرت تقنية التشغيل بالتفريغ الكهربائي (Electrical Discharge Machining EDM) عندما يجب حفر الثقوب في الأسطح المنحنية أو الزوايا، حيث تنشأ صعوبات كبيرة مع تقنيات الحفر التقليدية. يعتمد مبدأ العملية على استخدام قطب كهربائي أنبوبي دقيق (نحاسي بشكل عام) مركب في ظرف الحفر الموجود على المحور "Z" ويتم تثبيته في مكان أعلى قطعة العمل بواسطة دليل.

ثم يتم تشغيل دوران القطب الكهربائي ويتم إرسال محلول الماء منزوع الأيونات (النقي) والذي يتم ضغطه بين 50 و 100 كجم/سم² عبر القطب الأنثوي كعامل تنظيف. يتم تعيين بارامترات مصدر الطاقة مثل وقت التشغيل ومن ثم يتم تشغيل التفريغ لبدء دورة الحفر، وفي نهاية دورة الحفر يتم إيقاف تشغيل التفريغ ويتم سحب المحور "Z" من فوق قطعة العمل.



الشكل (20): مبدأ عملية التشغيل بالتفريغ الكهربائي [4]

إن الفرق الرئيسي بين FSC و EDM هو تكاليف الإنتاج. يمكن لكل من FSC و EDM إنتاج قنوات داخلية بأي مسار مرغوب فيه، ما عدا الارتفاع الكبير في تكاليف الإنتاج والحاجة إلى استخدام مبرد لتقنية EDM هي عيوب مقارنة بـ FSC في حالة التطبيقات الصناعية مثل إنتاج قنوات التبريد المطابق للقوالب أو تصنيع المبادلات الحرارية، حيث يمكن لـ FSC إنتاج قنوات داخلية في كتلة صلبة بتكاليف أقل ومن دون استخدام سوائل تبريد.

أما بالنسبة للمقارنة ما بين FSC والتفريز، فإنه يتمثل الاختلاف الرئيسي بين FSC والتفريز في أن FSC يمكن أن ينتج قنوات داخلية ويمكن للتفريز فقط تصنيع القنوات المفتوحة. في حالة التطبيقات الصناعية مثل إنتاج القوالب أو المبادلات الحرارية يمكن لـ FSC إنتاج قنوات داخلية في كتلة صلبة في دورة واحدة. من ناحية أخرى يخلق التفريز قنوات مفتوحة فقط، ولإنتاج قنوات داخلية للقوالب والمبادلات الحرارية التي يحتاجها لإنتاج القنوات في مرحلتين (خطوتين) في قطعتين مختلفتين ثم بعد ذلك يتم ربط القطعتين مع بعضهما البعض.

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد تحليل مزايا وعيوب التقنيات التقليدية الثلاثة المختلفة المشار إليها في هذا البحث ومقارنتها مع FSC تم تحديد الاستنتاجات التالية متابعة للتحليل باستخدام (SWOT) للتقنيات التقليدية التي تم دراستها في هذا البحث:

(1) للتقنية تكاليف إنتاج أقل وإنتاجية أعلى من FSC لكن القدرة على تصنيع قنوات داخلية بأي مسار مرغوب فيه تلغي هذه العيوب.

(2) تقنية EDM هي تقنية عالية الدقة مقارنة بـ FSC لكن بتكاليف إنتاج عالية.

(3) يمتلك التفريز القدرة على إنتاج قنوات بأي مسار مرغوب فيه ومع ذلك فإن القنوات ليست داخلية، بمعنى آخر مفتوحة على السطح المشغل والذي يختلف عن أهلية FSC لتصنيع القنوات الداخلية بأي مسار مرغوب فيه.

(4) تقوم FSC بتصنيع القنوات الداخلية ذات المقطع العرضي المستطيل أو شبه المنحرف والذي يمنح تدفقاً أفضل من القنوات الداخلية ذات المقاطع العرضية الدائرية.

(5) إن عدم التحكم في خشونة السطح لبعض جدران قنوات FSC يمكن أن يسبب ضغطاً كبيراً وانخفاضاً في درجة الحرارة على طول تدفق القناة.

(6) بشكل عام تجد FSC حلاً وسطاً بين نقاط القوة والضعف في التقنيات المختلفة وتقدم حلاً لا توفرها أي تقنية أخرى في الصناعة مع استثناء طفيف لخشونة سطح القناة.

المراجع:

- [1] G. K. Padhy, C. S. Wu and S. Gao, "Friction stir based welding and processing technologies - processes, parameters, microstructures and applications: A review," *Journal of Materials Science & Technology*, no. 34, pp. 1-38, 15 November 2017.
- [2] P. Vilaça, J. Gandra and V. Catarina, "Linear Friction Based Processing Technologies for Aluminum Alloys: Surfacing, Stir Welding and Stir Channeling," in *Aluminium Alloys - New Trends in Fabrication and Applications*, INTECH, 2013, pp. 160-197.
- [3] K. P. Mehta and P. Vilaça, A review on friction stir-based channeling, *Solid State and Materials Sciences*, 28 Feb 2021.
- [4] M. F. S. Ferraz, Friction Stir Channeling Industrial Applications Prototype Design and Production, Universidade Tecnica de Lisboa: INSTITUTO SUPERIOR TECNICO, 15 May 2012.

تحسين جودة الطاقة الكهربائية في شبكات التوزيع باستخدام مرمم الجهد الديناميكي المتصل مع نظام كهروضوئي

الباحث: د.م. علاء ديوب ، دكتوراه في هندسة نظم القدرة الكهربائية

كلية الهندسة - جامعة تشرين

الملخص

يؤدي استخدام مرمم الجهد الديناميكي، الذي يعتمد على النظام الكهروضوئي إلى تحسين موثوقية الشبكة التي يعمل فيها، حيث يعتبر أحد أهم حلول جودة الطاقة وأكثرها انتشاراً. يعتبر معدل عرض النبضة المستخدم في مبدلة جهد المصدر هو جوهر عمل مرمم الجهد الديناميكي في تعويض التخلي والانفخ الذي يتعرض له جهد التغذية. في هذه الدراسة، تم تحليل أداء DVR في بيئة Matlab / Simulink، حيث تم تطوير طريقة التحكم في مرمم الجهد الديناميكي باستخدام نظرية الإطار المرجعي المتزامن لتكون قادرة على تعويض الجهد بشكل أفضل، حيث تكون عملية التعويض إما عن طريق حقن الاستطاعة الفعلية والرديئة أو امتصاصها بين نقطة الاقتران المشترك و الحمل الحساس. النتائج المعروضة في هذا البحث تثبت الأداء الممتاز لخوارزمية التحكم المقترحة في كل من حالة الاستقرار وظروف الاضطراب.

الكلمات المفتاحية: مرمم الجهد الديناميكي، تخلي الجهد، انفخ الجهد، جهاز التعويض التسلسلي.

Abstract

The use of a dynamic voltage restorer, which is based on the photovoltaic system, improves the reliability of the network in which it operates, as it is considered one of the most important and widespread power quality solutions. The pulse width rate used in the source voltage switch is the core of the dynamic voltage restorer's work in compensating for the droop and swell experienced by the supply voltage. In this study, the performance of DVR was analyzed in Matlab/Simulink environment, where a dynamic voltage restorer control method was developed using synchronous reference frame theory to be able to better compensate the voltage, where the compensation process is either by injecting the actual and reactive power or absorbing it between Common coupling point and sensitive load. The results presented in this paper demonstrate the excellent performance of the proposed control algorithm in both steady state and turbulence conditions.

Keywords: Dynamic Voltage Regulator, Voltage Sag, Voltage Swell, Series Compensating Device.

1- المقدمة

في الوقت الحالي، هناك اهتمام متزايد بالطاقة النظيفة، لما تتمتاز به أنها صديقة للبيئة وأكثر فاعلية، مما حفز الباحثين على العمل بفعالية من أجل العمل الجاد لإيجاد بدائل للطاقة التي تعتمد على الوقود الأحفوري في أنظمة توليد الطاقة. ومن أهم هذه البدائل مصادر الطاقة المتجددة، والتي تعتبر في أنظمة توزيع الطاقة على أنها أدوات توليد موزع [1]. كما زاد استخدام الأنظمة الكهروضوئية في أنظمة التوزيع ذات الجهد المنخفض، وهو نوع من التوليد الموزع حيث يزداد استخدامه سنوياً بمعدل 60%. سوف يقابل الحقن الكبير للطاقة المتولدة من هذه الأنظمة الكهروضوئية زيادة في الجهد، خاصة خلال فترات انخفاض الطلب على الطاقة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الزيادة الملحوظة في استخدام الأحمال غير الخطية من قبل المستخدمين تقابلها زيادة كبيرة في مشاكل أنظمة التوزيع. في الوقت الحاضر، تعد جودة الطاقة من أهم الاهتمامات الحديثة للباحثين في هذا المجال من أجل حماية الأحمال الحساسة المستخدمة على نطاق واسع في المراكز الطبية والصناعية وتتكون هذه الأحمال في هيكليها من الأجهزة الإلكترونية، والتي تعتبر من المعدات المتطورة والحساسة [2]. تشير الدراسات الحديثة إلى أن 92% من الانقطاعات في المنشآت الصناعية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتدلي الجهد. تأثير التدلي والانتفاخ على الأجهزة الإلكترونية في حال حدوثه كبير جداً على جودة الطاقة حيث يصل معدل تلف هذه المعدات إلى 60% من التكلفة الأولية لهذه المعدات وهو أمر خطير. تعد مشكلة التدلي والانتفاخ من أخطر مشاكل جودة الطاقة بالنسبة للمعدات، ووحل هذه المشكلة يلعب دوراً مهماً بمسألة استقرار الجهد. يُعرّف تدلي الجهد وفقاً لمعايير IEEE على أنه انخفاض في القيمة الفعلية للجهد من 10% إلى 90% من القيمة الاسمية للجهد لفترة تتراوح من نصف دورة إلى دقيقة [3]-[4].

مع زيادة تغلغل الأحمال الحساسة وغير الخطية، ازدادت المشكلات المتعلقة بجودة الطاقة في نظام التوزيع الحديث بشكل ملحوظ [5] ، وأيضاً نظام التوزيع الذي يحتوي على مصادر الطاقة المتجددة يجب زيادة وظائف النظام كهروضوئي للتخفيف من مشاكل جودة الطاقة. يعتبر مرمم الجهد الديناميكي من أكثر الحلول الواعدة لمشاكل جودة الطاقة، حيث يتم توصيله على التسلسل بين مصدر الجهد والحمل الحساس عبر محولة الحقن. في هذه الدراسة، تم تصميم DVR حيث يتم تغذية وصلة التيار المستمر DC-Link من خلال نظام كهروضوئي ويتم التحكم بها لزيادة فعالية وظائف DVR لتقليل تدلي الجهد وانتفاخه. اعتماداً على وحدة التحكم PI والجهد التعويضي المحقون من خلال محول الحقن، سيعوض DVR التدلي والانتفاخ بمعدل تصحيح يصل إلى $\pm 30\%$ عند حدوث اضطراب في جهد المصدر بحيث يظل جهد الحمل ثابتاً دون أن يتأثر عن طريق دراسة الاضطراب للجهد في الشبكة.

2- هدف البحث

يهدف البحث الى تحسين جودة الطاقة الكهربائية لشبكة توزيع تغذي حمل حساس من خلال استخدام مرمم الجهد الديناميكي DVR المتصل مع نظام كهروضوئي ذو حساسية عالية واستجابة ديناميكية سريعة بالإضافة الى دراسة النتائج التي يحققها استخدام DVR في تخفيف تدلي الجهد وانتفاخ الجهد الذي يتعرض له الحمل الحساس.

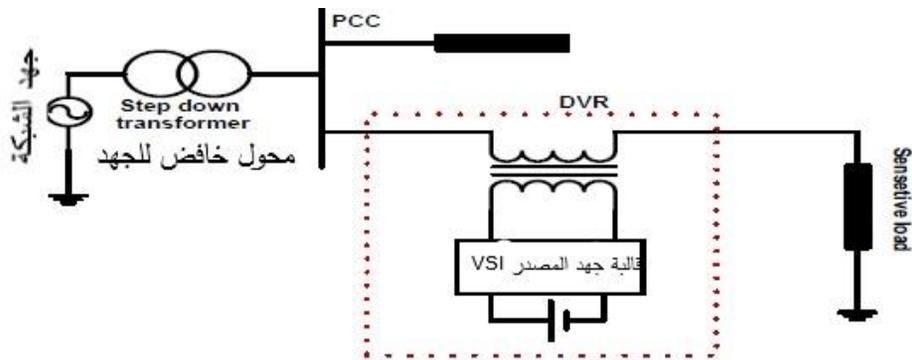
3- مواد وطرق البحث

تعتمد الدراسة على النمذجة وذلك من خلال نموذج يحاكي استخدام جهاز مرمم الجهد الديناميكي يعتمد في تغذيته على نظام كهروضوئي يتصل مرمم الجهد مع شبكة توزيع كهربائية تغذي حمل حساس وذلك من أجل دراسة اضطرابات الجهد التي يتعرض لها

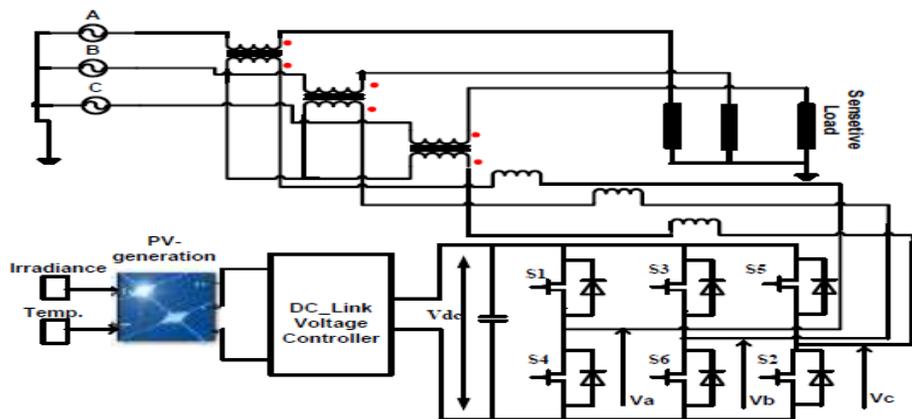
الحمل الحساس، بما يجعل النموذج مؤهلاً بما فيه الكفاية لتقييم أداء مرمم الجهد الديناميكي في تحسين جودة الطاقة عند ظروف تدلي الجهد وانتفاخ الجهد

3-1- وصف دائرة تغذية الطاقة وموقع DVR في الشبكة

من خلال الشكل 1 ، نجد أن جهاز DVR يقع بين نقطة الاقتران المشترك والحمل الحساس ، تتكون دائرة التغذية الخاصة بعمل DVR من: محول حقن ، وجهاز تخزين للطاقة ، ومرشح تمرير منخفض، وقالبية مصدر الجهد. في الشكل 2 نجد النظام المدروس، حيث نجد من خلال هذا الشكل أن وصلة التيار المستمر المتحكم بها والتي يتم تغذيتها من وحدة التوليد الكهروضوئية بحيث يوفر تغذية دائمة لقالبية مصدر الجهد خلال فترة التدلي والانتفاخ. تعتبر قالبية مصدر الجهد الموجودة في دائرة التغذية لجهاز DVR المكون الرئيسي والأكثر أهمية في DVR، حيث تتكون في دراستنا من ثلاثة أذرع، ويتم توصيل كل ذراع بمفتاحين إلكترونيين من نوع IGBT، والنقاط الوسطى من هذه الأذرع متصلة بشبكة التغذية من خلال محول حقن يحقق الجهد المناسب مع جهد مصدر التغذية أو يمتص الجهد منه. محول الحقن أو ما يسمى بمحول الرفع، بالإضافة إلى مهامه الأساسية المتمثلة في حقن الجهد أو امتصاصه، فإنه يوفر الحماية المناسبة للقالبية من خلال عملية الترشيح الغلفاني، وبالتالي فهو عنصر أساسي في نظام DVR الذي يعمل على معاكسة التشبع المغناطيسي والارتفاع الناتج في درجة حرارة المحول ويؤثر على قدرته على التنظيم [6]. كما أن وجود مرشح تمرير منخفض ضروري للغاية، حيث يعمل على تصفية الترددات العالية الناتجة عن إشارات الخرج الناتجة عن القالبية أثناء عملية التبديل في المفاتيح الإلكترونية الموجودة في القالبية وتحتوي على توافقيات عالية الترتيب. يعمل مرشح الترددات المنخفضة على ترشيحها ومنعها



الشكل (1) موقع DVR في الشبكة ودارة تغذيته



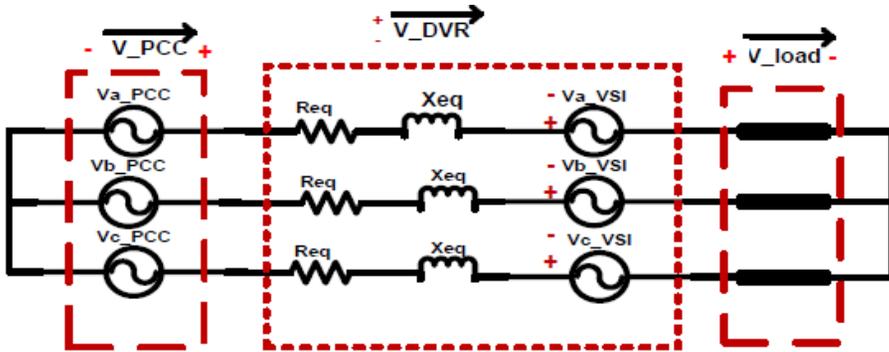
الشكل (2) مخطط دارة DVR مع نظام التغذية

3-2- نمذجة النظام المدروس في الإطار المرجعي المتزامن

تصنف محولات الطاقة DC-AC المتصلة بالشبكة إلى ثلاث فئات: محولات طاقة تغذية الشبكة، ومحولات طاقة لتكوين الشبكة، ومحولات طاقة لدعم الشبكة [7]. وفقا لهذه التصنيفات فإن قالبة جهد المصدر المستخدمة في نظام DVR هي من نوع محولات الطاقة الداعمة لشبكة التغذية، و يتم توصيلها على التفرع مع الشبكة وعندها تعمل

كمصدر تيار متردد متحكم به، أو يتم توصيلها على التسلسل مع الشبكة وعندها تعمل كمصدر جهد تيار متردد متحكم فيه. يتم تنظيم خرج محولات الطاقة سواء جهد أو تيار بشكل جيد بحيث يظل جهد وتردد الشبكة المتصلة بها مطابقاً للمواصفات القياسية التشغيلية المقابلة لتشغيل تلك الشبكة. في الشكل 3 نجد بنية مبسطة لدارة DVR المقترحة، حيث يمثل V_a-v_{si} , V_b-v_{si} , V_c-v_{si} قيمة جهد الخرج الناتج عن القالب، بينما يمثل V_{pcc} قيمة الجهد عند نقطة الاقتران المشتركة.

يتم تمثيل DVR بثلاثة عناصر هي المفاعلات الحثية التسلسلية المكافئة (X_{eq}) و المقاومة (R_{eq}) ومصدر الجهد المتردد. المفاعلات الحثية التسلسلية المكافئة تمثل بشكل رئيسي العناصر التفاعلية المكافئة في محول الحثن ومرشح التمرير، في حين أن المقاومات المكافئة تمثل الضياعات في DVR.



الشكل (3) نموذج الدارة المبسطة للنظام المقترح

نوع المحول المستخدم هو محول رافع للجهد يتصل الملف الأساسي له من جهة القالب، بينما الملف الثانوي للمحول متصل بالشبكة، ونسبة تحويل المحول هي 1:3.

نطبق قانون كيرشوف للجهد على الدائرة الموضحة في الشكل 3، ثم نحصل على المعادلة الأولى.

$$\overrightarrow{V_{PCC}} = \overrightarrow{V_{Load}} \pm \overrightarrow{V_{DVR}} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} V_{L-a} \\ V_{L-b} \\ V_{L-c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{PCC-a} \\ V_{PCC-b} \\ V_{PCC-c} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} I_{L-a} \\ I_{L-b} \\ I_{L-c} \end{pmatrix} ((\text{Req} + j(\text{Xeq})) \pm \begin{pmatrix} V_{a_{vsi}} \\ V_{b_{vsi}} \\ V_{c_{vsi}} \end{pmatrix}) \quad (2)$$

حيث

V_{pcc} : الجهد عند نقطة الاقتران المشترك

V_{DVR} : جهد DVR

V_{load} : جهد الحمل

V_{I_a} ، V_{I_b} ، V_{I_c} : جهد الحمل ثلاثي الطور.

V_{a_pcc} ، V_{b_pcc} ، V_{c_pcc} : جهد PCC ثلاثي الطور

I_{a} ، I_{b} ، I_{c} : تيار الحمل ثلاثي الطور

$\text{Req} + j\text{Xeq}$: الممانعة المكافئة لـ DVR

$V_{a_{vsi}}$ ، $V_{b_{vsi}}$ ، $V_{c_{vsi}}$: جهد القالبية ثلاثي الطور

يتبين من المعادلة 1 أن جهد الحمل يعتمد بشكل وثيق على جهد V_{PCC} وعلى جهد DVR المتحكم فيه. توضح المعادلة 2 عملية التعويض، حيث تتضمن هذه العملية

تعويض انخفاض الجهد الناتج عن دائرة DVR $((\text{Req} + j(\text{Xeq})) \begin{pmatrix} I_{L-a} \\ I_{L-b} \\ I_{L-c} \end{pmatrix})$ والقالبية

المستخدمة في دارة التحكم وبالتالي أي تغيير ملحوظ في جهد Vpcc سيتم تعويضه فوراً بواسطة جهاز DVR.

3-3- استراتيجية التحكم المقترحة

يتم حساب البارامترات المطلوب حسابها لكي تعمل دارة التحكم بدقة وفقاً لطريقة الإطار المرجعي المتزامن، حيث يتم استخدام تحويل كلارك لتحويل الجهود ثلاثية الطور من الإطار المرجعي الثابت ثلاثي الطور (abc) إلى الإطار المرجعي الثابت ثنائي الطور ($\alpha\beta$) وفقاً للمعادلة 3، ثم يتم استخدام تحويل بارك وفقاً للمعادلة 4 للتحويل من إطار المرجعي الثابت ثنائي الطور ($\alpha\beta$) إلى الإطار المرجعي الدوار (dq)

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

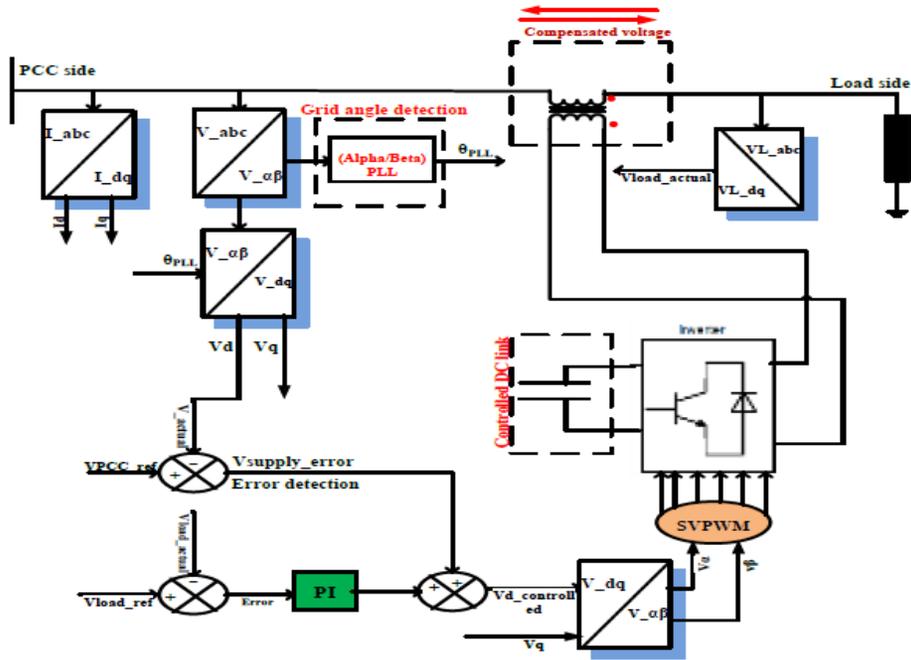
حيث أن

$C = 2/3$ هو ثابت جهد وتيار التحويل، و $C = \sqrt{2/3}$ ثابت تحويل الطاقة، و (θ) هي زاوية التحويل التي تمثل تموضع الشعاع.

اعتمدت استراتيجية التحكم المقترحة على الكشف السريع عن اضطرابات الجهد والكشف الدقيق لزاوية الشبكة، حيث تعتبر حلقة قفل الطور المغلقة جزءاً هاماً من نجاح نظام

التحكم، حيث تعمل هذه الطريقة على إنشاء إشارة مهمتها متابعة إشارة الاضطراب بدقة، بالإضافة إلى استخدامها الأساسي وهو الحفاظ على إشارة الخرج متزامنة مع إشارة الدخل من حيث الطور والتردد. تم في هذا البحث استخدام طريقة الإطار المرجعي الثابت ($\alpha\beta$ -PLL) والتي تم نمذجتها ومحاكاتها في بيئة MATLAB.

كما ذكرنا سابقاً فإن القالبية هي قلب هيكل جهاز DVR المستخدم، وبالتالي فإن طريقة التحكم فيها هي جوهر تشغيله السليم، حيث يقع عليها مهمة الحساب الدقيق للبارامترات وإعطاء قيم الخرج المناسبة، بالإضافة إلى التحقق من الاستجابة. في هذه الدراسة تم الاعتماد على التعديل عرض نبضة ال (SVPWM) للتحكم في نبضات التشغيل للمفاتيح الإلكترونية وبالتالي التحكم في خرج القالبية. بالنسبة للتشغيل الخطي لـ SVPWM، يتم الوصول إليه عندما يكون جهد التيار المستمر عند القيمة $(V_{dc}/\sqrt{3})$. كما هو موضح في الشكل 4 فإن نجاح نظام التحكم يعتمد بشكل أساسي على الحساب الدقيق لتدلي/انتفاخ الجهد بالإضافة إلى الحساب الدقيق لقيمة الجهد الذي سيتم إرساله إلى وحدة التحكم SVPWM، حسب هذا الشكل الذي يوضح آلية نظام التحكم المقترح، حيث يتم أولاً قياس القيمة اللحظية لجهد التغذية عند نقطة الاقتران المشتركة V_{pcc} وفقاً للإطار المرجعي الثابت ثلاثي الطور، ثم يتم تحويله إلى الإطار المرجعي الثابت ثنائي الطور ($\alpha\beta$) للحصول على زاوية الشبكة باستخدام حلقة قفل الطور ($\alpha\beta$ -PLL) ثم أخيراً يتم التحويل من الإطار المرجعي الثابت ($\alpha\beta$) إلى الإطار المرجعي الدوار dq باستخدام وحدة التحكم PI التي تعمل على تقليل الخطأ بين القيمة الفعلية وجهد الحمل المرجعي، عندما يبدأ حدوث تدلي أو انتفاخ في جهد النظام، فإن جهد التعويض المطلوب المحسوب من خلال حلقة التغذية الأمامية مطلوب للتحكم في الحلقة المغلقة.



الشكل (4) المخطط الصندوقي لخوارزمية التحكم المقترحة

4- نتائج النمذجة والمحاكاة

في بيئة Matlab/Simulink، تم نمذجة ومحاكاة مرمم الجهد الديناميكي DVR ثلاثي الطور وفق طريقة التحكم في الحلقة المغلقة المعتمدة على طريقة الإطار المرجعي المتزامن، حيث أن بارامترات النظام المدروس مذكورة في الجدول 1. وتم تطبيق اضطراب على جهد V_{PCC} ، وهذا الاضطراب هو التخلي بنسبة 30% بزمين يتراوح من $t=0.4s$ إلى $t=0.6s$ ، حيث ينخفض الجهد من قيمة 380V وهي القيمة الفعالة للخط، إلى قيمة 231V، ثم يحدث الانتفاخ بالجهد عند PCC بنسبة +30% من $t = 1s$ إلى $t = 1.2s$ ، وتتغير القيمة الفعالة لجهد الخط من 380V فولت إلى 429V.

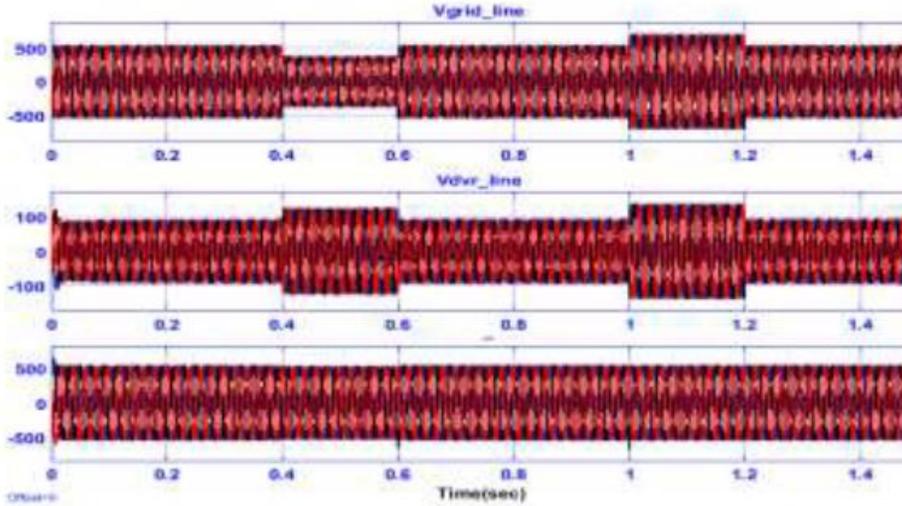
في الشكل 5 نجد الموجات الجيبية لكل من جهد الخط عند نقطة الاقتران المشترك PCC أثناء حدوث التدلي والانتفاخ وكذلك الجهد الذي يتم حقنه بواسطة DVR وجهد الحمل بعد التعويض بواسطة DVR. في الشكلين 6 و 7 نجد عرضاً أكثر وضوحاً لحالة التدلي والانتفاخ وكيفية معالجتها بواسطة جهاز DVR، حيث نجد أن جهاز DVR قام بعملية تعويض دقيقة لحالة الاضطراب المدروسة، وهذا ما نلاحظ نتائجه في جهد الحمل الخالي من أي اضطراب.

في الشكل 8 نجد القيمة الفعالة لجهد الخط RMS أثناء حدوث التدلي والانتفاخ وكيف عمل جهاز DVR على الحفاظ عليه عند قيمة ثابتة لجهد الحمل وهي 380v

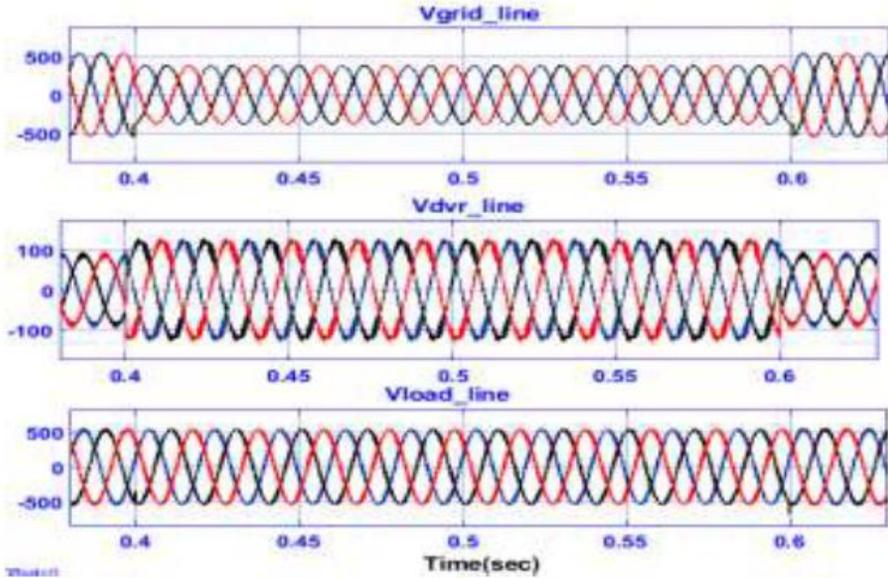
في الشكل 9 تظهر إشارات التحكم dq و $\alpha\beta$ أثناء عملية التحكم عند حدوث اضطراب حيث تكون مكونات dq هي قيم الجهد المحسوبة بواسطة نظام التحكم والتي يتم تحويلها إلى $\alpha\beta$ حيث تشكل إشارات $\alpha\beta$ المدخلات إلى وحدة التحكم SVPWM، تكون قيمة مكون الجهد Vd في حالة التدلي موجبة وفي حالة الانتفاخ سالبة يتم إضافة أو طرح هذه القيم المباشرة من جهد الشبكة حسب حالة الاضطراب، وهذا ما يوضحه الشكل 10 والذي يمثل عرضاً أوضح لعمل دائرة التحكم أثناء الاضطراب. في الشكل 11 يتم توضيح عملية تعويض الطاقة الفعلية والرديية، حيث أثناء التدلي نجد أن الطاقة الفعلية والرديية تتناقص، وبالتالي يعمل DVR على ضخ الطاقة الفعلية والرديية، بينما أثناء التدلي تزداد الطاقة الفعلية والرديية، وبالتالي يعمل جهاز DVR على امتصاص تلك الطاقة للحفاظ على القيمة الثابتة والمحددة لسعة التحميل.

في الشكل 12 يتم عرض الاستجابة العابرة لنظام التحكم المقترح حيث نجد نجاح النظام في تعويض الاضطرابات خلال دورة واحدة فقط. يشير العرض المكبر إلى أن القيمة الفعالة لجهد RMS عند بداية التدلي من اللحظة $t = 0.2s$ ، وقد تم تعويض هذا التدلي

بواسطة جهاز DVR ووصل إلى الحالة المستقرة عند اللحظة $t = 0.22s$ ، وهذا يؤكد قدرة نظام تحكم مقترح للتعامل مع اضطرابات جهد المصدر بكفاءة عالية.

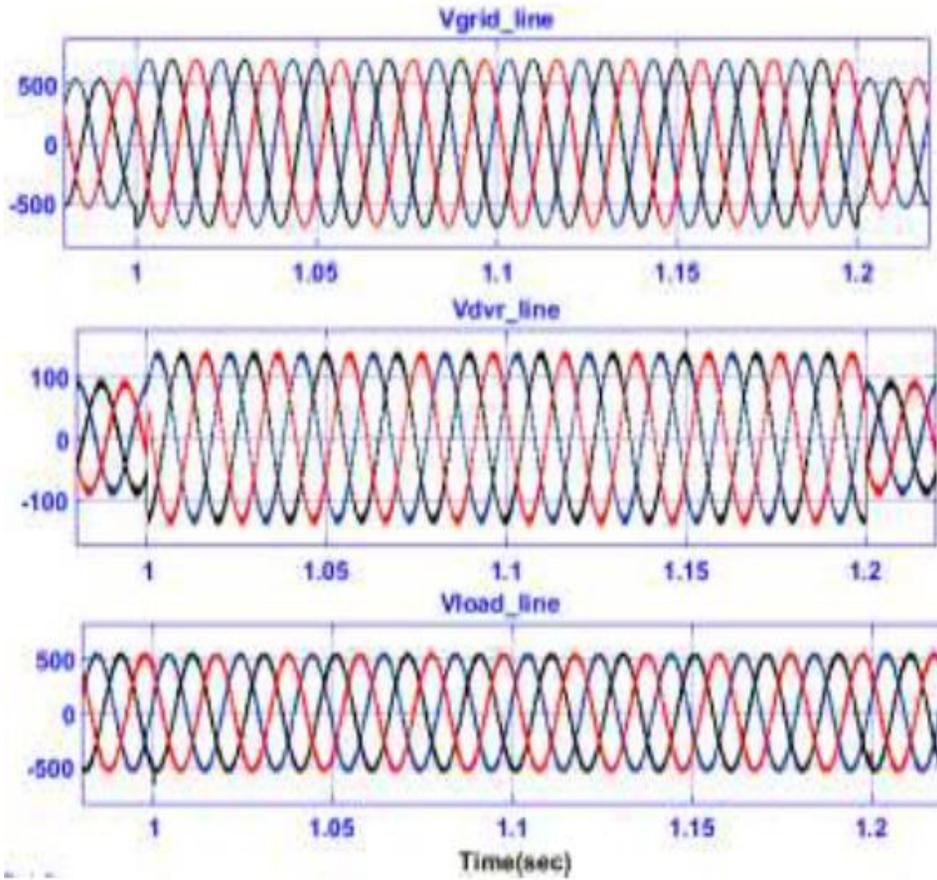


الشكل (5) الجهد الجيبي ثلاثي الطور أثناء التخلي والانتفاخ

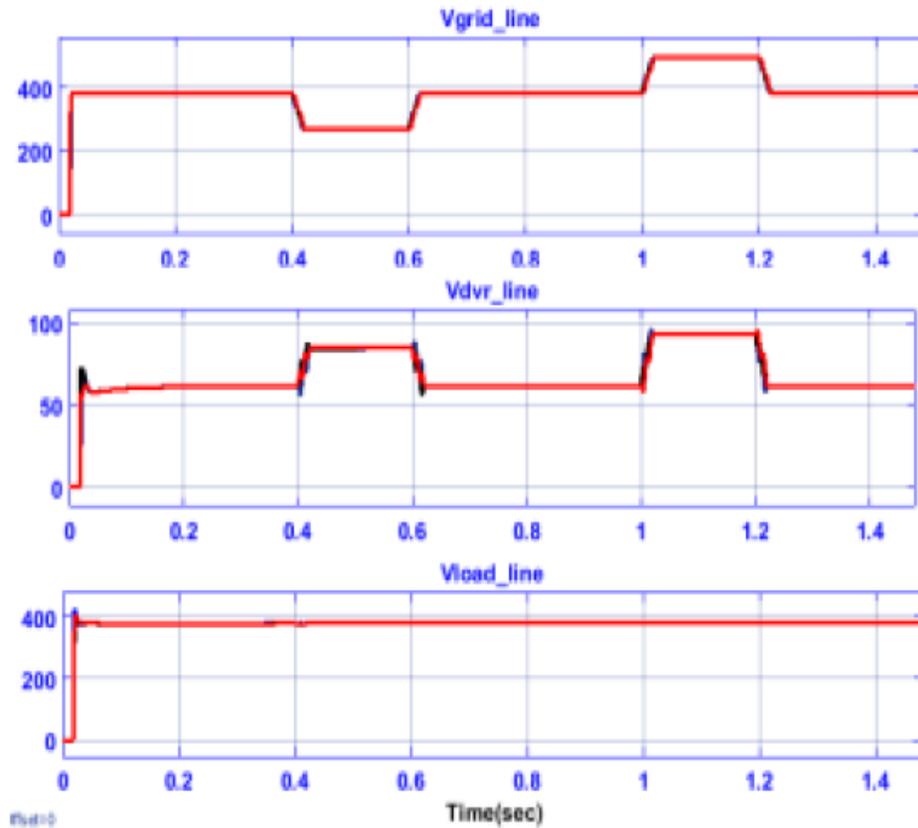


الشكل (6) عرض أكثر وضوح لحالة التخلي

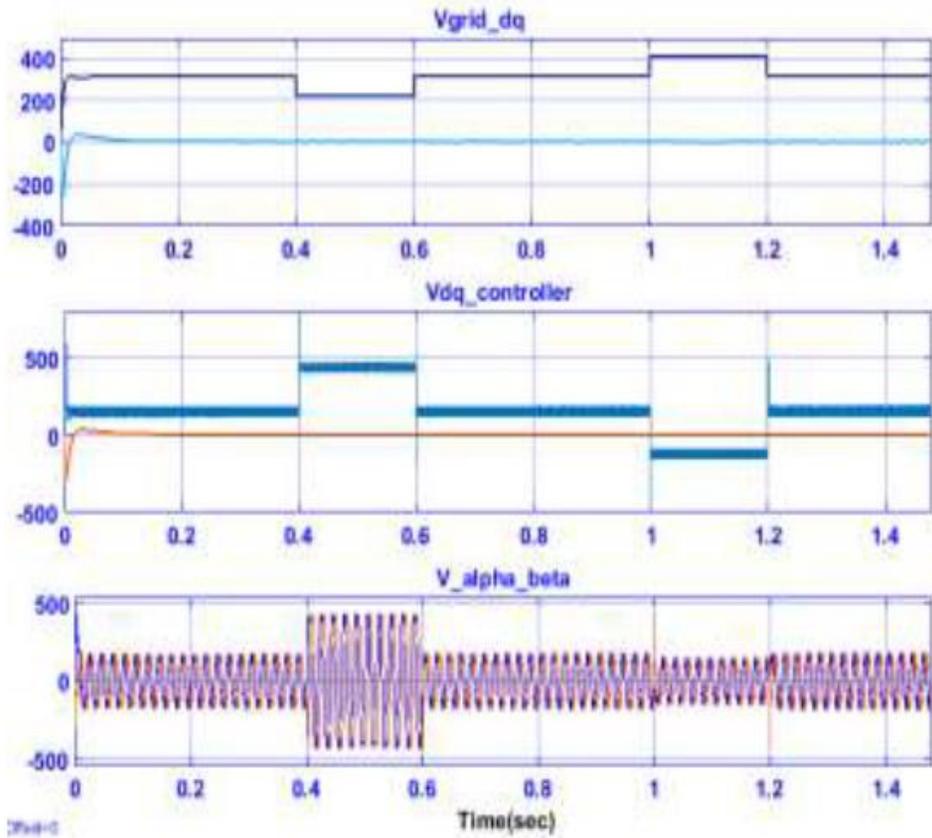
تحسين جودة الطاقة الكهربائية في شبكات التوزيع باستخدام مرمم الجهد الديناميكي المتصل مع نظام كهروضوئي



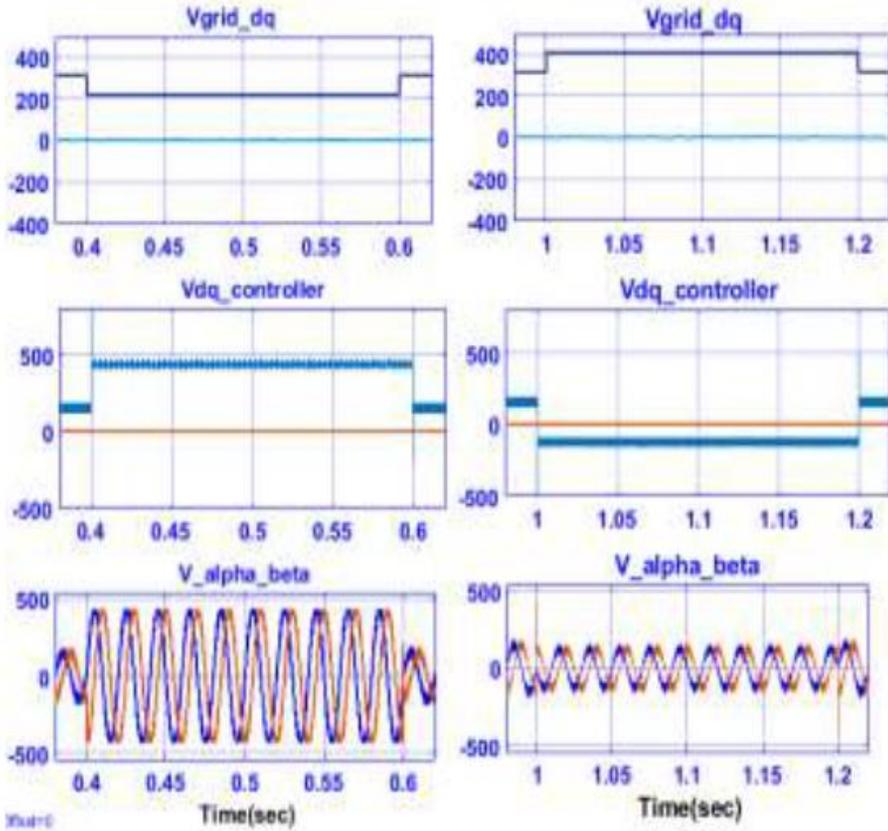
الشكل (7) عرض أكثر وضوح لحالة الانتفاخ



الشكل (8) القيمة الفعالة للجهد أثناء التخلي والانتفاخ

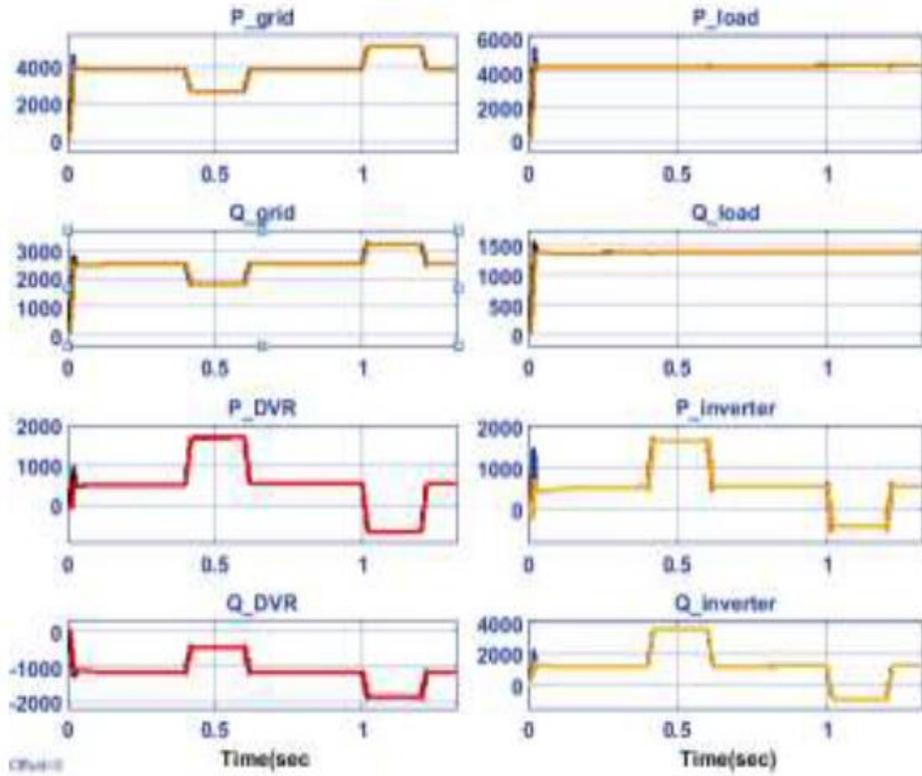


الشكل (9) التحكم بالجهد أثناء التخلي والانتفاخ

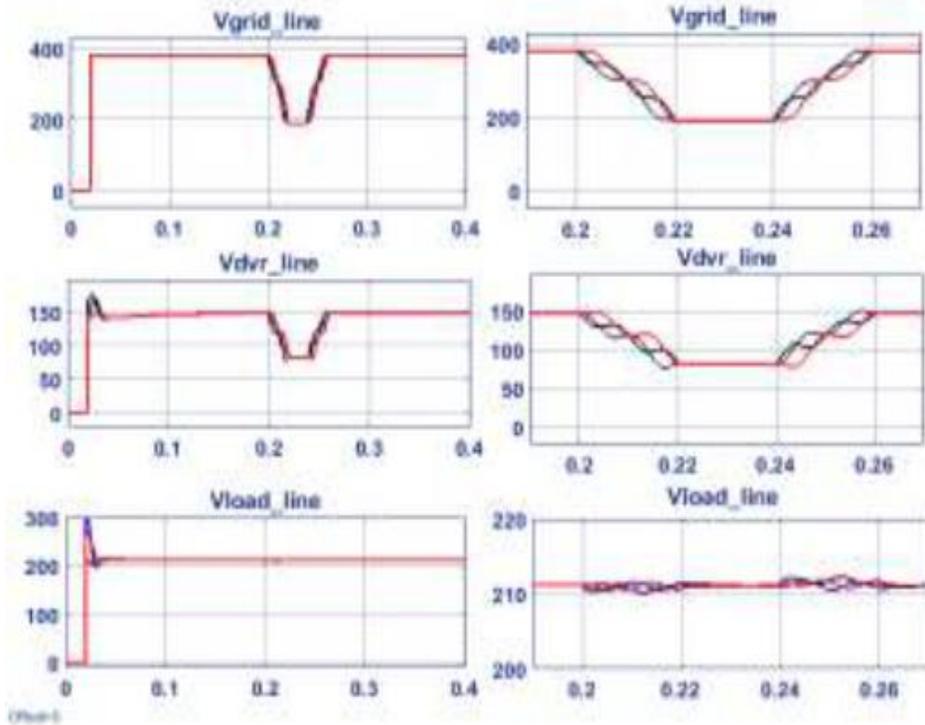


الشكل (10) عرض أكثر وضوح لعملية التحكم بالجهد

تحسين جودة الطاقة الكهربائية في شبكات التوزيع باستخدام مرمم الجهد الديناميكي المتصل مع نظام كهروضوئي



الشكل (11) الاستطاعة الفعلية والردية في النظام المقترح



الشكل (12) عرض أكثر وضوح لعملية تعويض التخلي والانتفاخ خلال دورة واحدة

5- الاستنتاجات والتوصيات

1- يقدم هذا البحث تحليلاً ونمذجة لنظام عمل DVR مع خوارزمية تحكم مطورة باستخدام برنامج Matlab، حيث أظهرت نتائج المحاكاة بالإضافة إلى حماية الحمل الحساس من تدلي الجهد وانتفاخه قدرة DVR على تنظيم جهد الحمل إلى قيمته المرجعية.

2- إن نظام التحكم المقترح في هذه الدراسة كان أداءه أفضل عند حدوث التدلي والانتفاخ، حيث أصبح جهد الحمل خالياً من أي تشوه، بالإضافة إلى سرعة الاستجابة الديناميكية التي ميزت نظام التحكم المقترح، حيث وصل إلى حالة الاستقرار بفاصل زمني أفضل بكثير من بقية الدراسات السابقة.

3- يعد نموذج DVR المطور فائدة هندسية مفيدة للتحليل المستقبلي وتطوير أنظمة وتطبيقات تحسين جودة الطاقة الأحدث.

4- أخيراً، نوصي باستخدام DVR ذي تصميم مناسب في نظم القدرة الكهربائية لحماية الاحمال الحساسة وخاصة الصناعية منها من الوصول الى الانقطاع الدائم بسبب تدلي الجهد وانتفاخه وتحسين جودة نظام القدرة الكهربائي.

- [1] P. Robert, 1997–Key Issues in Developing Renewables, International Energy agency report.
- [2] Renewable Energy Policy Network if this is what you mean. for the 21st Century, 2012 –Renewables 2012 global status report, tech. rep., Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
- [3] RS Committee, 2013 –Renewables 2013, Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, France.
- [4] N.–K. C. Nair and L. Jing, 2013 –Power quality analysis for building integrated PV and micro wind turbine in New Zealandm, Energy Buildings, vol. 58, 302–309.
- [5] G. Mokhtari, G. Nourbakhsh, F. Zare, and A. Ghosh, 2013–Overvoltage prevention in LV smart grid using customer resources coordination, Energy Buildings, vol. 61, 387–395.
- [6] M. Bilton, N. E. Chike, M. Woolf, P. Djapic, M. Wilcox, and G. Strbac, 2014 –Impact of low voltage–connected low carbon technologies on network utilisation”U.K.
- [7] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 2014, IEEE Standard. IEEE Std 519™.

7- الملحقات

الجدول (1) بارامترات النظام المدروس لكل طور

Fs(switching frequency)	5KHz
R(load)	10 Ω
L(load)	10mH
Load power rating	4620VA
Transformer rated power	3KVA
Inverter rated power	2.5kva
L(filter)	100mH
Transformer turns ratio	3:1
Vprimary(inverter side)	350V
Vsecondary(source side)	117V
Vdc	750V
V_PCC(RMS line value)	381V

"دراسة تأثير تعديل التصميم الداخلي للمكبس على أداء المخمد المغناطيسي الريولوجي"

م. هادي موسى المحمد

طالب دراسات عليا في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

ملخص:

تم في هذا البحث دراسة تأثير تعديل تصميم مسار الفيض المغناطيسي ومسار السائل ضمن مكبس المخمد المغناطيسي الريولوجي وذلك لتحسين أداء هذا المخمد من خلال زيادة قوة تخميده.

تم تصميم نموذج يجمع في آن واحد بين تعريج مسار السائل المغناطيسي الريولوجي وتعريج مسار الفيض المغناطيسي وذلك بإضافة حلقات مغناطيسية وغير مغناطيسية تم تجميعها على شكل اسطوانات ثلاثة مركبة ضمن بعضها البعض وبداخلها الملف المغناطيسي لتشكل التصميم الجديد المقترح لهذا المكبس.

تم إنجاز عدة عمليات محاكاة للنموذج المقترح وبينت النتائج أن قوة التخميد تزداد بشكل متناسب مع زيادة التيار في الملف المغناطيسي كما بينت أن هذا التصميم يتيح الحصول على قوى تخميد عالية بأبعاد مكبس صغيرة نسبياً.

الكلمات المفتاحية: السائل المغناطيسي الريولوجي - المخمد المغناطيسي الريولوجي - قوة التخميد - الملف المغناطيسي - الفيض المغناطيسي.

“Studying the effect of interior design modification of the piston on the Magneto Rheological damper performance”

Abstract:

In this research, the effect of design modification of the magnetic flux path and the fluid path within the piston of the magneto-rheological damper was studied, to improve the performance of this damper by increasing its damping force.

A model was designed that simultaneously combines meandering of the magneto-rheological fluid path and meandering of the magnetic flux path by adding magnetic and non-magnetic rings were assembled in the form of three cylinders mounted inside each other with the magnetic coil inside them to form the proposed new design for this piston.

Several simulations of the proposed model have been completed, the numerical results showed that the damping force increases proportionally with increase the current in the electrical coil. They also showed that this design allows obtaining high damping forces with relatively small piston dimensions.

Key words: Magnetorheological fluid ، Magnetorheological damper, damping force, magnetic coil ، magnetic flux .

1- مقدمة:

تعد الاهتزازات بشكل عام أمراً غير مرغوب فيها وتؤثر بشكل سلبي على الأجسام والآلات حيث يؤدي إهمال تأثيرها إلى نتائج ضارة قد تصل إلى تلف أجزاء من النظام الميكانيكي المهتز أو انهياره بالكامل وما يتبعه من أضرار مادية وبشرية ولذلك تم البحث عن حلول عديدة لتقليل الضرر الناتج عن الاهتزازات والصدمات العنيفة وكانت المخمدات أهم هذه الحلول حيث تعمل كوسائل تعليق وماصات للصدمات وتخفف من تأثير الصدمات والاهتزازات.

تقسم المخمدات من حيث طريقة التحكم بها إلى عدة أنواع اعتماداً على مبدأ التشغيل وأنماط المكونات المستخدمة لعزل الاهتزاز حيث يوجد ثلاثة أنماط رئيسية لأنظمة التعليق [1]:

1- أنظمة التعليق غير الفعالة أو السلبية (Passive Suspension Systems): تكون مميزات المخمد ثابتة ويتم تحديدها من قبل المصممين ولا يمكن تغييرها بعد التركيب.

2- أنظمة التعليق الفعالة (Active Suspension Systems): يتكون نظام التعليق الفعال من حساسات وأجهزة تحكم ومشغلات نشطة يتم التحكم فيها عن طريق إشارات التغذية الراجعة وغيرها ويتميز بأدائه العالي لكن بالمقابل تكلفته عالية وأكثر استهلاكاً للطاقة.

3- أنظمة التعليق شبه الفعالة (Semi-active Suspension Systems): يتميز بأنه حلاً وسطاً بين المخمدات غير النشطة والمخمدات الفعالة عالية التكلفة ويتطلب طاقة أقل بكثير وهو أقل تعقيداً وأكثر ملائمة ويوفر أداء كبير في تخفيض الإهتزازات ويعتبر المخمد المغناطيسي الريولوجي Magneto-Rheological Damper من أبرز أنواع هذه المخمدات.

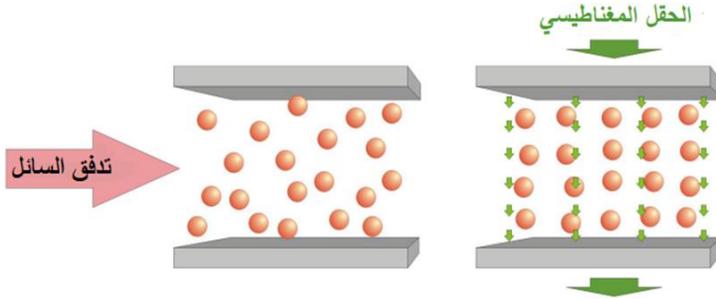
لقد صممت أنظمة التعليق للحفاظ على التماس بين عجلات المركبة والطريق وكذلك لعزل إطار المركبة عن تعرجات الطريق وإن المخمدات أو كما تسمى ماصات

الصددمات هي قلب أنظمة التعليق وهي التي تخفض تأثير الصدمات بشكل سلس كما توجد طرق شائعة عديدة لامتصاص الصدمة تتضمن مغناطيسية المادة، الاحتكاك الجاف، احتكاك السائل، انضغاط السائل والتيارات الدوامية. وقد حصلت تطورات في السنوات القليلة الماضية في الكترونيايات القدرة والمواد المغناطيسية وهذه التطورات جلية وواضحة في الأجهزة الكهروميكانيكية، وتتضمن تخفيض الحجم والوزن والتكلفة، وتحسين المردود والوثوقية. وتبرر هذه التطورات تحليل وتطبيق الأجهزة الكهرومغناطيسية في أنظمة التعليق حيث تتحول الطاقة في معظم المخدمات إلى حرارة وتتبدد بدون أن تستخدم أما في المخدمات الكهرومغناطيسية فإن الطاقة المتبددة يمكن أن تخزن كطاقة كهربائية وتستخدم فيما بعد، وقد كان لاستخدام المخدمات الكهرومغناطيسية فوائد عديدة مقارنة مع المخدمات الميكانيكية والعاملة بالهواء المضغوط والهيدروليكية حيث أن المخدمات الكهرومغناطيسية يمكن أن تعمل بشكل متزامن مع حساسات ومشغلات وعلاوة على ذلك يمكن أن تعمل تحت احتكاك سناتيكي منخفض جداً كما أن معامل التخميد يتم التحكم به بشكل سريع من خلال التشغيل الكهربائي [2].

وقد أصبح لعائلة السوائل التي تعرف بالسوائل الريولوجية المغناطيسية (Magneto Rheological Fluid) تميزاً متزايداً في السنوات الأخيرة لتطبيقاتها المتعددة حيث تظهر هذه السوائل الريولوجية المغناطيسية (والتي يشار لها بسوائل MR اختصاراً) تغيراً في اللزوجة الظاهرية عند تعرضها لحقل مغناطيسي حيث تحتوي على جزيئات حديدية مغناطيسية محمولة ضمن سائل يسمى بالسائل الحامل بحجم ميكروونات حيث يتراوح قطرها بين (0.5-10) ميكرو متر وهي مطلية بمادة غير مرسبة وتشغل عادة 20-40% من حجم السائل الحامل الذي من الممكن أن يكون زيت معدني أو زيت هيدروكربوني كما تحتوي سوائل MR أيضاً على مواد رابطة مانعة للترسيب لمنع تصلب السائل.

وتأتي فعالية السوائل المغناطيسية الريولوجية من خلال تطبيق حقل مغناطيسي عليها يسبب محاذاة لجزيئات الحديد لتتصطف على شكل سلاسل متراسة موازية لخطوط

الحقل ومتعامدة مع اتجاه الجريان للسائل كما في الشكل (1) وتقاوم هذه البنية الناتجة جريان السائل مسببة تغييراً في لزوجته الظاهرية حيث تتغير حالته من السائلة إلى شبه الصلبة كما يزداد معدل انفعال القص وإجهاد الخضوع له بزيادة الحقل المغناطيسي .

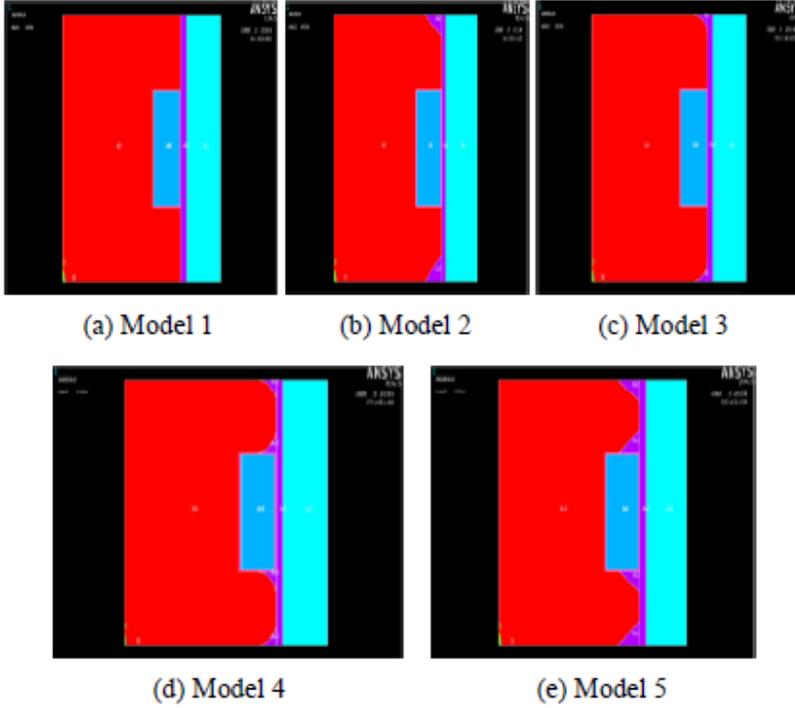


يبين الشكل(1) آلية عمل السائل المغناطيسي الريولوجي

كما تقسم المخمدات المغناطيسية الريولوجية اعتماداً على جريان السائل والإجهاد الريولوجي إلى ثلاث أنماط تشغيل أساسية للسوائل الريولوجية وهي: النمط الصمامي Valve mode ونمط الضغط Squeeze mode ونمط القص Shear mode وإن المخمدات يمكن أن تستخدم واحدة من هذه الأنماط أو أنماط مشتركة فيما بينها وذلك اعتماداً على الهدف المطلوب من التطبيق [3] وبناء عليه فقد تعددت الطرق والوسائل التي استخدمها الباحثون لتطوير وتحسين أداء الأجهزة المغناطيسية الريولوجية من مخمدات ومكابح وذلك باستخدام تصاميم مختلفة فقد قام الباحث Mohammad Meftahul Ferdous وآخرون [4] باختبار عدة تصميمات للمكبس والفراغ الهوائي وفراغ السائل وأعطية المخمدات وإجراء عملية المحاكاة لإيجاد التصميم الأمثل ومن ثم تجريب مخمد RD-8041-1 ومقارنة النتائج التجريبية مع نتائج المحاكاة. وتمت المحاكاة ببرنامج ANSYS وتضمنت تغييرات في تصميم المخمد بتغيير بارامترات فيزيائية مختلفة متضمنة شكل المكبس، مساحة المكبس، فراغ السائل، الخ..

وقد تم إنشاء خمس نماذج مع خمس أشكال للمكبس حيث تشمل نهايات المكبس العليا والسفلى فبعضها مستديرة وبعضها مشطوفة ومن أجل كل نموذج تم تبديل عرض فراغ السائل ومساحة المكبس كما في الشكل(2)، تمت محاكاة كل النماذج عند تيار يتراوح من A (0-1) عند سرعات وأشواط مختلفة للمكبس ، وجد الباحث أن التصميم

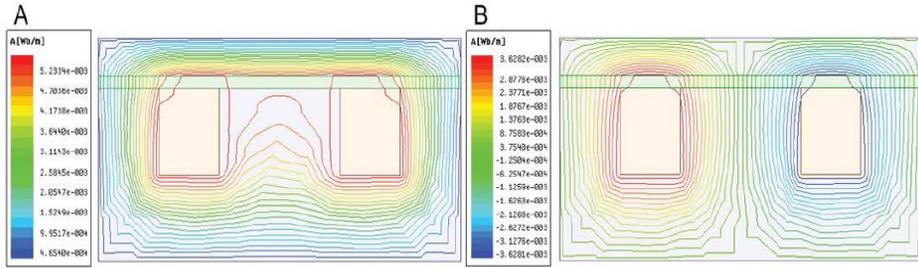
الأمثل يوافق النهائيين العليا والسفلى للمكبس عندما تكون مستديرة وقد تبين ذلك من خلال المحاكاة والتجريب.



يبين الشكل (2) محاكاة لعدة نماذج مختلفة في تصميم المكبس

كما قام الباحث Benxiang Ju [5] بحساب ودراسة تأثير معاملات عديدة على أداء الدارة المغناطيسية مثل الملف مختلف المرحلة والاتجاه المماثل والاتجاه المقابل للملف وعرض قناة التخميد وقطر النواة والممر الجانبي وما إلى ذلك. تم استخدام الحساب ثنائي وثلاثي البعد لتحليل وأمثلة بناء الدارة المغناطيسية، تم إنجاز تحليل العنصر المنتهي باستخدام Ansoft Maxwell ونوقشت أمثلة بارامترات الدارة المغناطيسية، وبينت النتائج أن بارامترات عديدة لها تأثير على توزيع الحقل المغناطيسي. فاعتماداً على نقطة الإشباع المغناطيسية للزيت عند حقل مغناطيسي 600 mT فإن الملف مختلف المراحل والملف ذو الاتجاه المتماثل والاتجاه المتقابل وعرض قناة التخميد وتجويف الممر الجانبي لها تأثير كبير على أداء الدارة المغناطيسية.

وقد نوقشت طرق التصميم والتحليل في هذا البحث، حيث أن الملف ثنائي المرحلة يتيح طول يمكن التحكم به مغناطيسياً أكثر من الملف أحادي المرحلة في الفراغ من أجل مستوى محدد للتيار المحرض، وكذلك إن خطوط الفيض المغناطيسي يمكن أن تلغي بعضها في حالة الملف ذو الاتجاه المتماثل مما يؤدي إلى إعاقة خطوط الحقل المغناطيسي عبر المقطع الوسطي للمكبس، أما في حالة الاتجاه المتقابل فإن خطوط الفيض المغناطيسي تشكل حلقتين كما في الشكل (3)، والطول المؤثر L لقناة التخميد يمكن أن يزداد في حالة الاتجاه المتقابل، وبالتالي ستكون مميزات التخميد أفضل في حالة الاتجاه المتقابل وقد تبين أنه تزداد كثافة الفيض المغناطيسي بتناقص قطر النواة مما يتيح الإمكانية للوصول إلى نقطة الإشباع المغناطيسية كما أنه يزداد الفيض المغناطيسي بنقصان عرض قناة التخميد.

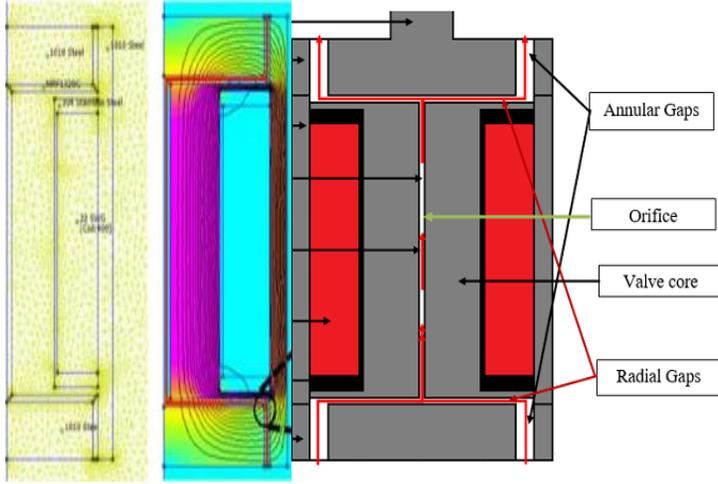


يبين الشكل (3) ملف A مخدم باتجاه متماثل ، B ملف مخدم باتجاه متقابل

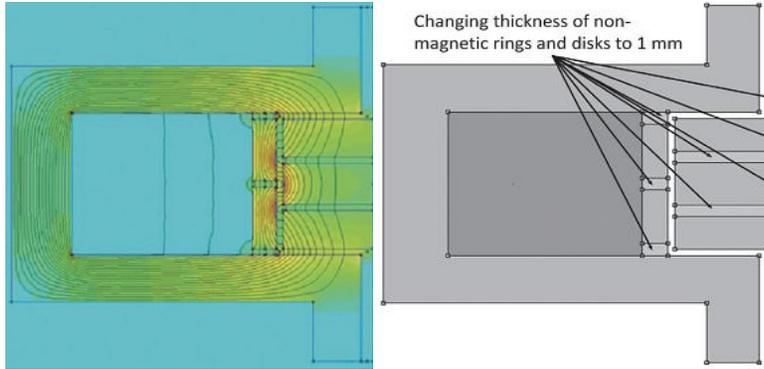
أما بالنسبة للباحثون (AZ Zainordin, G Priyandoko, Z Mohamed) [6] فقد قاموا بتصميم مكبس لمخمد من نوع (MR) بمسار تدفق متعرج من خلال الجمع بين الفجوات الحلقية والقطرية كما في الشكل (4) وأظهرت نتائج المحاكاة أن الفجوة القطرية توفر كثافة تدفق مغناطيسي أكبر بنسبة 79% مقارنة بالفجوة الحلقية عند تيار دخل مقداره (1 A) وتم التحقق من أن طريقة الجمع بين الفجوات الحلقية والقطرية هي إحدى الطرق الممكنة لزيادة هبوط الضغط في مكبس مخمد MR وبالتالي تحسين قوة التخميد.

كما قام الباحثون (Abd. Fatah, A. Y. and Mazlan, S.) [7] بتصميم مكبس مخمد MR بمسار تدفق خلال فجوات حلقية وقطرية مع استخدام حلقات قابلة للمغنة وغير قابلة للمغنة ليصبح مسار تدفق الحقل المغناطيسي متعرج كما في

الشكل (5) وقد أظهرت النتائج أن كثافة الفيض المغناطيسي تزداد باستخدام الفجوات الحلقية والقطرية والتدفق المتعرج للحقل المغناطيسي كما بينت أن استخدام الفجوات الحلقية والقطرية والتدفق المتعرج وسماكة الحلقات غير المغناطيسية يساعد على زيادة انخفاض الضغط في مكبس مخمد MR.



يبين الشكل (4) مكبس مخمد بفجوات حلقية وقطرية وتوزع خطوط الفيض المغناطيسي فيه



يبين الشكل (5) تصميم مكبس مخمد بمسار متعرج للحقل المغناطيسي فيه

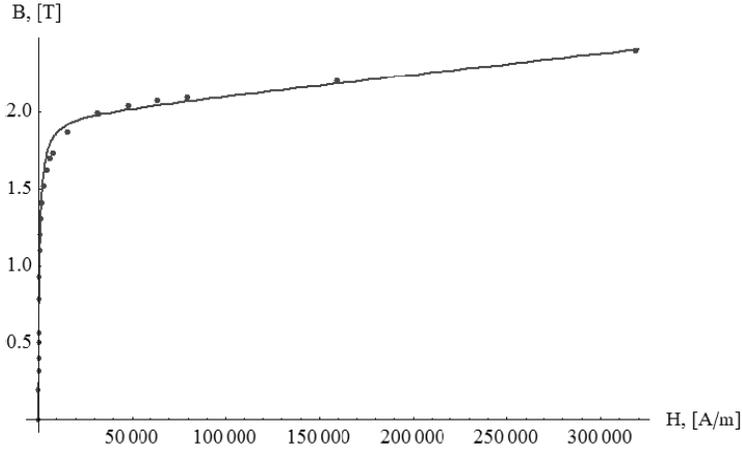
2-هدف البحث:

تم في هذا البحث دراسة تأثير تعديل تصميم مسار الفيض المغناطيسي ومسار السائل ضمن مكبس المخمد المغناطيسي الريولوجي وذلك لتحسين أداء هذا المخمد من خلال زيادة قوة تخميده .

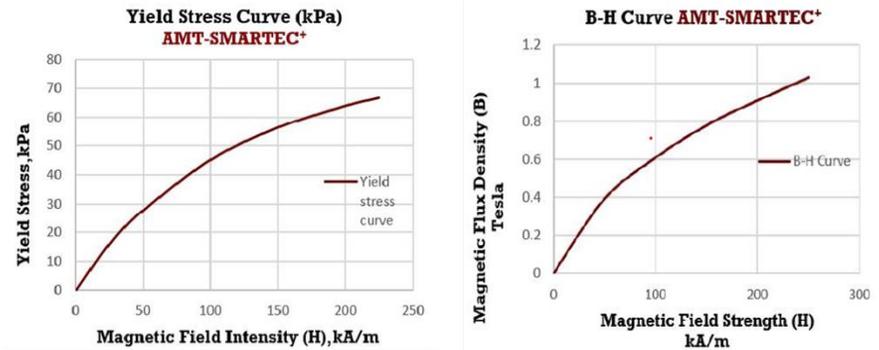
3- مواد وطرق البحث:

تم تصميم نموذج يجمع في آن واحد بين تعريج مسار السائل المغناطيسي الريولوجي و تعريج مسار الفيض المغناطيسي وذلك بإضافة حلقات مغناطيسية وغير مغناطيسية تم تجميعها على شكل اسطوانات ثلاثة مركبة ضمن بعضها البعض وبداخلها الملف المغناطيسي لتشكل التصميم الجديد المقترح لهذا المكبس ولقد تم تحديد الأبعاد المناسبة للحلقات ودراسة توزيع كثافة الفيض المغناطيسي عبر قنوات مرور السائل باستخدام المحاكاة برنامج ANSYS 16 ومن ثم تحديد قوة التخميد النظرية اعتماداً على النموذج الرياضي للمخمد المقترح وعلى القيم الناتجة عن المحاكاة.

وفي هذا البحث تم اقتراح ودراسة أكثر من نموذج للوصول إلى النموذج الأنسب والأفضل في قوة التخميد عند نفس الأبعاد لهذه النماذج ففي البداية تم دراسة ومحاكاة نموذج يتألف فيه المكبس من حلقات قابلة للمغنطة مصنوعة من معدن الفولاذ steel 1010 الذي له خصائص مغناطيسية جيدة مبينة في الشكل (6) وحلقات غير قابلة للمغنطة بسماكة (1 mm) مصنوعة من معدن الكروم (304) الذي له نفوذية مغناطيسية نسبية مقدارها (1)

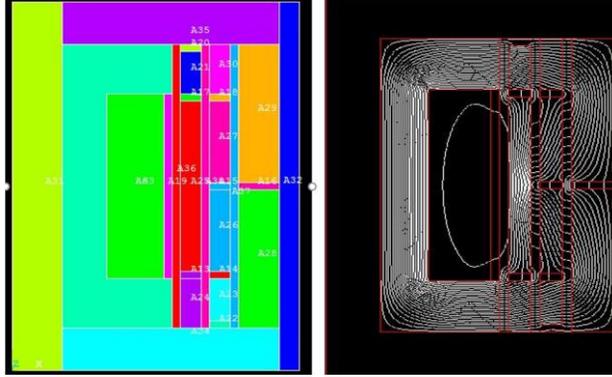


يبين الشكل (6) الخصائص المغناطيسية لمعدن الحلقات القابلة للمغطة steel 1010 كما تم استخدام السائل المغناطيسي الريولوجي ذو الطراز AMT-SMARTEC الذي له خصائص مغناطيسية جيدة أيضاً مبيّنة بالشكل (7).



يبين الشكل (7) الخصائص المغناطيسية للسائل المغناطيسي الريولوجي AMTSMARTEC

تم تصميم الشكل الهندسي للنموذج المقترح الابتدائي وإجراء المحاكاة لبيان كثافة الفيض المغناطيسي باستخدام برنامج ANSYS 16 كما هو مبين في الشكل (8) .



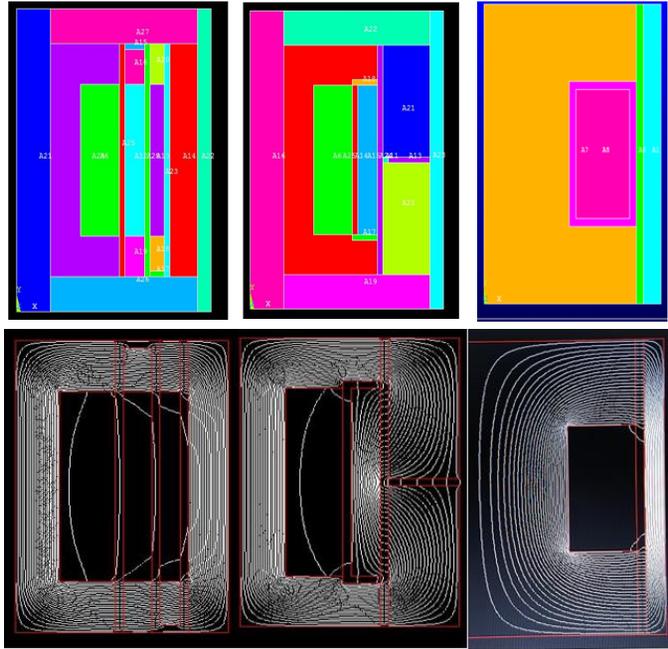
يبين الشكل (8) الشكل الهندسي للنموذج المقترح الابتدائي وتوزيع خطوط الفيض المغناطيسي

ولمقارنة قيمة كثافة الفيض المغناطيسي الناتجة عن النموذج المقترح معها في النماذج التي تم استعراضها في الدراسات السابقة فقد تم أيضاً إنجاز محاكاة لكل من هذه النماذج على حدة وهي النموذج التقليدي ونموذج ثاني يحتوي تعريج مسار الفيض المغناطيسي ونموذج ثالث يحتوي على تعريج مسار السائل المغناطيسي الريولوجي وهي مرتبة على التوالي كما هو مبين في الشكل (9) من اليمين إلى اليسار.

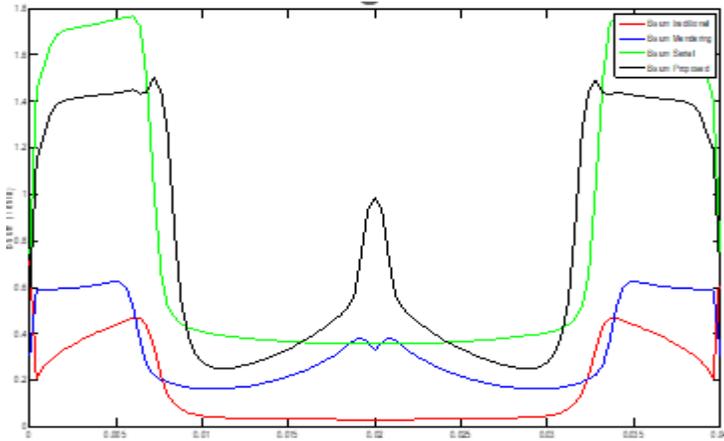
بعد إنجاز المحاكاة للنموذج المقترح الابتدائي وللنماذج الثلاثة المذكورة آنفاً تم

مقارنة

قيم توزيع كثافة الفيض المغناطيسي الناتجة عن كل منها على طول المكبس كما هو مبين في الشكل (10) الذي يلاحظ فيه أن النموذج المقترح الابتدائي هو النموذج الأكثر كثافة للفيض المغناطيس في منتصف المكبس.

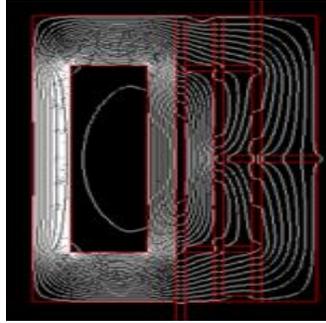


يبين الشكل (9) الشكل الهندسي لنموذج تقليدي ونموذج بمسار فيض متعرج ونموذج بمسار سائل متعرج وتوزع خطوط الفيض المغناطيسي لكل منها



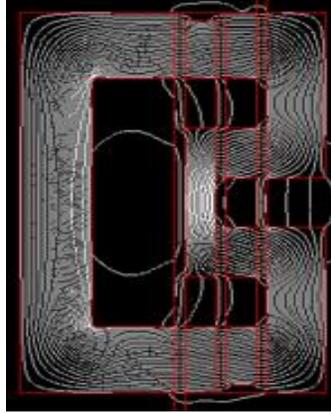
يبين الشكل (10) مقارنة توزيع كثافة الفيض المغناطيسي للنموذج المقترح وللنموذج التقليدي ونموذج بمسار فيض متعرج ونموذج بمسار سائل متعرج

وكمحاولة للاستفادة من فكرة تصميم هذا النموذج في تحسين وزيادة توزيع كثافة الفيض على طول قنوات مرور السائل فقد تم تغيير موضع الملف المغناطيسي في النموذج المقترح بحيث يصبح أقرب لمركز المخدم كما في الشكل (11) إلا أن هذا الإجراء لم يعطِ أي زيادة في كثافة الفيض المغناطيسي وتفسير ذلك هو تدفق جزء من الفيض في المنطقة الواقعة بين الملف المغناطيسي والقناة الداخلية للمكبس كما هو واضح في الشكل (11)



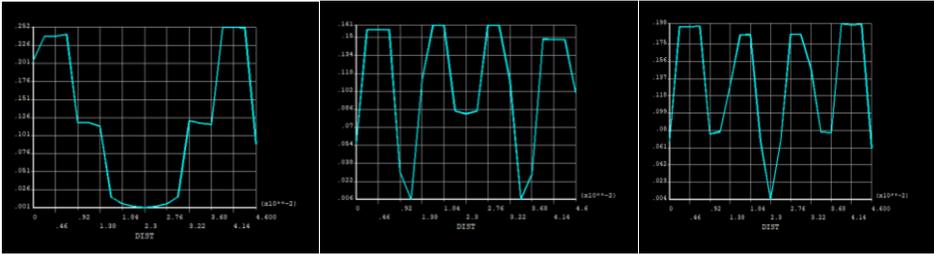
يبين الشكل (11) توزيع كثافة الفيض المغناطيسي في النموذج المقترح مع تغيير موضع الملف المغناطيسي باتجاه مركز المكبس

بعد عدم الاستفادة من فكرة تغيير موضع الملف المغناطيسي تم الانتقال إلى فكرة أخرى وهي التغيير في سماكة الحلقات غير الممغنطة حيث تمت المحاكاة عند سماكات مختلفة وكانت أفضل قيم لتوزيع كثافة الفيض عند سماكة 6 mm لهذه الحلقات كما في الشكل (12)



يبين الشكل (12) توزيع كثافة الفيض المغناطيسي في النموذج المقترح النهائي عند سماكة 6 mm للحلقات غير الممغنطة

وللحصول على قيمة كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في النموذج المقترح يتم تحديد قيمة كثافة الفيض في كل من القناة الداخلية والوسطى والخارجية ومن ثم جمعها مع بعضها البعض كما في الشكل (13)



يبين الشكل (13) قيم كثافة الفيض المغناطيسي على طول قنوات التخميد الداخلية والوسطى والخارجية على الترتيب

ويبين الشكل (14) الشكل الهندسي للنموذج المقترح النهائي للمخمد المغناطيسي الريولوجي وأهم الأبعاد الأساسية حيث يتألف النموذج النهائي من ذراع المكبس والأسطوانة ورأس المكبس المكون من الحلقات القابلة للمغنطة والحلقات غير قابلة

للمغنطة حيث تم رسم النموذج في برنامج ANSYS 16 وتحديد خصائص مواد المكبس التي تعتمد على الخصائص المغناطيسية B-H Curve (بالنسبة للمعدن القابل للمغنطة) أو النفوذية النسبية (بالنسبة للمعدن غير القابل للمغنطة) وإدخال قيمها في البرنامج.

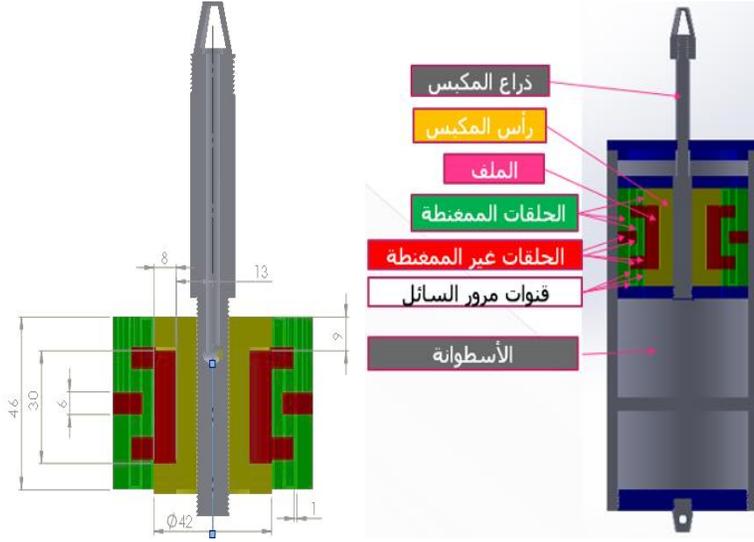
تعتمد الحمولة المطبقة (والتي هي كثافة التيار الكهربائي) على عدد اللفات للملف الكهربائي (N) وعلى مقدار التيار الكهربائي الذي يمر فيه (I) وكذلك على مساحة مقطع هذا الملف (A) وتعطى بالعلاقة التالية [3]:

$$J = \frac{N * I}{A} \quad (1)$$

و تعطى قوة التخميد بالعلاقة التالية [8]:

$$F = \frac{12\mu l A p^2}{\pi D h^3} v + \frac{3l A p}{h} \tau y \quad (2)$$

حيث A_p : المساحة الفعالة للمكبس $(\text{mm})^2$ ، L : طول قناة التخميد الفعال (mm)
 D : المحيط الوسطي لكل قناة تخميد (mm) ، h : قطر قناة التخميد (mm)
 v : سرعة المكبس (mm/s) ، μ : اللزوجة الديناميكية للسائل (Pa·s) ، τy : إجهاد الخضوع للسائل (kPa) وهو تابع لكثافة الفيض المغناطيسي (T) B الذي بدوره يكون تابع لشدة الحقل المغناطيسي (kA/m) H استناداً للشكل (10).



يبين الشكل (14) الشكل الهندسي للنموذج المقترح النهائي للمخمد المغناطيسي الريولوجي

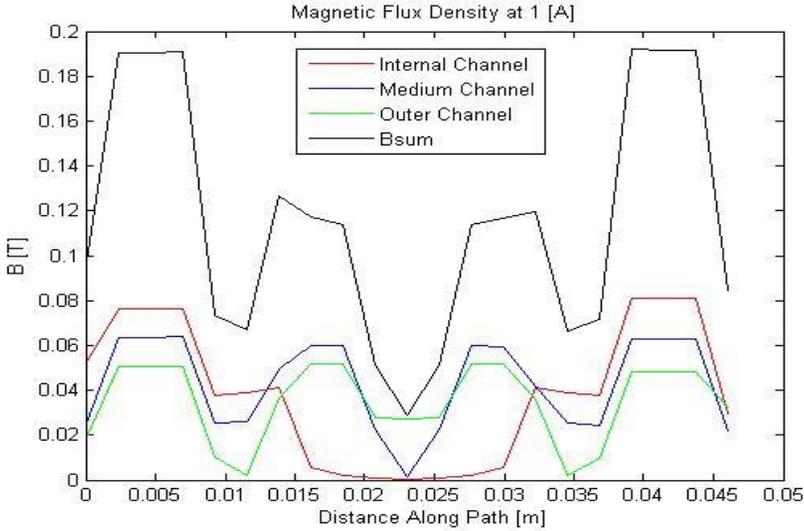
ولتسهيل حساب كل قيمة لإجهاد خضوع السائل المغناطيسي الريولوجي التي تقابل قيمة محددة لكثافة الفيض اعتماداً على السائل الذي تم اعتماده في البحث فقد استخدمت طريقة المربعات الصغرى لتحديد العلاقة التي تربط بين إجهاد الخضوع وكثافة الفيض المغناطيسي وكانت أفضل معادلة هي العلاقة التالية :

$$\tau(B) = -172.8662B^4 + 327.8712B^3 - 192.2188B^2 + 104.1974B - 0.0250 \quad (3)$$

4- النتائج ومناقشتها:

يبين الشكل (15) مخطط توزع كثافة الفيض عبر قنوات السائل المغناطيسي عند تيار A [1] يلاحظ أنه يمكن الوصول إلى قيم كثافة فيض مغناطيسي حوالي 0.08 [T] كقيمة عظمى في القناة الداخلية لمرور السائل وهي القيمة الأعلى من بين قيم كثافة الفيض المغناطيسي في قنوات مرور السائل في حين أنها تتخفف إلى 0.062 [T] في القناة الوسطى كما تتخفف بشكل أكبر في القناة الخارجية لتصل إلى 0.05 [T] تقريباً و يعود سبب هذا الانخفاض في القيم تدريجياً من القناة الداخلية إلى الخارجية لأنه كلما

ابتعدنا عن مركز المكبس وبالتالي عن الملف المغناطيسي تتخفض قيم كثافة التيار وبالتالي كثافة الفيض المغناطيسي ، وجمع قيم كثافة الفيض المغناطيسي على طول هذه القنوات الثلاثة نحصل على قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخذم التي تصل إلى 0.19 [T] تقريباً كما في الشكل ذاته .



يبين الشكل (15) مخطط توزيع كثافة الفيض المغناطيسي في قنوات السائل عند تيار

1 [A] و قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخذم عند هذه القيمة

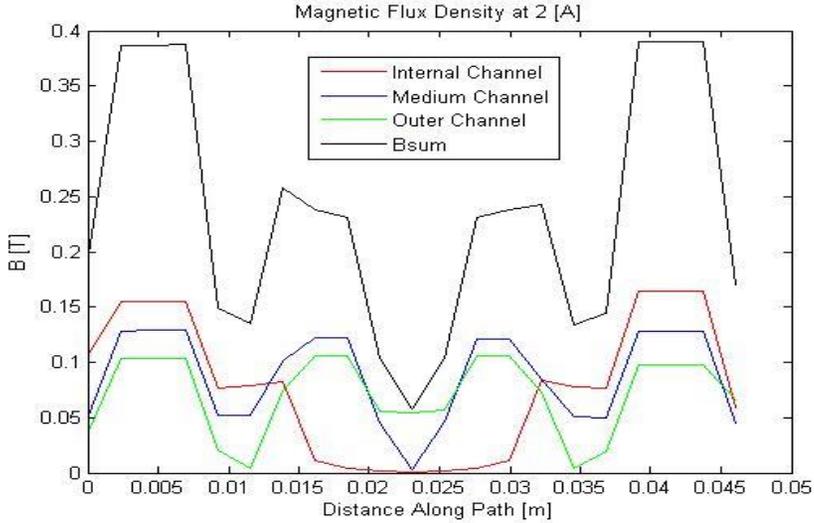
ويبين الشكل (16) مخطط توزيع كثافة الفيض المغناطيسي عبر قنوات السائل

المغناطيسي عند تيار 2 [A] حيث تصل قيم كثافة الفيض المغناطيسي في القناة الداخلية إلى 0.15 [T] تقريباً و 0.12 [T] في القناة الوسطى و 0.1 [T] في القناة الخارجية كما تصل قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخذم إلى 0.38 [T] تقريباً.

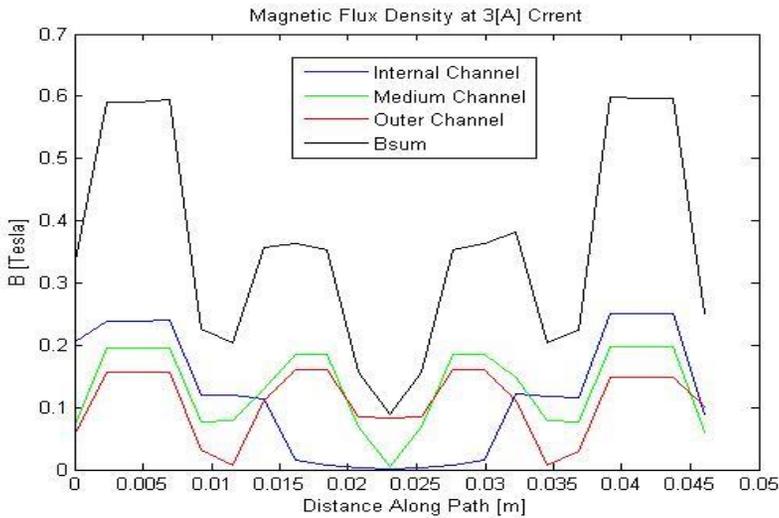
كما يبين الشكل (17) مخطط توزيع كثافة الفيض المغناطيسي عبر قنوات السائل

المغناطيسي عند تيار 3 [A] حيث تصل قيم كثافة الفيض المغناطيسي في القناة الداخلية 0.25 [T] تقريباً و 0.20 [T] في القناة الوسطى و 0.17 [T] في القناة

الخارجية كما تصل قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخمد إلى 0.6 [T] تقريباً.

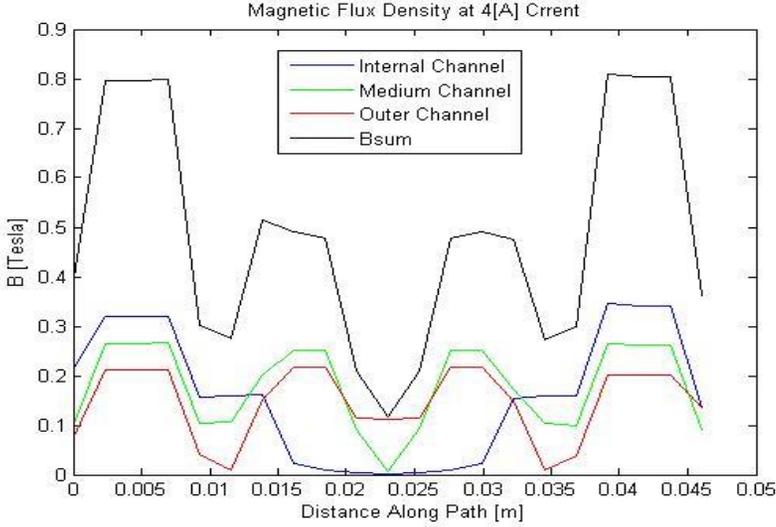


يبين الشكل (16) مخطط توزيع كثافة الفيض المغناطيسي في قنوات السائل عند تيار $2A$ و قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخمد عند هذه القيمة



يبين الشكل (17) مخطط توزيع كثافة الفيض المغناطيسي في قنوات السائل عند تيار 3 A و قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخمد عند هذه القيمة

ويبين الشكل (18) مخطط توزيع كثافة الفيض المغناطيسي عبر قنوات السائل المغناطيسي عند تيار [A] 4 حيث تصل قيمة كثافة الفيض المغناطيسي في القناة الداخلية [T] 0.32 تقريباً و [T] 0.27 في القناة الوسطى و [T] 0.21 في القناة الخارجية وتصل قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخذ إلى [T] 0.8 تقريباً.

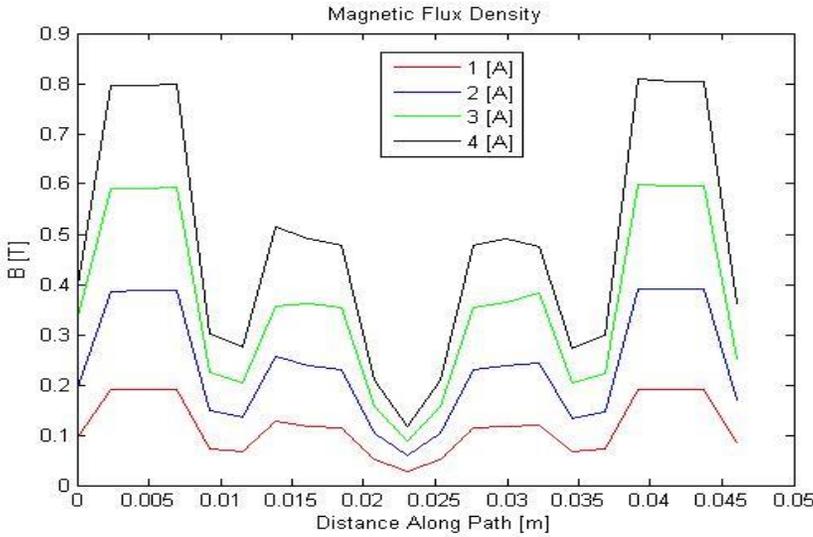


يبين الشكل (18) مخطط توزيع كثافة الفيض المغناطيسي في قنوات السائل عند تيار [A] 4 و قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخذ عند هذه القيمة

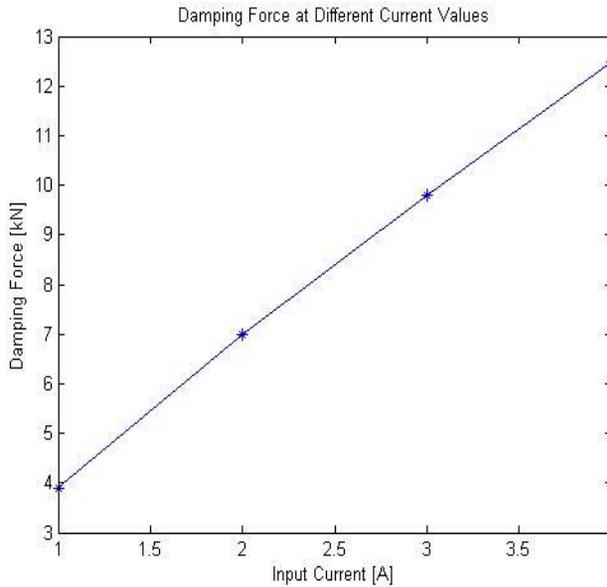
و بمقارنة الأشكال الأربعة السابقة (15، 16، 17، 18) يلاحظ أنه مع ارتفاع قيم التيار المطبق على الملف المغناطيسي ترتفع قيم كثافة الفيض المغناطيسي في قنوات السائل وبالتالي القيمة الكلية لكثافة الفيض المغناطيسي للمخذ حيث لاحظنا أنها وصلت إلى قيمة [T] 0.8 تقريباً عند تيار [A] 4 في حين أن قيمتها لا تتجاوز 0.2 [T] عند تيار [A] 1 كما في الشكل (19).

بعد الحصول على قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخمد عند قيم مختلفة للتيار استطعنا من خلال العلاقتين السابقتين (3،2) الحصول على قوة التخميد الكلية في المخمد التي كانت تزداد مع زيادة قيم التيار المطبق على الملف المغناطيسي حيث كانت 3.9 [KN] عند تيار 1 [A] وأصبحت 7 [KN] عند تيار 2 [A] كما ازدادت لتقارب 9.8 [KN] عند تيار 3 [A] وبلغت قيمتها 12.5 [KN] عند تيار 4 [A] كما في الشكل (20).

إن زيادة قوة التخميد في المخمد تعبر عن زيادة أدائه وقد تحقق في البحث الحالي زيادة كبيرة في هذه القوة بشكل متناسب ودقيق مع زيادة كثافة التيار التي تزداد بزيادة شدة التيار المطبق على الملف المغناطيسي في المخمد.



يبين الشكل (19) مقارنة قيم كثافة الفيض المغناطيسي الكلية في المخمد مع تغير قيم التيار



يبين الشكل (20) مخطط قوة التخميد مع شدة التيار

5-الاستنتاجات:

تم في هذا البحث اقتراح نموذج لمخمد مغناطيسي ريولوجي بحلقات قابلة للمغنة وحلقات غير قابلة للمغنة بسماكات تصل إلى 6 mm وذلك بهدف إجبار خطوط الفيض المغناطيسي بالتعرج والتكاثف عبر قنوات السائل التسلسلية حيث تم دراسة العديد من حالات المحاكاة بهدف الوصول إلى التصميم الأمثل الذي يمكن اعتماده عند الحاجة لعملية التصنيع لهذا المخمد ، وقد تبين من خلال البحث أن كثافة الفيض المغناطيسي تكون أكبر ما يمكن عبر القناة الداخلية لمرور السائل وتكون أقل منها في القناة الوسطى

في حين تكون القيم الدنيا لها في القناة الخارجية ويفسر ذلك حسب قرب القناة من الملف المغناطيسي (مصدر الفيض) إذ أن القناة الأقرب إلى الملف المغناطيسي تكون فيها كثافة الفيض المغناطيسي أكبر وبالتالي يكون لها إجهاد خضوع أكبر وبالتالي يكون لها قوة تخميد فردية أكبر. وقد تم حساب قوة التخميد النظرية استناداً إلى قيم إجهاد الخضوع للسائل وقد لوحظ ارتفاع قوة التخميد مع ارتفاع قيم التيار المطبق على الملف المغناطيسي وذلك بسبب ارتفاع كثافة الفيض المغناطيسي وبالتالي إجهاد الخضوع وبالنتيجة ارتفاع قوة التخميد ولقد تم التوصل إلى قيمة قوة تخميد [kN] 12.5 عند تيار مطبق قيمته [A] 4 في حين أنه كانت قوة التخميد [kN] 3.9 عند تيار مطبق [A] 1 ويعتبر النموذج المدروس نموذجاً مثالياً للتصنيع والتجربة.

6- المراجع :

[1] ISMAILI, N2019 **“PERFORMANCE ANALYSIS OF PASSIVE, SEMI-ACTIVE AND ACTIVE-CONTROLLED SUSPENSION SYSTEMS USING MATLAB/SIMULINK”** , JOURNAL OF APPLIED SCIENCES-SUT, Vol. 5 / No. 9-10, 94-105.

[2] EBRAHIMI, B2009, **“Development of Hybrid Electromagnetic Dampers for Vehicle Suspension Systems”**. Waterloo, Ontario, Canada, 172p.

[3] MALANKAR, K2006- **“FINITE ELEMENT BASED MODELING OF MAGNETORHEOLOGICAL DAMPERS”**. Kolhapur, India, 94p.

[4] FERDAUS, M et al. 2014 **“Optimal design of Magneto-Rheological damper comparing different configurations by finite element analysis”** Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 28 (9), 3667-3677.

[5] JU, B 2019 **"The Simulation and Optimization of the Magnetic Circuit for Magneto-rheological Damper"**, International Journal of Magnetism and Electromagnetism, 5-16.

- [6] AZ Zainordin, G Priyandoko, Z Mohamed **"performance Simulation Analysis for Magnetorheological Damper with Internal Meandering Flow "**International Journal of Automotive and Mechanical Engineering Volume 15, Issue 3 pp. 5511–5521 Sept 2018 ,Universiti Malaysia Pahang, Malaysia
- [7] Abd. Fatah, A. Y. and Mazlan, S. A. and Koga, T. and Zamzuri, H.and Imaduddin **"Design of magnetorheological valve using serpentine flux path method"** International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 50 (2016) 29–44 .
- [8] HU,G,et al. 2018 **"Damping performance analysis of magnetorheological damper with serial-type flow channels"**, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 11(1), 1–12.

"تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي الريولوجي - دراسة تجريبية"

م. هادي موسى المحمد

طالب دراسات عليا في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

ملخص:

تم في هذا البحث تم دراسة تصميم جديد للمخمد المغناطيسي الريولوجي (مخمد شبه الفعال) والذي يهدف إلى تحقيق قيم مثلى لقوة التخميد (الهدف المنشود من تنوع تصاميم المخدات الريولوجية) حيث انبثقت فكرة تحسين التصميم من دمج تعرج قنوات جريان السائل المغناطيسي الريولوجي مع تعريج الفيض المغناطيسي من خلال إضافة حلقات قابلة للمغطة وحلقات غير قابلة للمغطة بأبعاد محددة (كانت السمكة الأفضل هي 6 mm للحلقات غير قابلة للمغطة).

تم إنجاز عملية التصنيع للنموذج المقترح وتبين أنه تزداد قوة التخميد بزيادة التيار الكهربائي المطبق على الملف المغناطيسي .

بينت النتائج أن قوة التخميد تزداد بشكل متناسب مع زيادة التيار في الملف المغناطيسي كما بينت أن هذا التصميم يتيح الحصول على قوى تخميد عالية بأبعاد مكبس صغيرة نسبياً.

الكلمات المفتاحية: مخمد شبه فعال، سائل مغناطيسي ريولوجي ، ملف مغناطيسي، قوة التخميد، مخمد مغناطيسي .

“The effect of changing the piston design on the magnetic flux density and damping force of the Magneto Rheological damper - Experimental Study”

Abstract:

In this research, a new design for the magneto rheological damper (semi-active damper) was studied, which aims to achieve optimal values for the damping force (the desired goal of the diversity of designs of rheological dampers). The idea of improving the design emerged from integrating the meandering of the flow channels of the magneto rheological fluid with the meandering of the magnetic flux. By adding magnetizable rings and non-magnetizable rings with specific dimensions (the best thickness was 6 mm for non-magnetizable rings).

The manufacturing process of the proposed model was completed and it was found that the damping force increases with the increase in electrical current applied to the magnetic coil.

The results showed that the damping force increases proportionally with the increase in current in the magnetic coil. They also showed that this design allows obtaining high damping forces with relatively small piston dimensions.

Keywords: semi-active damper, magneto rheological fluid, magnetic coil, damping force, magnetic damper.

1- مقدمة

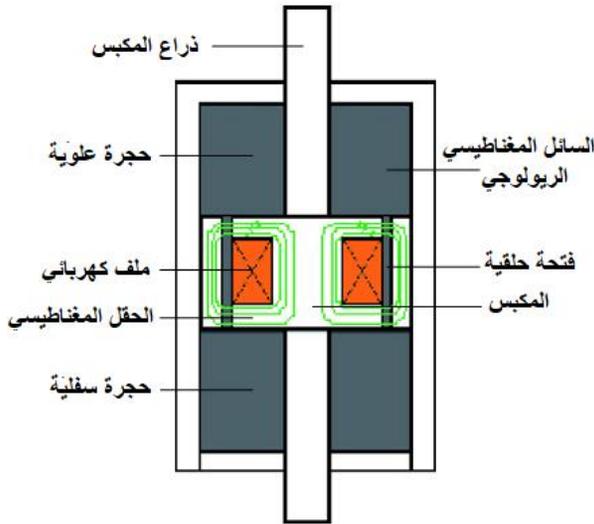
تؤثر الاهتزازات بشكل سلبي على الآلات والمعدات وقد تؤدي إلى ضرر وعطب في الأجزاء المهتزة لذلك كان لتصنيع وتطوير المعدات الأثر الكبير في تقليل الأضرار الناجمة عن الاهتزازات العنيفة والصدمات ولقد كان للمعدات المغناطيسية الريولوجية انتشاراً واسعاً في أنظمة التعليق وجذبت تطبيقاتها الاهتمام خلال السنوات الأخيرة .

إن المعدات المغناطيسية الريولوجية جيل جديد من المعدات يستخدم سائل مغناطيسي ريولوجي قابل للتحكم وهذا السائل المغناطيسي الريولوجي عبارة عن مادة ذكية تتألف من جزيئات من الحديد المغناطيسي دقيقة الحجم (micron size) تطفو في مذيبيات أساسية ويمكن تغيير لزوجة هذا السائل هذا من خلال التحكم بكثافة فيض مغناطيسي يتم توليده باستخدام ملف مغناطيسي كهربائي وتميريه عبر هذا السائل ، ومن الميزات الأساسية لهذه المعدات هو الاستهلاك المنخفض الطاقة وإمكانية التحكم العالية والاستجابة السريعة وقدرة التحمل الفائقة [1]، [2].

هناك ثلاثة أنواع لأنظمة التعليق وهي غير الفعالة و الفعالة و نصف الفعالة ولكل منها مزايا متعددة فعلى الرغم من أن المعدات غير الفعالة و التي يعتمد مبدأ عملها على التخميد بالزيت وتتميز ببساطة التصميم والتكلفة إلا أن أداؤها محدود بسبب عدم القدرة على التحكم بقوة التخميد ومن ناحية أخرى فإن المعدات الفعالة يمكنها تأمين أداء تحكم عال ضمن مجال تردد واسع إلا أنها تحتاج إلى مصادر طاقة عالية وعدد كبير جداً من الحساسات والمشغلات المعقدة لذلك كان أحد أهم الطرق للتغلب على هذه السلبيات في كلا النوعين هو استخدام المعدات شبه الفعالة [3] التي استطاعت من جهة أخرى أن تجمع بين المزايا المتوفرة في كل منهما إذ أنها تؤمن موثوقية الأنظمة غير الفعالة إضافة إلى بعض مزايا الأنظمة الفعالة ومنها تعدد الاستخدامات و المرونة .

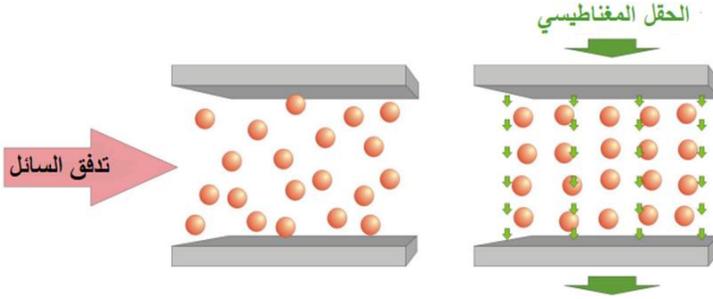
" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي
الريولوجي - دراسة تجريبية "

يتكون المخمد المغناطيسي الريولوجي التقليدي من أسطوانة مقسمة إلى حجرتين مملوءتين بالسائل المغناطيسي الريولوجي يفصل بينهما رأس المكبس الذي يحتوي على ملف مغناطيسي كهربائي كما يوجد فيه فتحات حلقيّة كما في الشكل (1) فعند تحرك ذراع المكبس يتدفق السائل المغناطيسي الريولوجي (MR) بين الحجرتين من خلال هذه الفتحات كما يوجد حجرة غاز في الجزء السفلي لتعويض حجم ذراع المكبس الذي يشغل الحجرة العلوية كما أنه من الممكن وصل أسطوانة إضافية مع المخمد [3]، [4]



الشكل (1) مكونات المخمد المغناطيسي الريولوجي التقليدي

وتأتي فعالية السوائل المغناطيسية الريولوجية من خلال تطبيق حقل مغناطيسي عليها بسبب محاذاة لجزيئات الحديد لتتصطف على شكل سلاسل مترابطة موازية لخطوط الحقل ومتعامدة مع اتجاه الجريان للسائل كما في الشكل (2) وتقاوم هذه البنية الناتجة جريان السائل مسببة تغييراً في لزوجته الظاهرية حيث تتغير حالته من السائلة إلى شبه الصلبة كما يزداد معدل انفعال القص وإجهاد الخضوع له بزيادة الحقل المغناطيسي [5].

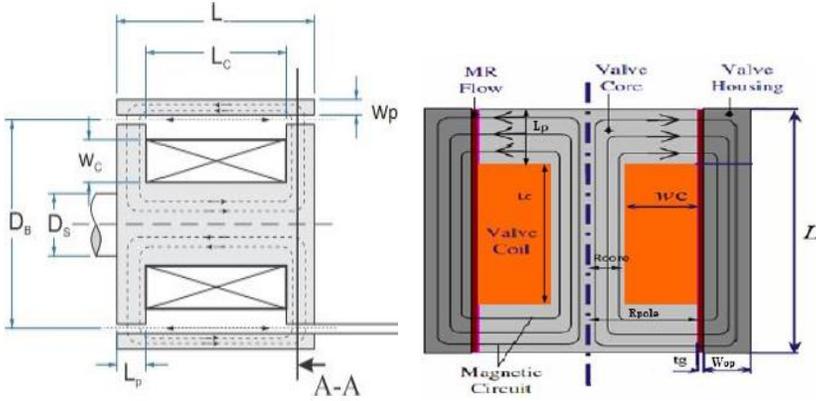


الشكل (2) آلية عمل السائل المغناطيسي الريولوجي

ولقد تعددت الطرق والوسائل التي استخدمها الباحثون لتطوير وتحسين أداء الأجهزة المغناطيسية الريولوجية من مخمدات ومكابح فهناك العديد من البارامترات والنماذج التصميمية التي أبدى تغييرها تأثيراً كبيراً على أداء المخمد فلقد أبدى تغيير شكل حواف قناة السائل المغناطيسي الريولوجي للمكبس تغييراً في انسيابية السائل ومن ثم تحسناً في أداء المخمد كما أنا استخدام أكثر من قناة لمرور السائل في المخمد أدى إلى زيادة قوة التخميد كما أدى إضافة حلقات غير مغناطيسية تتخلل المكبس إلى التحكم بتوجيه الفيض المغناطيسي عبر المكبس ليمر بشكل أكبر في قنوات السائل المغناطيسي الريولوجي مما أدى إلى تحسين التخميد

وسنستعرض فيما يلي بعض التصاميم التي قام بتنفيذها بعض الباحثون والنتائج التي حصلوا عليها فلقد قام الباحث (Soroush Sefidkar-Dezfouli) [6] بالبحث بتقليل الوزن وزيادة المجال الديناميكي للمخمد لاستخدامه في الدراجات الجبلية ولقد اعتمد على التقاطع التقليدي بين الفيض المغناطيسي ومسار الجريان للسائل من خلال الفجوات الحلقية المستخدم عادةً في المخمدات الريولوجية إلا أنه استخدم الألمنيوم عالي المقاومة بدلاً من الفولاذ الكربوني كما اختار سلك الملف من نوع AWG25 كأفضل سلك خفيف الوزن وقام بتصنيع الأجزاء وتجميعها واختبارها فحصل على تصميم للمكبس كما الشكل(3)

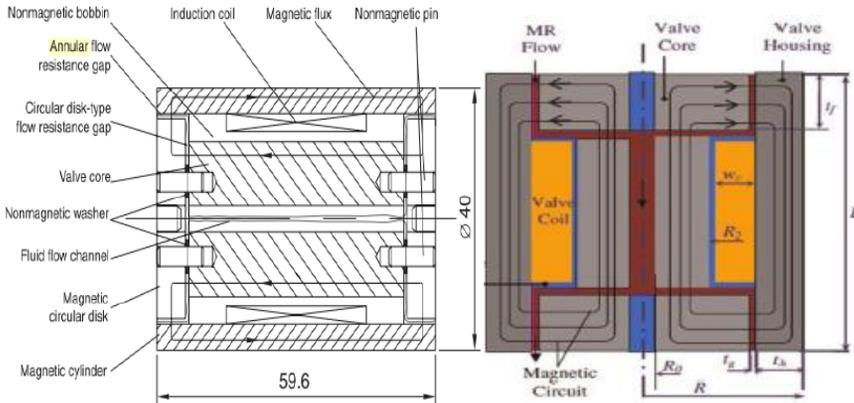
" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي
الريولوجي - دراسة تجريبية"



الشكل (3): تقاطع خطوط الفيض المغناطيسي مع القنوات الحلقية للسائل المغناطيسي
الريولوجي في مخمد مصنوع من الألمنيوم عالي المقاومة

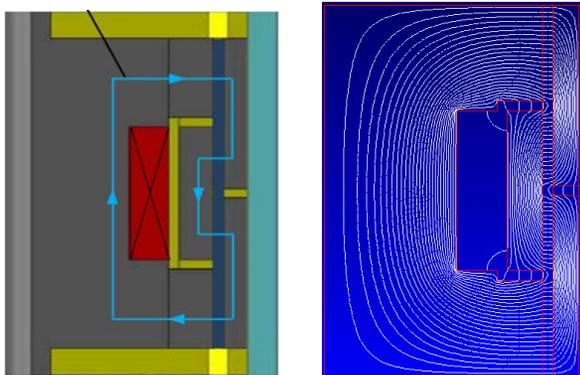
وبعد التصنيع أجريت التجارب وتمت المقارنة بين المخمد المصنع والمخمد التقليدي لإظهار أن بعض أهداف التصميم قد تم تحقيقها وهي تم تخفيض الوزن الكلي للمخمد بنسبة 30% إلا أنه لم يتم تحقيق الحد الأقصى من قوة التخميد لذلك قام الباحث بالتوصية باستخدام الفجوات القطرية بالإضافة إلى الفجوات الحلقية.

كما تعد الزيادة في التيار المطبق على الملف الكهربائي وحجم الجريان للسائل المغناطيسي الريولوجي من أكثر الطرق شيوعاً لزيادة قوة التخميد في المخمدات المغناطيسية الريولوجية ففي تصميم جديد اقترح الباحثون (H. X. Ai, D. H. Wang,) (and W. H. Liao) [7] مخمدًا بقنوات حلقية وقطرية لجريان السائل المغناطيسي الريولوجي و يوضح الشكل (4) مخطط هذا المخمد و مسار جريان السائل المغناطيسي الريولوجي ومسار خطوط الفيض المغناطيسي حيث أن هبوط الضغط الكلي الناتج هو مجموع هبوط الضغط الحلقى وانخفاض الضغط القطري وأظهرت النتائج أنه بزيادة طول قناة الجريان للسائل تزداد قوى التخميد بشكل كبير.



الشكل (4): مخطط بقنوات حلقيّة وقطريّة وشكل مسار جريان السائل المغناطيسي الريولوجي ومسار خطوط الفيض المغناطيسي فيه

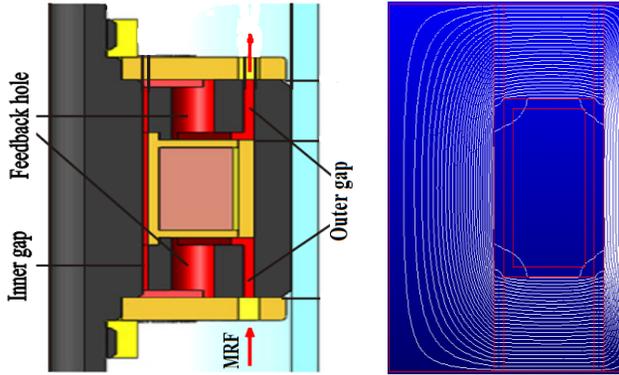
كما قام الباحثون (M. Cheng, Z. B. Chen and J. W. Xing) [8] بتصميم وتطوير مخدم (MR) باستخدام حلقات قابلة للمغنطة وحلقات غير قابلة للمغنطة ليصبح مسار تدفق الحقل المغناطيسي متعرج كما في الشكل (5) وأظهرت النتائج أن قيم كثافة الحقل المغناطيسي على طول الفتحة الحلقية تتغير بتغير قيم التيار المطبق، كما أظهرت النتائج أن كفاءة المخدم المغناطيسي الريولوجي تتحسن باستخدام طريقة تدفق الحقل المغناطيسي المتعرج حيث أن قوة التخميد تزداد بمقدار 1.8 مرة بالمقارنة مع مخدم تقليدي له نفس الأبعاد.



الشكل (5): تصميم مخدم بمسار متعرج لخطوط الفيض المغناطيسي

" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي
الريولوجي - دراسة تجريبية"

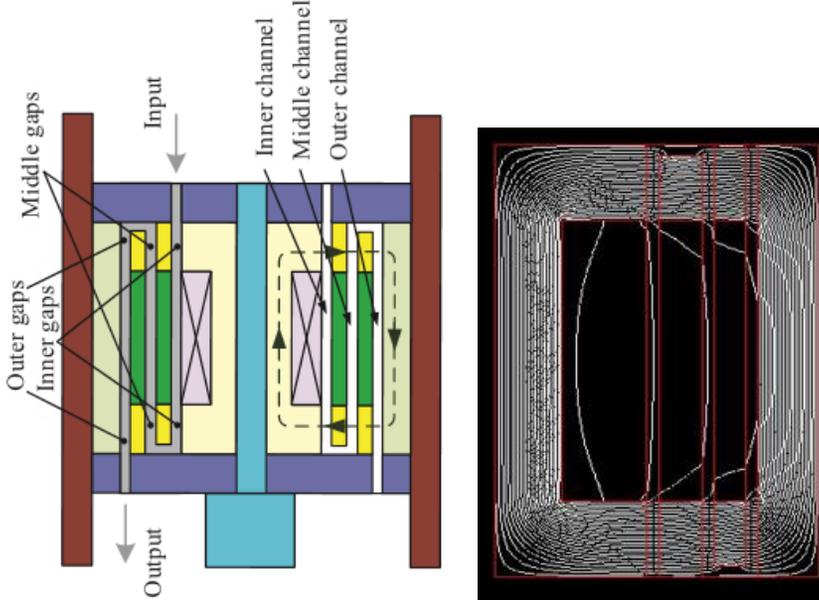
أما الباحثون (K. Kim , Z.B. Chen, D. Yu , and C. Rim) [9] فقد قاموا بتصميم وتصنيع مخمد (MR) حديث يتميز بمسار جريان للسائل بقناتين حلقيتين خارجية وداخلية ترتبطان ببعضهما بقناة لإرجاع السائل كما في الشكل (6) وأظهرت النتائج أن قيم كثافة الحقل المغناطيسي على طول القناة الحلقية تتغير بتغير قيم التيار المطبق كما أظهرت النتائج أن قوة التخميد تزداد أكثر من مرتين بالمقارنة مع مخمد تقليدي له نفس الأبعاد.



الشكل (6): مخمد ذو قناة لإرجاع السائل ومسار خطوط الفيض المغناطيسي فيه

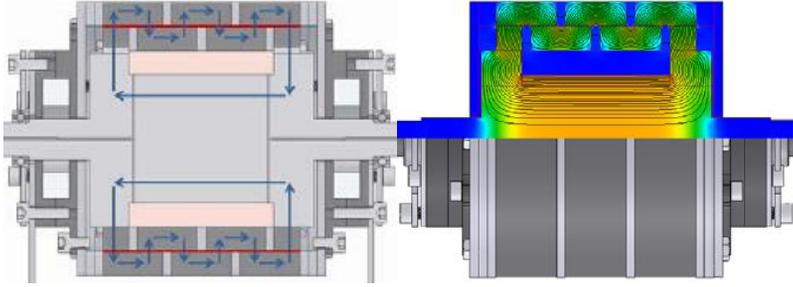
وقام الباحثون [10] Guoliang Hu, Hao Liu, Jinfu Duan And Lifan Yu بتصوير مخمد مغناطيسي ريولوجي جديد له قنوات جريان للسائل من النمط التسلسلي وذلك بغية الحصول على قوة تخميد أكبر بحجم محوري أقل لنظام تعليق عربة حيث تم تجهيز رأس المكبس بزوج من الأغشية وأربع حلقات قابلة للمغطة وثلاث حلقات غير قابلة للمغطة والتي تجمع بشكل متسلسل في قنوات جريان من النمط التسلسلي لتشكيل ثلاث مجموعات من فراغات التخميد المؤثرة كما في الشكل (7) ، تم اختبار النموذج المقترح على جهاز الاختبار وذلك عند قيم تحريض ترددي ومطال وقيم تيار مختلفة

وبينت النتائج التجريبية أن قوة التخميد كانت 6838 N تحت تحريض حمل بتردد 1 Hz ومطال 7.5 mm وتيار 1.5 A وهذه القوة أكبر ب 1.6 مرة من قوة التخميد المتوقعة كما تم إنجاز معامل التخميد المكافئ بمقدار 290 kN/s.m^{-1} والذي يبين أن النموذج المقترح يمكنه التحكم بالاهتزاز بشكل كبير وهو ذو خصائص ميكانيكية جيدة.



الشكل (7): تصميم مخمد بقنوات جريان للسائل من النمط التسلسلي ومسار خطوط الفيض المغناطيسي فيه

قام الباحثون (D.Senkal,H.Gurocak) [11] بتصميم مكبح من نوع (MR) باستخدام حلقات قابلة للمغنطة وحلقات غير قابلة للمغنطة ليصبح مسار تدفق الحقل المغناطيسي متعرج كما في الشكل (8) ولقد تم الحصول على عزم كبح أكبر ب 2.7 مرة من العزم الذي يوفره مكبح تقليدي على الرغم من أنه تم تصغير قطر المكبح بنسبة 33% حيث وصلت قيمة العزم التي تم الحصول عليها إلى 10.9 Nm.



الشكل (8): تصميم مكبح (MR) بمسار متعرج لخطوط الفيض المغناطيسي

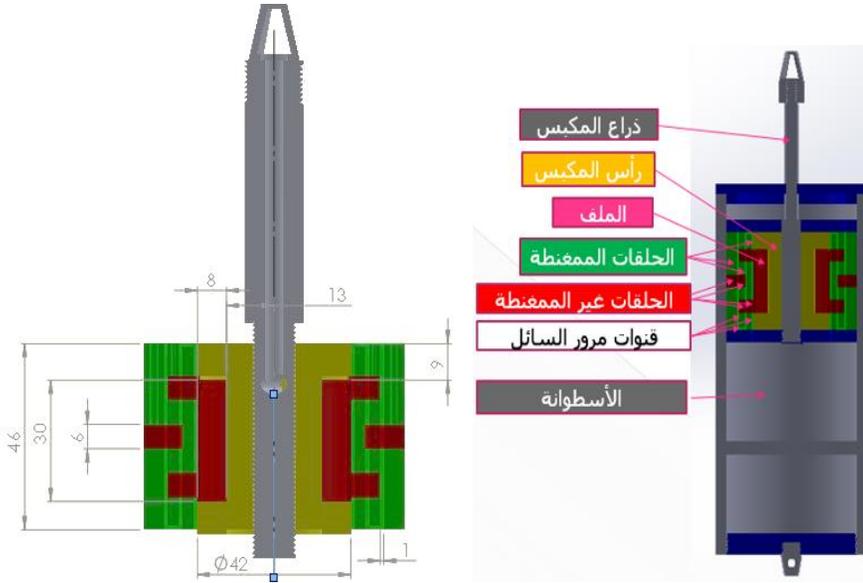
2-هدف البحث:

تحسين قوة التخميد في المخمد المغناطيسي الريولوجي من خلال تعديل تصميم مسار الفيض المغناطيسي ومسار السائل المغناطيسي الريولوجي ضمن المكبس.

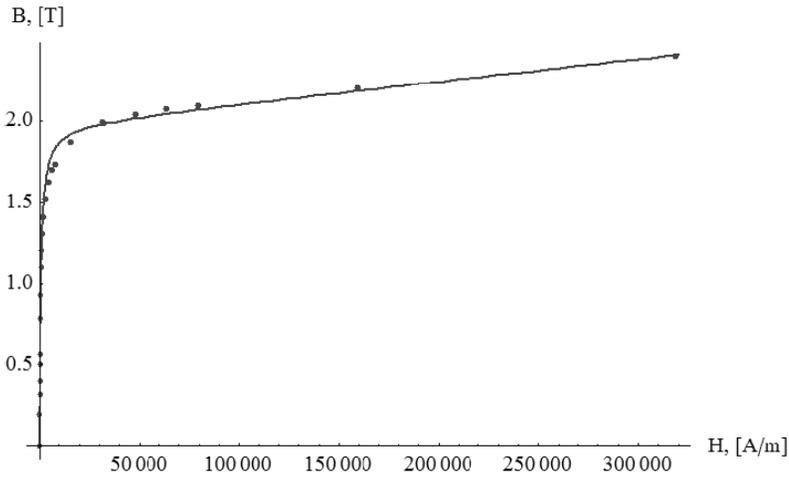
3- مواد وطرق البحث:

تم تصميم وتصنيع نموذج يجمع في آن واحد بين تعريج مسار السائل المغناطيسي الريولوجي و تعريج مسار الفيض المغناطيسي وذلك بإضافة حلقات قابلة للمغطة حلقات وغير قابلة للمغطة تم تجميعها على شكل اسطوانات ثلاثة مركبة ضمن بعضها البعض وداخلها الملف المغناطيسي لتشكل التصميم الجديد للمكبس

و يبين الشكل (9) الشكل الهندسي للمخمد المغناطيسي الريولوجي الذي تم تصنيعه وأهم الأبعاد الأساسية المكونة له والذي يتألف من ذراع المكبس والأسطوانة ورأس المكبس الذي المكون من حلقات قابلة للمغطة تم تصنيعها من معدن الفولاذ steel 1010 الذي له خصائص مغناطيسية جيدة مبينة في الشكل (10) وحلقات غير قابلة للمغطة بسماكة (1 mm) مصنوعة من معدن الكروم (304) الذي له نفوذية مغناطيسية نسبية مقدارها (1) كما تم استخدام السائل المغناطيسي الريولوجي ذو الطراز AMT- SMARTEC الذي له خصائص مغناطيسية جيدة أيضاً مبينة بالشكل (11).

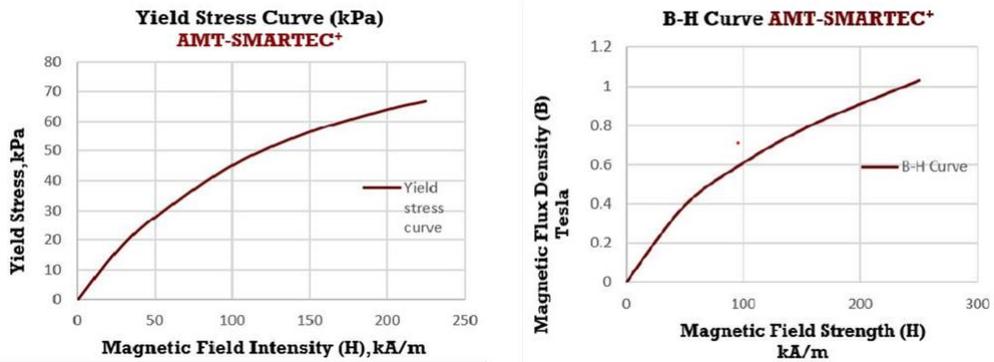


الشكل (9): الشكل الهندسي بالأبعاد النهائية للمخمد الذي تم تصنيعه



الشكل (10): الخصائص المغناطيسية لمعدن الحلقات القابلة للمغنطة steel 1010

" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي الريولوجي - دراسة تجريبية "



الشكل (11): الخصائص المغناطيسية للسائل المغناطيسي الريولوجي

AMTSMARTEC

ويبين الشكل (12) مكونات المخمد وهي ذراع المكبس وأغطيته والأسطوانة و أغطيته والحلقات القابلة للمغطة والحلقات غير القابلة للمغطة والملف الكهربائي والمكبس العائم والسائل المغناطيسي الريولوجي المستخدم (AMT-SMARTEC)



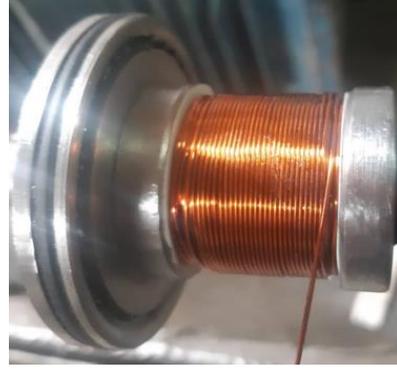
الشكل (12) مكونات المخمد المغناطيسي الريولوجي المصنع

- ولاختبار المخدم المصنع وتقييم أدائه تم إعداد وتصنيع منصة للاختبار وتجهيزها ببعض المعدات والأدوات والأجهزة كما هو مبين بالشكل (13) وهي تشمل على ما يلي :
- المخدم المصنع الذي يحتوي على ملف كهربائي مصنوع من سلك نحاسي قطره 0.7 mm وعدد لفاته 325 لفة كما في الشكل (14)
 - خلية وزنية باستطاعة 1000 kg عدد(2) كما في الشكل (15)
 - مخفض سرعة بنسبة تخفيض 127 مع محرك كهربائي استطاعته 0.55 kW وعدد دوراته 1440 rpm .
 - دارة الأردوينو UNO لمعالجة قيم قوة التخميد وتحويلها إلى قيم رقمية الشكل(16).
 - جهاز معايرة التردد (inverter) استطاعة 3kw مجال التردد (0.1-400) HZ وذلك للتحكم بتردد تيار محرك المخفض وبالتالي التحكم بسرعة المخدم .
 - محولة لمعايرة شدة التيار وهي للتحكم بشدة التيار المطبق على الملف الكهربائي ضمن المجال A (0-6.5) وبالتالي التحكم بكثافة الفيض المغناطيسي المتولد الشكل (17).
 - مخدم نيتروجين لتعويض حجم ذراع المكبس الذي أثناء حركته للأسفل -حاسب محمول لقراءة النتائج .



الشكل (13): المنصة المصنعة والمجهزة للاختبار المخدم

" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي
الريولوجي - دراسة تجريبية"



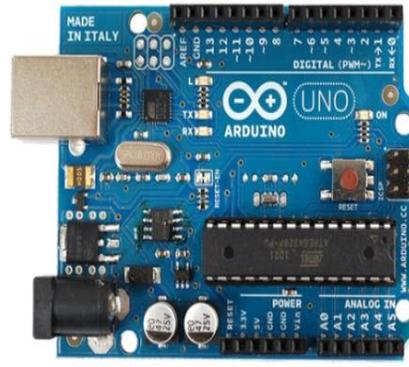
الشكل (14) : الملف الكهربائي النحاسي



الشكل (15) : خلية وزنية استطاعتها 1000 kg



الشكل (17) محولة كهربائية



الشكل (16) دارة الأردوينو UNO

إن الحمولة المطبقة (والتي هي كثافة التيار الكهربائي) تعتمد على عدد اللفات للملف الكهربائي (N) وعلى مقدار التيار الكهربائي الذي يمر فيه (I) وكذلك على مساحة مقطع هذا الملف (A) وتعطى بالعلاقة التالية [12]:

$$J = \frac{N * I}{A} \quad (1)$$

و تعطى قوة التخميد بالعلاقة التالية [13]:

$$F = \frac{12\mu l A p^2}{\pi D h^3} v + \frac{3l A p}{h} \tau y \quad (2)$$

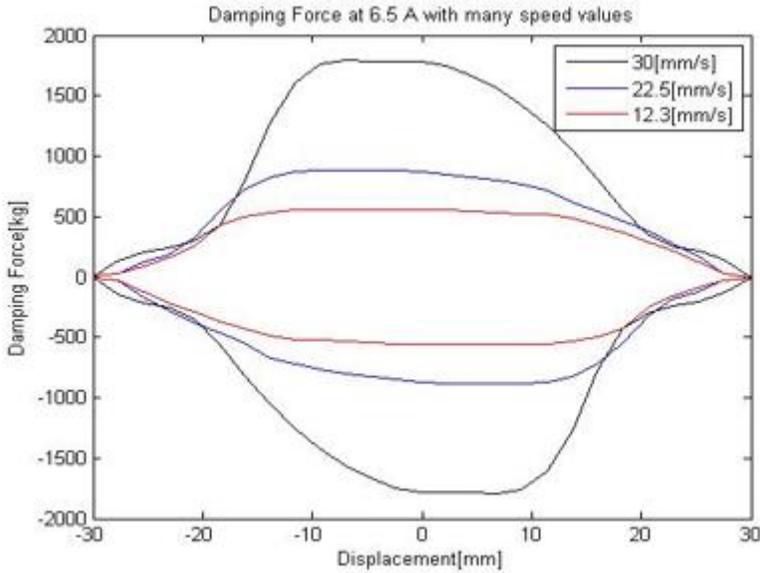
حيث A_p : المساحة الفعالة للمكبس $(\text{mm})^2$ ، L : طول قناة التخميد الفعال (mm)
 D : المحيط الوسطي لكل قناة تخميد (mm) ، h : قطر قناة التخميد (mm)
 v : سرعة المكبس (mm/s) ، μ : اللزوجة الديناميكية للسائل ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) ، τy : إجهاد الخضوع للسائل (kPa) وهو تابع لكثافة الفيض المغناطيسي (T) B الذي بدوره يكون تابع لشدة الحقل المغناطيسي (kA/m) H .

ولتسهيل حساب كل قيمة لإجهاد خضوع السائل المغناطيسي الريولوجي التي تقابل قيمة محددة لكثافة الفيض اعتماداً على السائل الذي تم اعتماده في البحث فقد استخدمت طريقة المربعات الصغرى لتحديد العلاقة التي تربط بين إجهاد الخضوع وكثافة الفيض المغناطيسي وكانت أفضل معادلة هي العلاقة التالية :

$$\tau(B) = -172.8662B^4 + 327.8712B^3 - 192.2188B^2 + 104.1974B - 0.0250 \quad (3)$$

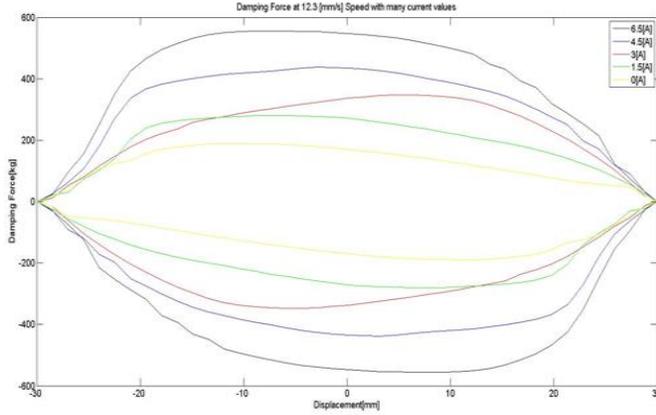
4. النتائج:

تم الاختبار على ثلاث سرعات للمخمد وهي [mm/s] (12.3 ، 22.5 ، 30) عند تيار دخل ثابت [A] 6.5 ومن الملاحظ أنه مع زيادة السرعة تزداد قوة التخميد بشكل ملحوظ كما هو مبين في الشكل (18) وقد تم التوصل لقيمة قوة تخميد تقارب [kg] 1800 خلال الشوط الفعال .



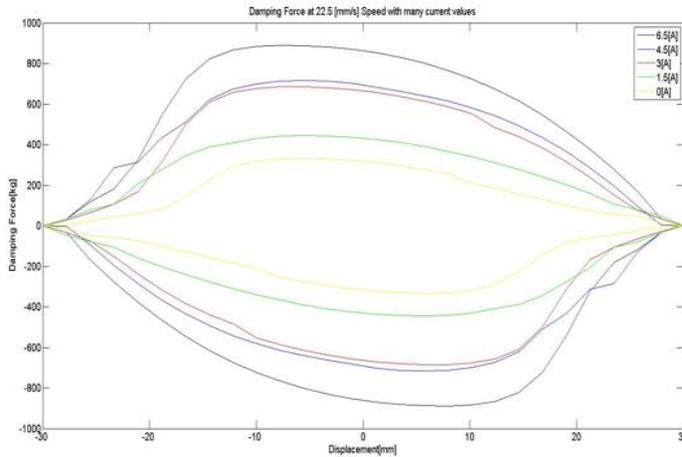
اشكل(18):مخطط قوة التخميد مع تغير سرعة المخمد مختلفة وتيار دخل ثابت [A] 6.5

كما تم الاختبار على عدة قيم تيار دخل وهي A (0-1.5-3-4.5-6.5) عند سرعة ثابتة [mm/s] 12.3 كما بين ذلك الشكل (19) ويلاحظ ارتفاع قوة التخميد مع ارتفاع قيمة تيار الدخل مع ثبات سرعة المخمد وقد تم التوصل لقيمة قوة تخميد تقارب [kg] 600 خلال الشوط الفعال .



الشكل(19):مخطط قوة التخميد عند قيم تيار دخل مختلفة وسرعة ثابتة [mm/s] 12.3

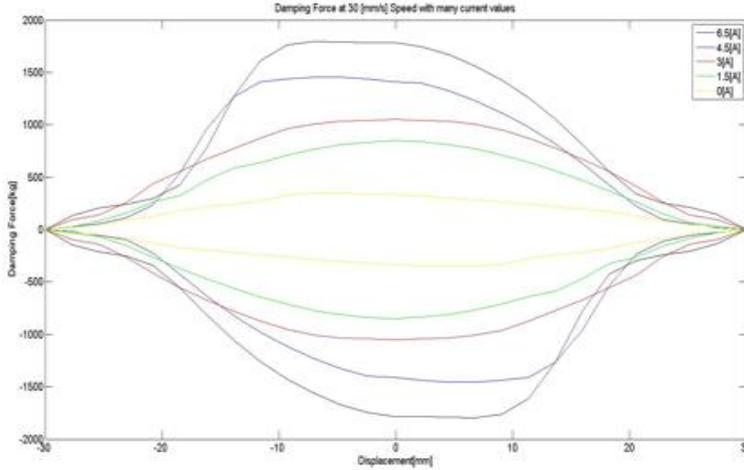
تم الاختبار على عدة قيم تيار دخل وهي A (0-1.5-3-4.5-6.5) عند سرعة ثابتة [mm/s] 22.5 كما يبين ذلك الشكل (20) حيث يلاحظ ارتفاع قوة التخميد مع ارتفاع قيمة تيار الدخل مع ثبات سرعة المخمد وقد تم التوصل لقيم تقارب [kg] 900 خلال الشوط الفعال.



الشكل(20): مخطط قوة التخميد عند قيم تيار دخل مختلفة وسرعة ثابتة [mm/s] 22.5

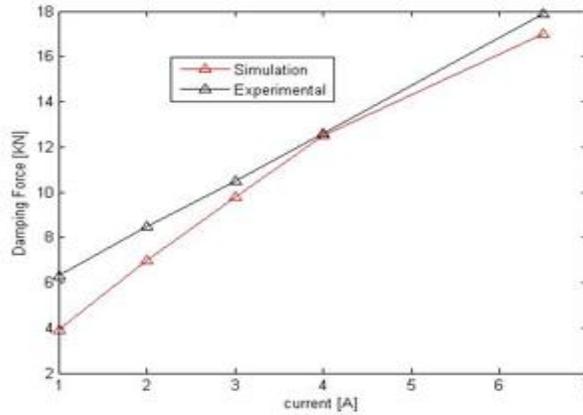
" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي
الريولوجي - دراسة تجريبية"

تم الاختبار على عدة قيم تيار دخل وهي A (0-1.5-3-4.5-6.5) عند سرعة 30 [mm/s] كما يبين ذلك الشكل (21) و يلاحظ ارتفاع قوة التخميد مع ارتفاع قيمة تيار الدخل مع ثبات التردد وبالتالي سرعة المخمد وقد تم التوصل لقيم تقارب 1800 [kg] خلال الشوط الفعال.



الشكل (21): مخطط قوة التخميد عند قيم تيار دخل مختلفة وسرعة ثابتة 30 [mm/s] يبين الشكل (22) مقارنة لتغير قوة التخميد بين الاجراء التجريبي والدراسة النظرية ويلاحظ من الشكل تقارب القيم مع ازدياد تيار الدخل حيث يظهر التقارب جلياً عند تيار 4 [A] إذ تصل قوة التخميد نظرياً إلى 12.5 [KN] وتجريبياً إلى 12.6 [KN] ، في حين تصل قوة التخميد نظرياً إلى 17 [KN] وتجريبياً إلى 17.9 [KN] عند تيار 6.5 [A].

إن زيادة قوة التخميد في المخمد تعبر عن زيادة أدائه وقد تحقق في البحث الحالي زيادة كبيرة في هذه القوة بشكل متناسب ودقيق مع زيادة كثافة التيار التي تزداد بزيادة شدة التيار المطبق على الملف المغناطيسي في المخمد.



الشكل (22) مقارنة لتغير قوة التخميد بين الاجراء التجريبي والدراسة النظرية

5.5. الاستنتاجات:

تم تصنيع النموذج المقترح للمخمد المغناطيسي الريولوجي في البحث وإنجاز التجربة بعد تحقيق التصميم الأمثل بشكل مسبق. وأظهرت النتائج التجريبية أنه بزيادة سرعة المكبس تزداد قوة التخميد ويفسر ذلك العلاقة الرياضية لقوة التخميد حيث ترتبط قوة التخميد بالسرعة بشكل تناسب طردي والسبب الفعلي لذلك هو ازدياد التدفق للسائل بازدياد السرعة مما يحسن من كفاءة التخميد حيث ازدادت قوة التخميد بشكل ملحوظ من [5 KN] تقريباً عند سرعة [12.3 mm/s] إلى [18 KN] عند سرعة [30 mm/s] كما أظهرت النتائج أن قوة التخميد تزداد بازدياد شدة التيار المطبق حيث وصلت قوة التخميد تجريبياً إلى [18 KN] عند تيار أعظمي [6.5 A] في حين أنها كانت [4 KN] تقريباً عند عدم وجود تيار مما يدل إلى أنه تم تحقيق قوة تخميد تصل إلى أكثر من أربعة أضعاف ونصف عند التيار الأعظمي. كما يلاحظ أن قوة التخميد تزداد بشكل تدريجي ومتناسق مع تغير الإزاحة ويصبح شبه مستقر خلال جزء من الإزاحة يدعى بالشوط الفعال لذلك فإن هذا المخمد الذي تم تصنيعه قد حقق الغاية صنع من أجلها .

6-المراجع:

- [1] A. Ashfak, A. Saheed, K. K. A. Rasheed, and J. A. Jaleel, "Design , Fabrication and Evaluation of MR Damper," *world Acad. Sci.*, vol. 53, pp. 358–363, 2009.
- [2] J. D. J. L. R. Morales–menendez, J. C. Tud, and F.–S. M. H, "Control Strategies for an Automotive Suspension with a MR Damper," 2011.
- [3] S. A. Bin Mazlan, "The behaviour of Magnetorheological fluid in squeeze mode," Dublin city university, 2008.
- [4] N. B. Ekreem, "An investigation of Electromagnetic Rigenated strong magnetic fields," Dublin City University, 2009.
- [5] GRAVATT, J2003– Magneto–Rheological Dampers for Super–sport Motorcycle Applications. Blacksburg, 82p.
- [6] DEZFOULI, S. S2014– Design, Simulation, and Fabrication of a Lightweight Magneto Rheological Damper. Canada, 125p.
- [7] H. X. Ai, D. H. Wang, and W. H. Liao, "Design and Modeling of a Magnetorheological Valve with Both Annular and Radial Flow Paths," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, vol. 17, no. 4, pp. 327–334, Apr. 2006.

[8] CHENG, M et al. 2018 “**Design, Analysis, and Experimental Evaluation of a Magnetorheological Damper With Meandering Magnetic Circuit**”, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS,1-10.

[9] KIM, K, CHEN, Z. B., YU, D. and RIM, C 2016 “**Design and experiments of a Novel magneto–rheological damper featuring bifold flow mode**”, Smart Mater .Struct . , V. 25, No. 7, 1-10.

[10] HU, G, et al. 2018 “**Damping performance analysis of magnetorheological damper with serial–type flow channels**”, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 11(1), 1-12.

[11] SENKAL, D and GUROCAK, H 2010 “**Serpentine flux path for high torque MRF brakes in haptics applications**”, Mechatronics, 20(3), 377-383.

[12] MALANKAR, K2006- “**FINITE ELEMENT BASED MODELING OF MAGNETORHEOLOGICAL DAMPERS**”. Kolhapur, India, 94p.

[13] HU,G,et al. 2018 “**Damping performance analysis of magnetorheological damper with serial–type flow channels**”, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 11(1), 1-12.

" تأثير تغيير تصميم المكبس على كثافة الفيض المغناطيسي وقوة التخميد للمخمد المغناطيسي
الريولوجي - دراسة تجريبية"
