

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 18

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. ناصر سعد الدين
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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 مشرقي
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

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

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 (كتابية 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 (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف 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 (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
32-11	د.م. وجيه ناعمة م. أحمد مرعي	التصميم الأمثل للدائرة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء
70- 33	ديما احمد أ.د.م موسى المحمد د.م محمد باكير	تحليل سلوك نظام دورة كالمينا للاستفادة من الحرارة الضائعة في معمل اسمنت طرطوس
100-71	د. غسان ابراهيم أ.د. شفيق باصيل أمين الشدود	دراسة تأثير الإجهاد الحراري والكهربائي على الخواص الضوئية والكهربائية للديود العضوي الباعث للضوء الأبيض
126-101	د. سمر الحلبي	بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل
158-127	د.م نصر عبد الحموي باسل عبد الرحمن	التحليل الإحصائي للأعطال الكهربائية في منظومات توجيه الأجسام الطائرة قريبة المدى

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

م. أحمد مرعي¹

د.م. وجيه ناعمة²

المخلص

تم في هذا البحث اجراء دراسة تحليلية للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية ، حيث تم الوصول الى عدد وحدات النقل NTU المثالي من أجل الوصول إلى التصميم الأمثل للدارة . كما أنه تمت دراسة تأثير اضافة مبادل حراري إلى الدارة وبينت النتائج ارتفاع معامل أداء المضخة الحرارية . وأنجزت الدراسة بتأثير ظروف مناخية مختلفة من حرارة ونسبة رطوبة . وبينت النتائج أن درجة الحرارة اللازمة للتنشيط منخفضة بالمقارنة مع الدارات التجفيفية الصلبة .

الكلمات المفتاحية : .

تكييف الهواء ، الدارة التجفيفية السائلة ، المضخة الحرارية ، عدد وحدات النقل ، درجة حرارة التنشيط .

¹ طالب دكتوراه في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

² استاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

**Optimal design of a liquid desiccant driven by heat pump
by finding the optimum number of transmission units NTU
to be used in air conditioning.**

Ahmad Marei¹

Dr.Wajih Naimeh²

Abstract

In this paper, an analytical study of the liquid desiccant driven by heat pump was conducted, whereby the ideal number of transmission units NTU was reached in order to reach the optimum design. The effect of adding a heat exchanger to the circuit was also studied, and the results showed the high performance coefficient of a heat pump. The study was accomplished by the influence of different climatic conditions, temperature and humidity. The results showed that the temperature required for regeneration is low compared to the solid desiccant circuits.

Keywords:.

Air conditioning , liquid desiccant cooling system , NTU , heat pump ,regeneration temperature.

¹ PHD Student. Department Of Mechanical Power Engineering-
Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering-Damascus
University-Syria

² Associate Professor, Department Of Mechanical Power Engineering
Electrical Engineering-Damascus - Faculty Of Mechanical And
University-Syria

1- هدف البحث وأهميته :

1- التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بال مضخة الحرارية انطلاقاً من النموذج الرياضي .

2- تأثير اضافة مبادل حراري للدارة المدروسة وامكانية رفع معامل الأداء .

2- المقدمة :

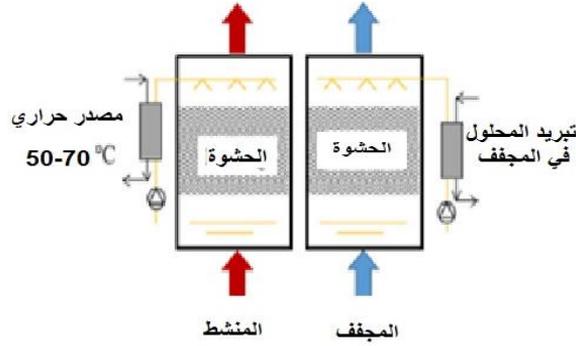
شهدت السنوات الأخيرة تطوراً سريعاً لأنظمة التبريد التجفيفي السائلي لامتلاكها العديد من المزايا عن باقي الأنظمة كالانخفاض في استهلاك الطاقة وامكانية حفظها، في هذا النظام يتلامس الهواء المراد معالجته مع السائل المركز في المجفف مما يؤدي إلى تبريد الهواء وسحب الرطوبة منه وكذلك انخفاض تركيز الملح في المحلول التجفيفي حيث تحصل عملية انتقال الحرارة والكتلة . المحلول الملحي يعاد تنشيطه في المنشط حيث يرتفع تركيز الملح داخله و من ثم يبرد ويعاد إلى المجفف من جديد الشكل (1) ، هناك العديد من البارامترات التي تؤثر في الأنظمة التجفيفية كندفق الهواء و درجة حرارته ورطوبته النسبية وشكل ومساحة الحشوة الداخلية في المجفف والمنشط [1] .

العملية الأمثل تتم بتأثير عدد من العوامل التي تتضمن نوع المحلول تدفق المحلول (تدفق متماثل، متصالب و متوازي)، معدل التدفق ، حالة الهواء الداخل و المحلول [2].

معظم الانظمة التجفيفية السائلة تستخدم تبريد المحلول لتحسين قدرة التجفيف وتستخدم مصادر حرارية لإعادة تنشيط المحلول المخفف من مصادر حرارية ضائعة[3] أو الطاقة الشمسية [4] و أبراج التبريد [5] يمكن استخدامها ايضاً في عملية التبريد المحلول .

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

التصميم الأكثر انتشاراً هو التصميم البرج ذي الحشوة الشكل (2) حيث يحصل داخله عملية انتقال الحرارة والكتلة بين فيلم المحلول المرشوش من أعلى البرج مع الهواء الداخل المراد معالجته [10].



الشكل (1) الدارة التجفيفية السائلة

أصبحت الأنظمة التجفيفية المقادة بالمضخة الحرارية مؤخراً هي الانظمة الأكثر شيوعاً لامتلاكها فوائد عالية من ناحية الحجم والفعالية [2].

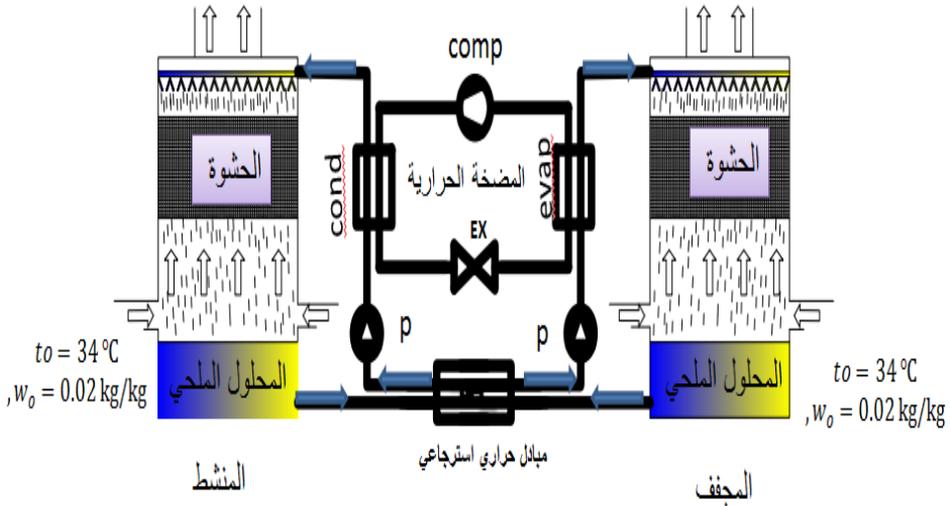
من خلال استخدام معدل الانحراف المطلق the average absolute deviations (ADD) بين التجارب الدراسات السابقة و نمذجة معادلات الطاقة والكتلة تبين انه 9.8 % لذلك يمكن الاعتماد على نمذجة النظام المتعكس المدروس الشكل (2) كنموذج أساسي لتحليل النظام [2] .

3- الموديل الرياضي

- تم دراسة النموذج المتعاكس المحلول النازل يلامس الهواء الصاعد الشكل (1) .
قبل البدء بإيجاد النموذج الرياضي يجب الأخذ بعين الاعتبار الفرضيات التالية:

$$(t_{ex}=41\text{ }^{\circ}\text{C} ; w_{ex}=0.03\text{ kg/kg})$$

$$(t_s=21\text{ }^{\circ}\text{C} w_s=0.01\text{ kg/kg})$$



الشكل (2) دائرة التجفيف السائلي المقاد بالمضخة الحرارية .

1. جميع خصائص الهواء ثابتة عند كل مدخل من مكونات النظام وتتغير خلال مراحل عمل النظام.
2. تهمل جميع تأثيرات هبوط الضغط على سرعة الهواء في اتجاه التدفق.
3. اعتبار محلول المجفف سائل متجانس.
4. عدم وجود أي مزج أو انتقال أو تسرب لمحلول التجفيف خلال مراحل العمل.
5. اعتبار الهواء بعد المجفف غاز مثالي ومحلول التجفيف في النظام سائل مشبع مثالي.

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

6. اهمال الاحتكاك بين محلول التجفيف والهواء بعد المجفف.

لتوصيف عملية انتقال الحرارة والكتلة للهواء سيتم الانطلاق من عدد لويس (Le) و عدد وحدات النقل الكتلي (NTU_m) لتقييم انتقال الحرارة والكتلة في النظام :

$$Le = \frac{\alpha}{\alpha_m \cdot C_{p,a}} \quad (1)$$

$$NTU_m = \frac{\alpha_m \cdot A_V}{m_a} \quad (2)$$

من معادلات توازن الطاقة والكتلة (3) و (4) :

$$m_a dh_a = m_s dh_s \quad (3)$$

$$m_a dw_a = dm_s \quad (4)$$

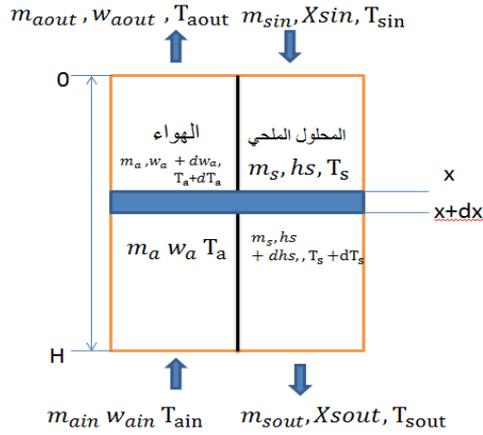
يعبر عن معادلة حفظ الكتلة للمحلول بالعلاقة (5) :

$$d(msX) = 0 \quad (5)$$

معادلات الطاقة وحفظ الكتلة يعبر عنها بالعلاقتين (6) و (7):

$$\frac{dh_a}{dx} = \frac{NTU_m \cdot Le}{H} \cdot \left[(h_a - h_e) + r \cdot \left(\frac{1}{Le} - 1 \right) (w_a - w_e) \right] \quad (6)$$

$$\frac{dw_a}{dx} = \frac{NTU}{H} (w_a - w_e) \quad (7)$$



الشكل (3) انتقال الحرارة والكتلة بين الهواء والمحلول الملحي

3- عدد وحدات النقل الكتلي الأمثل للنظام التجفيفي السائلي

انطلاقاً من المعادلة (2) إن عدد وحدات النقل الكلي ثابت للنظام خلال دورة المحلول في النظام وذلك لأن مساحة تلامس المحلول والهواء ، و تدفق الهواء ، ومعامل انتقال الكتلة ثابتين .

Q_h : الحرارة المعطاة للمحلول المخفف قبل الدخول للمنشط والتي يمكن اخذها من مصدر حراري منخفض حرارة ضائعة .

Q_c : كمية الحرارة المسحوبة من المحلول المركز قبل دخوله لوعاء التجفيف (المجفف) .

يمكن قيادة النظام التجفيفي المدروس باستخدام المضخات الحرارية حيث يتم الاستغلال المنبع الحراري و المصدر اللازم لتبريد المحلول من المكثف والمبخر على التوالي [10].

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

في هذه الدراسة سيكون التصميم الأمثل مرتبط بمصدر الطاقة الحرارية وهو المكثف لتسخين المحلول لمحي الداخل إلى المنشط و المبخر لتبريد المحلول الملحي الداخل إلى المجفف .

سيتم استنتاج عدد وحدات النقل الكتلي المثالي $NTU_{m,OPT}$ وتحديد كمية الحرارة اللازمة للتجفيف والتنشيط عند عدد وحدات النقل الأمثل عند استخدام هواء جديد 100 % .

عدد وحدات النقل الكلي للنظام للمجفف والمنشط ثابت خلال عمل الدارة ويعطى بالعلاقة :

$$NTU_{md} + NTU_{mRe} = NTU_{m.t} \quad (8)$$

Q_c و Q_h

$$Q_h = m_s * (h_{einre} - h_{eoutde}) \quad (9)$$

$$Q_c = m_s * (h_{eoutre} - h_{einde}) \quad (10)$$

Q_c : يستخدم لتبريد المحلول ويجب أن تكون أعلى من فرق كمية الحرارة بين الهواء الجديد وهواء التغذية .

$$Q_{cmin} = m_a * (h_F - h_S) \quad (11)$$

Q_h : يجب ان يكون أعلى من كمية الحرارة التي يتطلبها الهواء الدخلى إلى المنشط والخارج منه .

$$Q_{hmin} = m_a * (h_E - h_F) \quad (12)$$

معادلة حفظ الطاقة للنظام يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية :

$$Q_h + m_a * (h_F - h_S) = Q_c + m_a * (h_E - h_F) \quad (13)$$

كمية الحرارة للهواء الخارج من المجفف والمنشط سيتم تثبيتهما . الفرق بين ال Q_h و Q_c ثابت . انزياح Q_h و Q_c من المجفف والمنشط Q_{offset} ويعطى بالعلاقة (14).

$$Q_{offset} = m_s * (h_{eoutre} - h_{eoutde}) \quad (14)$$

خلال عملية انتقال الحرارة والكتلة تعطى بارمترات المحلول المدروس بالعلاقات (15) - (20) . [6] . [7] :

$$h_{ein} = h_{ain} + (h_{aout} - h_{ain}) * \left(\frac{1 + NTU_m}{NTU_m} \right) \quad (15)$$

$$h_{eout} = h_{ein} + (h_{ain} - h_{ein}) * (NTU_m / (1 + NTU_m)) \quad (16)$$

$$w_{ein} = \left(\frac{1 + NTU_m}{NTU_m} \right) * e^{-NTU_m} - \left(\frac{1}{NTU_m} \right) * w^* + \left(\frac{1 + NTU_m}{NTU_m} \right) * (w_{aout} - w_{ain} * e^{-NTU_m}) \quad (17)$$

$$w_{eout} = w_{ein} + ((NTU_m / (1 + NTU_m)) * (w^* - w_{ein})) \quad (18)$$

$$T_{Sin} = \frac{(h_{ein} - r * w_{ein})}{(c_{pa} + c_{pv} * w_{ein})} \quad (19)$$

$$T_{Soutre} = (h_{eout} - r * w_{eout}) / (c_{pa} + c_{pv} * w_{eout}) \quad (20)$$

w^* : نسبة الرطوبة وهي نقطة تقاطع خط الانتالبي لهواء الدخول و خط الرطوبة النسبية لحالة المحلول الداخل . (يتعلق بنوعية المحلول وتركيزه) .

تعطى الحرارة اللازمة لتسخين المحلول بالعلاقة (22) :

$$Q_h = m_s * (h_{einre} - h_{eoutde}) \quad (22)$$

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

$$Q_h = m_s * \frac{(h_E - h_F) * (1 + NTU_{mre})}{NTU_{mre} + NTU_{mde}} - (h_S - h_F) * (1 + NTU_{mde}) / NTU_{mde} + (h_S - h_F) \quad (23)$$

Q_{offset} يعبر عن بالعلاقة (24) :

$$\begin{aligned} Q_{offset} &= m_s * (h_{eoutre} - h_{eoutde}) \\ &= Q_h - m_s * (h_E - h_F) \end{aligned} \quad (24)$$

انطلاقاً من العلاقات السابقة يمكن الوصول عدد وحدات النقل الكتلي المثالي من العلاقاتين (26) و (27) :

$$\frac{\partial Q_h}{\partial NTU_{mde}} = \frac{\partial Q_{offset}}{Q_{offset}} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_h}{\partial NTU_{mde}} &= m_s * (h_E - h_F) * \left(\frac{1}{NTU_{mde}^2} \right) + (h_S - h_F) \\ &* \left(\frac{1}{NTU_{mde}^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (26)$$

$$(NTU_{mde,OPT} / NTU_{mre,OPT})^2 = \left(\frac{(h_S - h_F)}{(h_E - h_F)} \right) \quad (27)$$

يرتبط عدد وحدات النقل الكتلي بحالة الهواء الداخل والخارج في كل من المنشط والمجفف .

عملية انتقال الكتلة في كل المجفف والمنشط هي عملية متوازنة ومتساوية ، ولكن الأمر يختلف في حالة انتقال الحرارة حيث أن العملية غير متناسقة كون العملية لا تحدث على

خطوط الرطوبة النسبية كما هي حالة انتقال الكتلة . ويوضح الشكل (4) هذا الأمر بين النقاط S , F,E كما أن اختلاف درجات الحرارة Δt في المجفف أعلى منه في المنشط بينما فرق ΔW نفسه في المنشط والمجفف .

وبالتالي فرق الانتالبي في المجفف أعلى منه في المنشط ومنه يكون عدد وحدات النقل في المجفف NTU_{mde} أعلى منه في المنشط NTU_{mre} .

عند أقل انحراف نسبي ل ∂Q_h والذي سيكون أفضل كلما كان قريب من الصفر وبالتالي يمكن الحصول على عدد وحدات النقل الأمثل في المجفف ويمكن الوصول إليه حاسوبياً .

تم كتابة برنامج حاسوبي باستخدام لغة البرمجة matlab لحل المعادلات السابقة والوصل إلى عدد وحدات النقل الأمثل .

4- تطبيق عددي

بافتراض عدد وحدات النقل الكلي = 8 ثابت .

$$(t_F = 34 \text{ }^\circ\text{C} , w_F = 0.02 \text{ kg/kg})$$

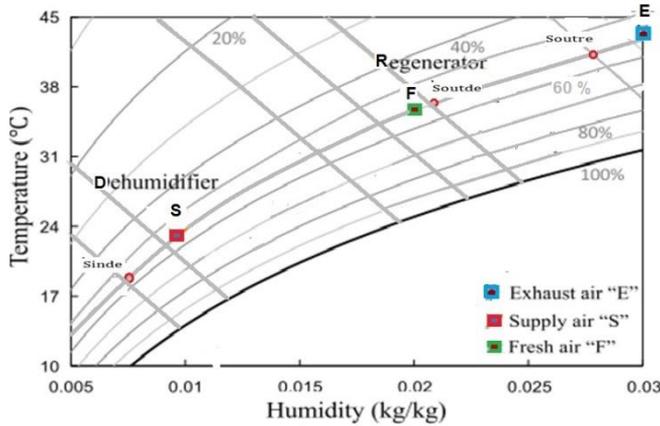
$$(t_S = 21 \text{ }^\circ\text{C} ; w_S = 0.01 \text{ kg/kg})$$

$$(t_E = 41 \text{ }^\circ\text{C} ; w_E = 0.03 \text{ kg/kg})$$

$$m_s = 0.02 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad m_a = 1 \text{ kg/s}$$

الشكل (4) يوضح مخطط موليير (السايكومتري) وتوضع نقاط العملية في الدارة التجفيفية السائلية درجات الحرارة والرطوبة .

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء



الشكل (4) توضع نقاط الدارة المدروسة على مخطط موليير

من المخطط السايكومتري يتبين أن عملية انتقال الكتلة في المجفف والمنشط هي عملية متساقطة ، بينما انتقال الحرارة غير متساق في المنشط والمجفف كون العملية الأولى تتم على خط الرطوبة النسبية وبشكل ثابت . حيث فرق درجات الحرارة في المجفف $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ وبين هواء التغذية والمنشط $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

وهذا يعطي أنه في الحالة المثالية فإن عدد وحدات النقل للكتلة للمجفف أعلى منه للمنشط . وبالتالي :

$$(NTU_{mde}/NTU_{mde})^2 > \left(\frac{h_F - h_S}{h_E - h_F} \right) > 1 \quad (28)$$

يمكن الوصول لعدد وحدات النقل المثالي عندما يكون فرق ∂Q_h أصغرياً وقريباً من الصفر .

ومنه يمكن حساب درجات حرارة المحلول في المنشط والمجفف .

بالعودة الى المثال السابق نجد أن عدد وحدات النقل للمجفف هو

$$NTUmde, opt = 4.15$$

وللمنشط يكون $NTUmre, opt = 3.85$

$$Q_{hmin} = 0.82 \text{ [kW]}, Q_h = 1.01 \text{ [kW]}$$

$$Q_{cmin} = 0.96 \text{ [kW]}, Q_c = 1.12 \text{ [kW]},$$

$$\varepsilon_{dew} = 0.83 ,$$

$$\varepsilon_{rew} = 0.76 ,$$

$$\alpha_m = 0.0021$$

$$T_{Sinre} = 44.9^\circ\text{C}$$

$$T_{Soutre} = 41.6^\circ\text{C}$$

$$T_{Soutde} = 36.36^\circ\text{C}$$

$$T_{Sinde} = 17.9^\circ\text{C}$$

من خلال النتائج يلاحظ انخفاض كمية الحرارة اللازمة للتنشيط قليلة مقارنة بالدارة التجفيفية الصلبة التي تتطلب درجات حرارة عالية [11].

5- دارة التبريد التجفيفي المقاد بالمضخة الحرارية

من خلال عملية ربط الدارة التجفيفية بالمضخة الحرارية فإن المبخر مهمته تبريد المحلول الداخل إلى المجفف ، والمكثف مهمته تسخين المحلول الداخل إلى المنشط . يمكن استخدام طريقة معامل الفعالية وعدد وحدات النقل الحراري ε -NTU لتوصيف الأداء الحراري لكل من المبخر و المكثف المستخدم [8]، يعطى معامل الأداء الحراري للمكثف والمبخر بالعلاقتين (29) (30):

$$T_{evap} = T_{Soutre} - \frac{T_{Soutre} - T_{Sinde}}{\varepsilon_{evap}} \quad (29)$$

$$T_{cond} = T_{Soutde} + \frac{T_{Sinre} - T_{Soutde}}{\varepsilon_{cond}} \quad (30)$$

للمثال السابق نجد أن :

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

$$T_{evap} = 7.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cond} = 48 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

حيث معامل الفعالية لكلا المبادلين $\varepsilon = 0.7$

من القانون الثاني في التبريد نجد العلاقة (31) .

حيث المعامل μ يصف مدى اقتراب الدارة المثالية من الدارة الفعلية وهو دوماً أقل من 1

لذلك معامل أداء المضخة الحرارية يعطى بالعلاقة (31) [2] :

$$COP_{hp} = \mu * \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}} \quad (31)$$

$$\mu = 0.50$$

$$COP_{hp} = 4.38 .$$

6 - اضافة مبادل حراري للدارة المدروسة بين المحلول الخارج من المنشط والخارج من المجفف وتأثير ذلك على معامل الأداء .

بإضافة مبادل بين المحلول الخارج من المجفف والمتجه نحو المنشط والمحلول الخارج

من المنشط والمتجه نحو المجفف للدارة المدروسة وباعتبار أن $\varepsilon = 0.7$

$$T_{Soutde} = 36.36^{\circ}\text{C}$$

$$T_{Sinde} = 17.9^{\circ}\text{C}$$

$$\varepsilon = \frac{T_{Soutde2} - T_{Soutde}}{(T_{Soutre} - T_{Soutde})} \quad (32)$$



الشكل (5) المبادل الحراري الاسترجاعي

درجة حرارة المحلول بعد الخروج من المبادل

$$T_{Soutde 2} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_{Soutre 2} = 38^{\circ}\text{C}$$

درجة حرارة المبخر والمكثف :

$$T_{evap2} = T_{Soutre2} - \frac{T_{Soutre2} - T_{Sinde}}{\epsilon_{evap}} \quad (33)$$

$$T_{cond2} = T_{Soutde2} + \frac{T_{Sinre} - T_{Soutde2}}{\epsilon_{cond}} \quad (34)$$

يعطى معامل الأداء بالعلاقة (35) :

$$cophp2 = \mu * \frac{T_{evap2}}{T_{cond2} - T_{evap2}} \quad (35)$$

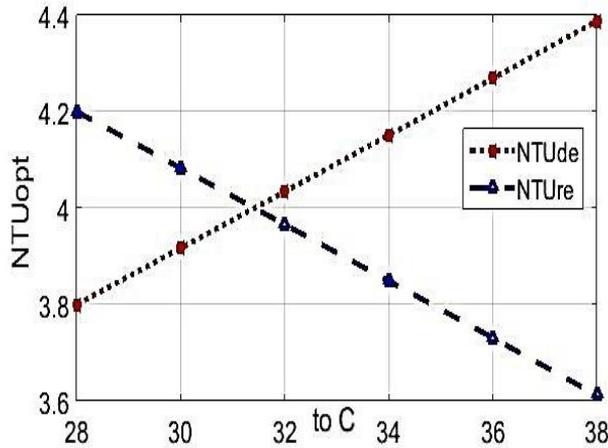
$$T_{evap2} = 9.37^\circ\text{C}$$

$$T_{cond2} = 47^\circ\text{C}$$

$$cophp2 = 4.7$$

تبين من خلال النتائج ارتفاع في معامل اداء الدارة التبريد بإضافة المبادل الاسترجاعي.

7- تأثير تغير الظروف المناخية المراد معالجتها على عدد وحدات النقل NTU_{mde}

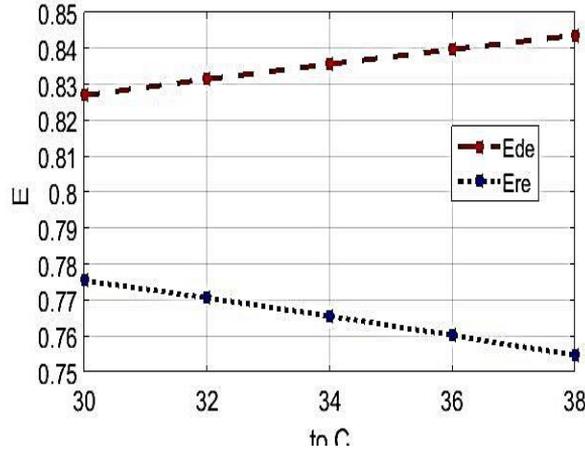


الشكل (6) تأثير تغير درجة الحرارة الخارجية على وحدات النقل .

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

من الشكل تبين أهمية اختيار عدد وحدات نقل ملائم لتغير درجة الحرارة المراد معالجتها ويمكن التحكم بتغير عدد وحدات النقل بتغير تدفق المحلول ودرجة حرارته إلى المنشط والمجفف .

8- تأثير الظروف الخارجية على معامل أداء المنشط والمجفف



الشكل (7) تأثير تغير درجة الحرارة على أداء المجفف والمنشط .

حيث يتم تقييم أداء المجفف ϵ_{dew} والمنشط ϵ_{rew} [7] بالعلاقتين (36) و(37) :

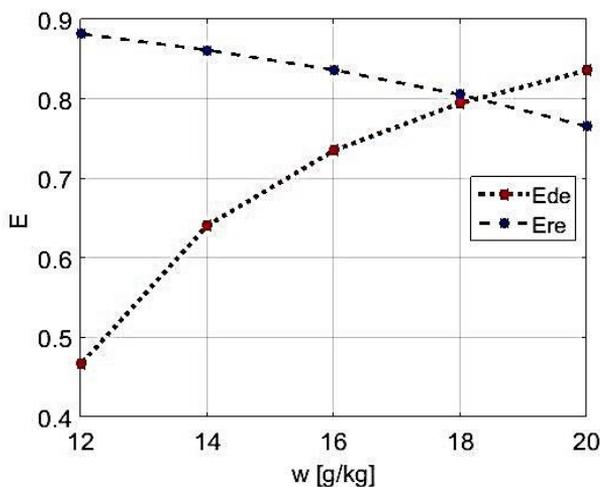
$$\epsilon_{dew} = \frac{(W_o - W_S)}{(W_o - W_{ein.de})} \quad (36)$$

$$\epsilon_{rew} = \frac{(W_o - W_E)}{(W_o - W_{ein.re})} \quad (37)$$

يرتفع أداء المجفف وينخفض أداء المنشط مع ارتفاع درجة الحرارة المعالجة

$$w_F = 20 \text{ g/kg} \quad t_F = 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

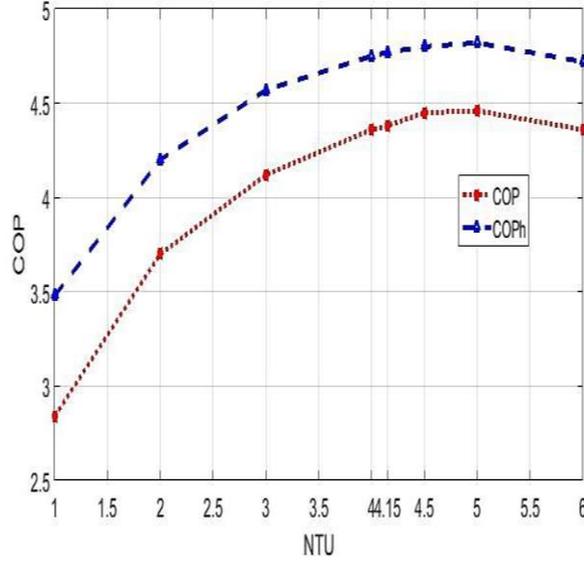
9- تأثير الرطوبة على أداء المجفف والمنشط



الشكل (8) تأثير تغير الرطوبة على معامل الأداء للمنشط والمجفف

مع زيادة الرطوبة المعالجة يزداد أداء المجفف بشكل كبير مقارنة مع انخفاض أداء المنشط مما يسمح بتخفيض حجم المنشط مقارنة بحجم المجفف .

10- تأثير عدد وحدات النقل NTU_{mde} على معامل أداء المضخة الحرارية



الشكل (9) تأثير عدد وحدات النقل على معامل أداء المضخة الحرارية

يوضح الشكل (9) أهمية الاختيار الأمثل لعدد وحدات النقل الكتلي على معامل الأداء حيث أن معامل الأداء يقترب من أن يكون مثاليا عند عدد وحدات النقل الأمثل كما يوضح الشكل أهمية استخدام المبادل الحراري في الدارة المدروسة .

11-النتائج والتوصيات

تم في هذا البحث اجراء دراسة تحليلية لدارة التبريد التبريدية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية حيث تم استخدام طريقة عدد الوحدات الأمثل للوصول إلى التصميم الأمثل وقد تم استنتاج ما يلي :

1- مقارنة مع الدراسات السابقة بينت الدراسة أهمية اضافة مبادل حراري للدارة المدروسة حيث رفع معامل أداء المضخة الحرارية حيث أنه عدد وحدات النقل

المثالي $NTU_{mde,opt}$ كان معامل الأداء قبل اضافة المبادل الحراري 4.38 وبعد اضافته 4.7.

عند العمل على الظروف الخارجية درجة الحرارة ومضمون الرطوبة ($t_F = 34\text{ }^\circ\text{C}$, $w_F = 0.02\text{ kg/kg}$) وعند $NTU_{mde,opt} = 4.15$ تبين انخفاض في حرارة التنشيط $44.9\text{ }^\circ\text{C}$ ، مما يسهم بربط الدارة مع المصادر الحرارية المختلفة (الطاقة الشمسية ، المضخات الحرارية ،الحرارة الضائعة)

- 2- أهمية اختيار عدد وحدات نقل NTU_m ملائم لتغير درجة الحرارة المراد معالجتها ويمكن التحكم بتغير عدد وحدات النقل NTU_m بتغير تدفق المحلول ودرجة حرارته إلى المنشط والمجفف .
- 3- تأثير الحرارة والرطوبة على أداء المجفف أعلى منه في المنشط وخاصة من ناحية إزالة الرطوبة مما يلعب دوراً في حجم المجفف مقارنة بحجم المنشط .

12=المراجع

- [1] Mei L, Dai YJ, 2008- **A technical review on use of liquid-desiccant dehumidification for air-conditioning application**. Renew Sustain Energy Rev 2008;12(3):662e89
- [2] X.Song, L.Zhang, X. Zhang, 2018-**NTUm-based optimization of heat or heat pump driven liquid desiccant dehumidification systems regenerated by fresh air or return air** . Energy 158 269e280
- [3] Sua B, Han W, Sui J, Jin HG, 2017 -**A novel liquid desiccant dehumidification system driven by low-temperature heat for industrial application**. Energy Procedia.105:1953e9.

- [4] Jamar A, Azmi WH, Norhafana M, Razak AA. 2016- **A review of water heating system for solar energy applications.** Int Commun Heat Mass Tran 2016;76:178e87.
- [5] Zhang L, Hihara E, Saikawa M, 2012- **Combination of air-source heat pumps with liquid desiccant dehumidification of air.** Energy Convers Manag;57: 107e16.
- [6] Liu XH, Jiang Y, Xia JJ, Chang XM, 2007- **Analytical solutions of coupled heat and mass transfer processes in liquid desiccant air dehumidifier/regenerator.** Energy Convers Manag;48(7):2221e32.
- [7] Zhang L, Wei HY, Zhang XS, 2017- **Theoretical analysis of heat and mass transfer characteristics of a counter-flow packing tower and liquid desiccant dehumidification systems based on entransy theory.** Energy;141:661e72.
- [8] S.Kakaç,H.Liu, A.Pramuanjaroenkij , 2012- **heat exchanger Selection, Rating,and Thermal Design .** CRC Press ,Taylor & Francis Group ; 33-78
- [9] X.H. Liu, Y . Jiang, J.J. Xia, X.M. Chang, 2007- **Analytical solutions of coupled heat and mass transfer processes in liquid desiccant air dehumidifier/regenerator .**Energ Convers Manage 48 , 2221-2232.
- [10] و ناعمة ، 2010- **المضخات الحرارية وتطبيقاتها .** جامعة دمشق.
- [11] ر جورج ، و ناعمة ، ط. قاسم ، م. أرصايغ ، ر . المصري ، س عجيب ، ، 2008- **مبادئ الطاقة الشمسية وتطبيقاتها .** جامعة البعث.

دلالات الرموز المستخدمة

a : الهواء . S المحلول . e هواء التوازن ، h تسخين المحلول ، c تبريد المحلول
 E : هواء الخارج من المنشط ، F الهواء الخارجي ، S هواء التغذية . out. الخارج . in. الداخل . 2. تمثل
حالة المحلول بعد المبادل الحراري الاسترجاعي . de : المجفف . re : المنشط .

h : الانتالبي (kJ/kg.K) . w : نسبة الرطوبة $\left(\frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgAir}}\right)$. t : درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$)

X : تركيز المحلول (%) .

m التدفق هواء (kg/s)

NTU: عدد وحدات النقل

Q_{offset} : انزياح حرارة التسخين عن التبريد (kW)

NTU_{opt}: عدد وحدات النقل المثالي

w^* نسبة الرطوبة وهي نقطة تقاطع خط الانتالبي لهواء الدخول و خط الرطوبة النسبية لحالة
المحلول الداخل . (يتعلق بنوعية المحلول وتركيزه)

COP_{hp} : معامل أداء المضخة الحرارية (دائرة التبريد الانضغاطية) .

evap: مبخر المضخة الحرارية .

cond: مكثف المضخة الحرارية .

ε : معامل الفعالية (%) .

μ : معامل يصف مدى اقتراب الدارة الفعلية من الدارة المثالية .

r حرارة التبخر (kJ/kg) .

α_m معامل انتقال الحرارة الكتلي .

A_T مساحة التلامس بين الهواء والمحلول الملحي m^2

cp الحرارة النوعية (kJ/(kg.K))

التصميم الأمثل للدارة التجفيفية السائلة المقادة بالمضخة الحرارية عن طريق ايجاد عدد وحدات النقل
الأمثل لاستخدامها في تكييف الهواء

تحليل سلوك نظام دورة كالينا للاستفادة من

الحرارة الضائعة في معمل اسمنت طرطوس

طالبة دكتوراه): م.ديما نعمان احمد: معيدة موفدة داخلياً إلى

قسم المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس

أ.د.م موسى المحمد: رئيس قسم المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

د.م محمد باكير: أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهك - جامعة البعث.

ملخص

في هذا العمل تم إجراء نمذجة ترموديناميكية، وتحليل بارامتري للنظام المقترح لدورة كالينا بغرض الاستفادة من الحرارة المهدورة في غازات عادم التسخين المسبق للمواد الأولية في معمل اسمنت طرطوس بإنتاجية 1300 طن من الكلنكر يومياً للفرن، بهدف تقييم سلوك الدورة الحراري تبعاً لتأثير البارامترات الرئيسية في الدورة، وتحسين هذه البارامترات فيما يتعلق بالاستطاعة الكهربائية الناتجة والكفاءة الحرارية.

وقد تبين عند بارامترات محددة لمنطقة الفاصل وجود قيم عظمى وقيم دنيا لتركيز الأمونيا ضمن الخليط فيما يتعلق بالاستطاعة الكهربائية الناتجة، وتستطيع هذه الدورة توليد 2724 [kW] من الطاقة الكهربائية بكفاءة حرارية قدرها 23.89% .

كلمات مفتاحية: دورة كالينا، استعادة الحرارة المهدورة، توليد الطاقة، تركيز الأمونيا،

صناعة الاسمنت

Analysis of the behavior of the Kalina cycle system to benefit from the wast heat at the Tartous cement plant

Abstract

In this work, thermodynamic modeling and parametric analysis of the proposed system for the Kalina cycle were carried to benefit from the wast heat at the exhaust gases of preheating the raw materials in the Tartous cement plant, which a production capacity of 1300 tons of clinker per day per kiln, with the aim of evaluating the behavior of the thermal cycle according to the influence of the main parameters of the cycle. And optime these parameters in terms of the output electrical power and thermal efficiency.

In specific parameters of the separator, optimum and minimum values of the ammonia concentration within the working fluid were found in relation to the electrical output power, and this cycle could generate 2724 [kW] of electrical energy with a thermal efficiency of 23.89%.

Keywords: Kalina cycle, Waste heat recovery, Power generation, Ammonia concentration, Cement industry.

1- مقدمة:

يركز الباحثون على تقنيات جديدة لتسخير موارد الطاقة المتجددة، إلى جانب تطوير أنظمة تحويل طاقة أكثر كفاءة، وقد تم بذل جهود كبيرة لتوليد الطاقة من خلال استخدام مصادر الحرارة ذات درجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة مثل عادم التوربينات الغازية، ومحركات الاحتراق الداخلي، والمحاليل الملحية الجوفية، والحرارة المهدورة الناتجة عن العمليات الصناعية... إلخ، إذ تتطلب درجة حرارة هذه المصادر دورات ترموديناميكية أخرى غير الدورة التقليدية .

تعد صناعة الإسمنت واحدة من أقوى الصناعات المرشحة لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام الحرارة المهدورة فيها، إذ إن حوالي 40% من الحرارة المستخدمة في عملية إنتاج الكلنكر تطرح في الجو دون استخدام [1].

تعتبر دورة كالينا مناسبة بشكل خاص لدرجة الحرارة المتوسطة المتوفرة في عادم التسخين الأولي الناتج عن الأفران في مصنع الاسمنت، وهي تعتمد على استخدام خليط من الماء والامونيا كجسم عامل فيها، حيث أن الخصائص الترموديناميكية لهذا الخليط وتغير درجة حرارته أثناء عملية الغليان والتكثيف، إلى جانب القدرة على تغيير تركيز الأمونيا والمياه في نقاط مختلفة من الدورة، يحسن من فعالية اكتساب الحرارة وطرحها ونقلها، حيث أن تحسين عمليات نقل الحرارة تزيد من كفاءة محطة توليد الطاقة مما يؤدي إلى إنتاج كمية أكبر من الكهرباء من مصدر حراري ثابت.

ما يجعل من دورة كالينا خياراً مثيراً للاهتمام في مجال محطات الطاقة لتحويل الحرارة المهدورة في صناعة الإسمنت إلى طاقة كهربائية.

2- دراسة مرجعية:

تمت دراسة دورة كالينا منذ أن حصلت على براءة اختراع في عام 1984، و تم اقتراح العديد من إصدارات نظام دورة كالينا القابلة للتطبيق على أنواع مختلفة من مصادر الحرارة لإنتاج الطاقة [1.2.3.4]، من بينها تطبيقات استعادة الحرارة المهدورة في صناعة الصلب ومصفاة النفط وغازات العادم في محركات الاحتراق الداخلي والتوربينات الغازية.

وركزت بعض الدراسات على مقارنة الأداء مع دورات الطاقة الأخرى، حيث حققت دورة كالينا كفاءة حرارية أعلى من دورة رانكن عند درجة حرارة المصدر من $135-200^{\circ}\text{C}$ [5] ، وقد أظهرت أداء أفضل من دورة رانكن العضوية (ORC) عند 180°C [6] ، وحققت دورة كالينا لاستعادة الحرارة عند 300°C ، وحرارة مياه التبريد 25°C ، كفاءة حرارية تبلغ 21%، وكفاءة اكسيرجي 48% [7] .

قام الباحثون بتحديد البارامترات الرئيسية المؤثرة على أداء الدورة وتحسينها، وتوصلو إلى قيم مثلى لتركيز الامونيا تحت شروط تشغيلية معينة [8.9] .

أجرى الباحثون [10] مقارنة بين دورة كالينا ودورة ORC ودورة SRC أحادية ومزدوجة الضغط لاستعادة الحرارة من عادم التسخين المسبق وهواء تبريد الكلنكر في مصنع للاسمنت، وقد حققت دورة كالينا أفضل أداء، وكفاءة إكسيرجي أعلى من الدورات المدروسة.

تم دراسة نظام دورة كالينا البسيط (KCS34) [11] لاسترداد الحرارة المهدورة من عادم التسخين المسبق في معمل للإسمنت، ودراسة البارامترات الرئيسية في الدورة مثل تركيز الامونيا، وضغط مدخل التوربين، ضمن مجال واسع للحصول على مجموعة البارامترات

التي تحقق أقصى أداء للدورة من حيث الاستطاعة الكهربائية المنتجة، والكفاءة الحرارية والأكسيريحية، والتكلفة، وتبين أن اختلاف الضغط له تأثير كبير على أداء الدورة مقارنة بتركيز الامونيا في مدخل التوربين .

عمل الباحثون [12] على إجراء التحليل الاقتصادي الحراري لدورة كالينا نظام (KCS1) لاستعادة الحرارة من عادم أجهزة التسخين الإعصارية لمصنع للاسمنت، بتطوير نموذج حاسوبي في برنامج EES لمحاكاة الدورة، وتقدير تكلفة توليد الكهرباء، والوصول إلى بارامترات الحالة الأفضل للحصول على أقصى طاقة بأقل تكلفة ممكنة، وتم اعتبار دورة كالينا دورة تنافسية في قطاع توليد الكهرباء البرازيلي .

قام الباحثون [13] بدراسة نظام دورة كالينا (KCS11) لدرجات الحرارة المنخفضة مع استبدال الصمام الخانق بموسع ثنائي الطور، وتحسين البارامترات، وقد أظهرت هذه الدورة كفاءة حرارية تراوحت بين 7.9-10.5% .

وقد أشارت الأبحاث إلى أن دورة كالينا تعتبر دورة تنافسية من حيث تكلفة الاستثمار، وتكلفة توليد الكهرباء، في تطبيقات متعددة [14,15] ومنها مجال صناعة الاسمنت [11,12,16].

يعتمد النظام المناسب وشروطه التشغيلية لتوليد الطاقة من الحرارة المهدورة في صناعة الاسمنت، على شروط المصدر الحراري لهذا المصنع وبالتالي لايمكن تطبيق تجارب مصنع معين على مصنع آخر.

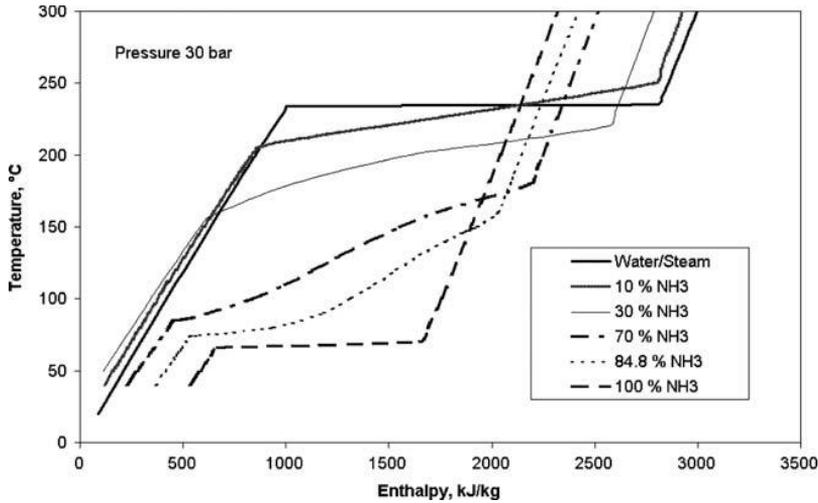
3- هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحليل تأثير البارامترات الرئيسية في دورة كالينا المقترحة على سلوك الدورة من الناحية الترموديناميكية، وذلك بغرض تحديد الظروف الأفضل لعمل

الدورة فيما يتعلق بالاستطاعة الكهربائية الناتجة، والكفاءة الحرارية، وفق شروط غازات العادم للتسخين المسبق في مصنع إنتاج الاسمنت بطرطوس.

4- دورة كالينا:

في دورة كالينا يتم نقل الحرارة من المصدر ذو درجة الحرارة المنخفضة إلى الجسم العامل، وهو عبارة عن خليط من الامونيا والماء، وتعد الميزة الكبرى لجسم عامل ثنائي من هذا النوع هو أن كلاً من عمليتي التبخر والتكثيف تحدثان في مدى من درجات الحرارة المختلفة، حيث تتغير نسبة الخليط الثنائي أثناء عملية التبخر بسبب تبخر الأمونيا أولاً نتيجة انخفاض درجة حرارة غليانها (إذ كلما زاد تركيز الأمونيا في الخليط انخفضت درجة حرارة الغليان)، وبالتالي فإن الخليط يغلي عند درجة حرارة متغيرة حسب تغير نسبة الخليط (كذلك الأمر في عملية التكثيف). نتيجة لذلك يحدث تطابق أفضل بكثير مع مصدر الحرارة مما يمكن تحقيقه في دورة رانكن التقليدية حيث تظل درجة الحرارة ثابتة أثناء الغليان حتى يتم تحويل كل الماء إلى بخار، وتوضح المنحنيات المختلفة في الشكل (1) [17]، درجة حرارة الغليان المتغيرة لتركيبات مختلفة من خليط الأمونيا والماء مقارنة مع درجة حرارة الغليان الثابتة للماء.



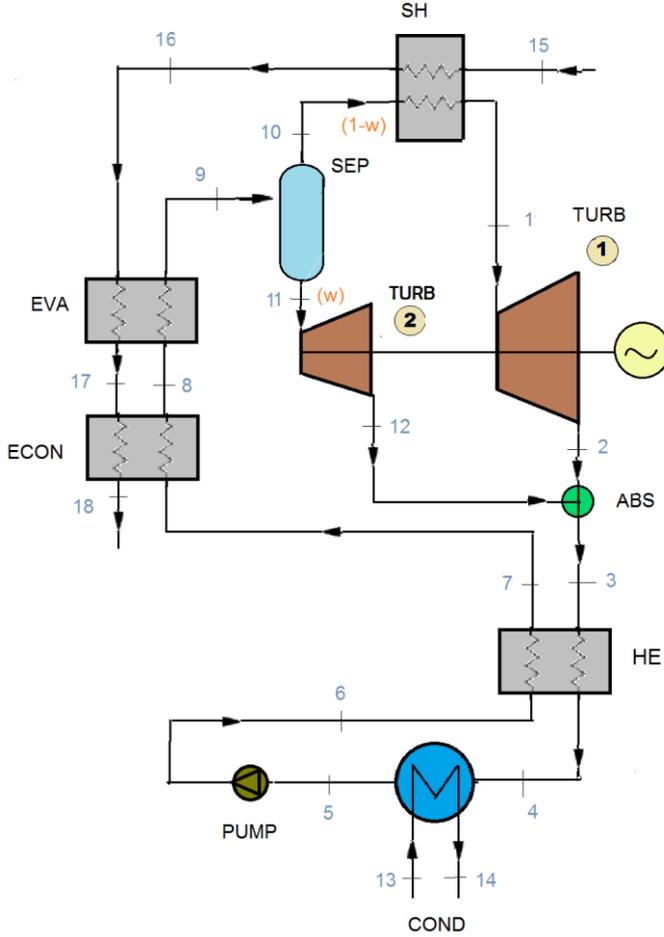
الشكل (1) مقارنة بين غليان الماء وتركيبات مختلفة من خليط (ماء-أمونيا) عند الضغط [30 bar]

5- منهجية البحث:

تم في هذا البحث تطوير نموذج حاسوبي يحاكي عمل الدورة رياضياً، اعتماداً على المبادئ الأساسية في الترموديناميك، ومعادلات توازن الكتلة والطاقة والتركيز والانتروبي لكل مكون من مكونات الدورة، باستخدام البرنامج الحراري (EES) Engineering Equation Solver، الذي يمكن من التعامل مع الجداول الترموديناميكية بكل مرونة، بالإضافة لاحتوائه على قاعدة بيانات كبيرة من الخصائص الفيزيائية الحرارية للسوائل المختلفة مما يسمح بالحساب السريع والدقيق لخصائص خليط الأمونيا مع الماء عند حالات مختلفة في الدورة، ويعتمد (EES) على صيغة ابراهيم وكلين [18] لحساب خصائص الخليط، كما تم تحسين البارامترات اعتماداً على الخوارزمية الجينية المتاحة في هذا البرنامج.

5-1 وصف الدورة المقترحة:

يوضح الشكل (2) المخطط المقترح لنظام دورة كالينا لاستعادة الطاقة الحرارية من عادم غازات التسخين المسبق في معمل اسمنت طرطوس.



الشكل (2) المخطط المقترح لاستعادة الحرارة من غازات عادم معمل الاسمنت

في هذه الدورة يتم تسخين الجسم العامل في الموفر (Economizer)، ثم تبخيره في المبخر (Evaporator)، ويخرج الجسم العامل من المبخر بطورين يتم فصلهما في الفاصل (Separator)، إلى خليط بخار غني بالأمونيا (النقطة 10)، وخليط سائل فقير

بالأمونيا(النقطة 11)، بعد ذلك يدخل خليط البخار إلى المحمص (Super Heater) ثم يتمدد في التوربين البخاري (turbine1)، بينما يتمدد خليط السائل في الموسع ثنائي الطور (Tow phase expander,turbin2)، ويلتقي التياران عند الضغط المنخفض ذاته في (النقطة 3) (Absorber)، يتكثف الخليط في المكثف (Condenser) ثم يزداد ضغطه في المضخة (Pump)، ويمر عبر المبادل الحراري (Heat Exchanger) قبل العودة إلى الموفر وإغلاق الدورة.

تكمّن السمة الرئيسية لهذه الدورة باستبدال الصمام الخانق ومبادل درجة الحرارة العالية في نظام (kcs34) بالموسع ثنائي الطور، لاستعادة عمل التمدد في الصمام الخانق، واستخدام الطاقة الحرارية للسائل الساخن عند مخرج الفاصل (النقطة 11) في توليد الطاقة الميكانيكية مباشرة عبر تمدد السائل ضمن الموسع.

ويعد الموسع ثنائي الطور أحد المعدات المبتكرة لاستعادة عمل التمدد أثناء عملية الخنق، واستعادة الطاقة من مصادر ذات درجة حرارة منخفضة، ويستخدم عادة في دورة الفلاش الثلاثية (TFC, Trilateral Flash cycle) حيث يبدأ التوسع فيها من السائل المشبع بدلاً من البخار المشبع أو المحمص [19]، كما تعتبر تكلفة الموسع غير عالية عند استخدامه في أنظمة استعادة الحرارة المهدورة [13]

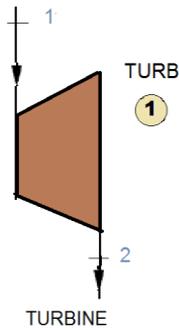
5-2 النمذجة الترموديناميكية :

تم إجراء النمذجة اعتماداً على تطبيق معادلات توازن الكتلة، والطاقة، والتركيز، والانتروبي في كل مكون من مكونات الدورة باستخدام برنامج (EES)، وتم الحصول على خصائص خليط الماء والأمونيا من خلال روتين داخلي في (EES).

عند تحليل الدورة تؤخذ بالحسبان الاعتبارات التالية [8,13,20]:

- تصل جميع العمليات في الدورة إلى حالة مستقرة.
- يهمل هبوط الضغط في الأنابيب والمبادلات الحرارية.
- يعتبر النظام معزولاً تماماً وخسائر الحرارة مهملة.
- تسلك غازات العادم من عملية إنتاج الاسمنت سلوك الغازات المثالية.
- لا تقل نسبة البخار عند مخرج التوربين عن 90%.
- تعتبر عملية التكثيف ايزوبارية، وعملية الفصل أديباتية.
- يكون خليط البخار عند مخرج الفاصل مشبعاً جافاً.
- يكون خليط السائل عند مخرج الفاصل مشبعاً رطباً.

يوضح الجدول (1) معادلات توازن الكتلة والطاقة والانتروبي لكل من مكونات الدورة:



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_1 \cdot X_1 = \dot{m}_2 \cdot X_2$$

توازن الكتلة

والتركيز

$$\dot{W}_{\text{turb-1}} = \dot{m}_1 (h_1 - h_2)$$

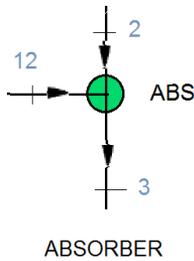
توازن الطاقة

$$\dot{S}_{\text{turb-1}} = \dot{m}_1 (s_2 - s_1)$$

توازن الانتروبي

$$\eta_{\text{s-turb-1}} = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_{2s})$$

الكفاءة الايزونترابية



$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{12}$$

$$\dot{m}_3 \cdot X_3 = \dot{m}_2 \cdot X_2 + \dot{m}_{12} \cdot X_{12}$$

توازن الكتلة

والتركيز

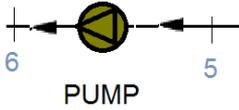
$$\dot{m}_3 \cdot h_3 = \dot{m}_2 \cdot h_2 + \dot{m}_{12} \cdot h_{12}$$

توازن الطاقة

$$\dot{S}_{\text{abs}} = \dot{m}_3 \cdot s_3 - \dot{m}_2 \cdot s_2 - \dot{m}_{12} \cdot s_{12}$$

توازن

الانتروبي



$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$$

توازن الكتلة

$$\dot{m}_5 \cdot X_5 = \dot{m}_6 \cdot X_6$$

والتركيز

$$\dot{W}_{\text{pump}} = \dot{m}_5 (h_6 - h_5)$$

توازن الطاقة

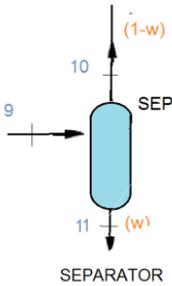
$$\dot{W}_{\text{pump}} = \dot{m}_5 \cdot v_5 \cdot (p_6 - p_5) / \eta_{s-\text{pump}}$$

$$\dot{S}_{\text{pump}} = \dot{m}_5 (s_6 - s_5)$$

توازن الانتروبي

$$\eta_{s-\text{pump}} = (h_{6s} - h_5) / (h_6 - h_5)$$

الكفاءة الايزونتروبية



$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} + \dot{m}_{11}$$

توازن الكتلة

$$\dot{m}_9 \cdot X_9 = \dot{m}_{10} \cdot X_{10} + \dot{m}_{11} \cdot X_{11}$$

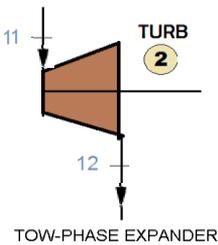
والتركيز

$$\dot{m}_9 \cdot h_9 = \dot{m}_{10} \cdot h_{10} + \dot{m}_{11} \cdot h_{11}$$

توازن الطاقة

$$\dot{S}_{\text{sep}} = \dot{m}_{10} \cdot s_{10} + \dot{m}_{11} \cdot s_{11} - \dot{m}_9 \cdot s_9$$

توازن الانتروبي



$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12}$$

توازن الكتلة

$$\dot{m}_{11} \cdot X_{11} = \dot{m}_{12} \cdot X_{12}$$

والتركيز

$$\dot{W}_{\text{turb-2}} = \dot{m}_{11} (h_{11} - h_{12})$$

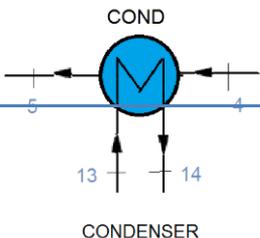
توازن الطاقة

$$\dot{S}_{\text{turb-2}} = \dot{m}_{11} (s_{12} - s_{11})$$

توازن الانتروبي

$$\eta_{s-\text{turb-2}} = (h_{11} - h_{12}) / (h_{11} - h_{12s})$$

الكفاءة الايزونتروبية



$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5, \dot{m}_{13} = \dot{m}_{14}$$

توازن الكتلة

$$\dot{m}_4 \cdot X_4 = \dot{m}_5 \cdot X_5$$

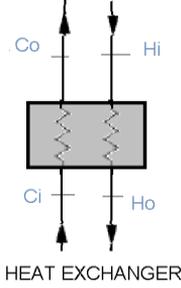
والتركيز

$$\dot{m}_{13} (h_{14} - h_{13}) = \dot{m}_4 (h_4 - h_5)$$

توازن الطاقة

$$\dot{S}_{\text{cond}} = \dot{m}_{13}(s_{14}-s_{13}) + \dot{m}_4(s_5-s_4)$$

توازن الانتروبي



$$\dot{m}_{Hi} = \dot{m}_{Ho}, \dot{m}_{Ci} = \dot{m}_{Co}$$

توازن الكتلة

$$\dot{m}_i \cdot X_i = \dot{m}_o \cdot X_o$$

والتركيز

$$\dot{m}_H(h_{Hi} - h_{Ho}) = \dot{m}_C(h_{Co} - h_{Ci})$$

توازن الطاقة

$$\dot{S}_{HE} = \dot{m}_H(s_{Ho}-s_{Hi}) + \dot{m}_C(s_{Co}-s_{Ci})$$

توازن الانتروبي

وتعطى كل من الاستطاعة الصافية (\dot{W}_{net}) والكفاءة الحرارية (η_{th}) وكمية الحرارة الداخلة إلى الدورة (Q_{in}) بالمعادلات:

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{turb-1}} + \dot{W}_{\text{turb-2}} - \dot{W}_{\text{pump}} \quad (1)$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{in}} = \dot{m}_7 (h_9 - h_7) + \dot{m}_{10} (h_1 - h_{10}) \quad (3)$$

الجدول (2) المدخلات البيانية لنموذج الدورة:

$\eta_{s-\text{turb-1}} = 0.85$	الكفاءة الايزونتروبية للتوربين
$\eta_{s-\text{pump}} = 0.8$	الكفاءة الايزونتروبية للمضخة
$\eta_{s-\text{turb-2}} = 0.75$	الكفاءة الايزونتروبية للموسع ثنائي الطور
$\eta_e = 0.98$	كفاءة المولد الكهربائي
1.013[bar]	ضغط الوسط المحيط
2.5[bar]	ضغط مياه التبريد

297.15 k	درجة الحرارة المحيطة
$\Delta T_{13-14} = 8k$	الازدياد في درجة حرارة ماء التبريد
$\Delta T_{13-5} = 5k$	فرق درجة الحرارة الأدنى بين الوسيط العامل ومياه التبريد
$\Delta T_{3-7} = 5k$	الفرق الأدنى في درجات الحرارة بين التيارين المارين في المسترجع

يمكن حساب بارامترات الحالة لخليط الغازات مع الاخذ بعين الاعتبار تكوين وضغط ودرجة حرارة الخليط، بناء على نموذج الغاز المثالي باستخدام المعادلات التالية [23]:

$$h_{gases} = \sum_i \left(\frac{r_i \cdot \mu_i}{\mu} \right) h_i$$

$$S_{gases} = \sum_i \left(\frac{r_i \cdot \mu_i}{\mu} \right) s_i - \frac{\bar{R}}{\mu_i} \ln \left(\frac{p_i}{p_{atm}} \right)$$

$$\rho_{gases} = \sum_i \left(\frac{r_i \cdot \mu_i}{\mu} \right) \rho_i$$

حيث:

h_{gases} : الانتالبي النوعي لخليط الغازات [kJ/kg].

r_i : الحصة الحجمية (أو المولية) للمكون "i" في خليط الغازات [%].

μ_i : الكتلة المولية للمكون "i" في خليط الغازات [kg / kmol]

μ : الكتلة المولية الكلية لخليط الغازات [kg / kmol]

h_i : الانتالبي النوعي للمكون "i" في خليط الغازات [kJ/kg].

S_{gases} : الانتروبي النوعي لخليط الغازات [kJ/kg-k].

s_i : الانتروبي النوعي للمكون "i" في خليط الغازات [kJ/kg-k].

\bar{R} : الثابت العام لخليط الغازات [kJ/kg-k].

p_i : الضغط الجزئي للمكون "i" في خليط الغازات [MPa].

p_{atm} : الضغط الجوي [MPa].

ρ_{gases} : الكتلة النوعية لخليط الغازات [kg/ m³].

ρ_i : الكتلة النوعية للمكون "i" في خليط الغازات [kg/ m³].

الجدول (3) بيانات غازات العادم في عملية انتاج الإسمنت:

بيانات غازات عادم التسخين المسبق في معمل اسمنت طرطوس		
		التركيب المولي:
%	65.2	N2
%	4	O2
%	22.5	CO2
%	8.3	H2O
Nm ³ /h	320000	التدفق
°C	340	درجة الحرارة
g/ Nm ³	100	محتوى الغبار

3-5 تصديق النموذج:

تم التحقق من صحة النموذج الترموديناميكي لدورة كاليينا في هذه الدراسة بالمقارنة مع البيانات التي حصل عليها الباحثون [16] عند دراسة نموذج دورة كاليينا نظام (KCS34) نظراً لوجود نقاط حالة مشتركة بين الدورتين. عند تطبيق ظروف التشغيل وبيانات الغازات الواردة في [16] على النموذج الحالي، نحصل على بارامترات الحالة لنقاط الدورة المختلفة المعروضة في الجدول (4).

الجدول (4) التحقق من صحة النموذج العددي مع البيانات المنشورة [16] :

x [-]	h[kJ/kg]		T[k]		p [bar]		ṁ [kg/s]			
	نموذج الدراسة [16]	المرجع [16]	نموذج الدراسة [16]	المرجع [16]	نموذج الدراسة [16]	المرجع [16]	نموذج الدراسة [16]	المرجع [16]		
0.96	0.96	2179	2179	644.6	644.6	77.4	77.4	5.734	5.67	1
0.96	0.96	1736	1736	459.3	459	9.6	9.56	5.734	5.67	2
0.89	0.89	1383	1431	364.3	368.3	9.6	9.56	7.569	7.49	3
0.89	0.89	1097	1122	332.6	335.5	9.6	9.56	7.569	7.49	4
0.89	0.89	46.9	46.2	300.1	300	9.6	9.56	7.569	7.49	5
0.89	0.89	59.13	58.43	302.0	301.9	77.4	77.4	7.569	7.49	6
0.89	0.89	345.3	366.7	359.3	363.3	77.4	77.4	7.569	7.49	7
0.89	0.89	502.8	502.9	387.4	387.4	77.4	77.4	7.569	7.49	8
0.89	0.89	1212	1215	422.7	423	77.4	77.4	7.569	7.49	9
0.96	0.96	1432	1433	422.7	423	77.4	77.4	5.734	5.67	10
0.64	0.64	523.6	533.2	422.7	423	77.4	77.4	1.836	1.82	11
0.64	0.64	279.2	478.6	326.6	337.3	9.6	9.56	1.836	1.82	12
--	--	92.43	92.43	295.1	295	2.5	2.5	237.5	241.1	13
--	--	125.8	125.9	303.1	303	2.5	2.5	237.5	241.1	14
--	--	-2599	-2599	663.1	663.2	1.01	1.01	55.92	55.92	15
--	--	-2675	-2675	594.9	594.9	1.01	1.01	55.92	55.92	16
--	--	-2772	-2772	507.5	507.4	1.01	1.01	55.92	55.92	17
--	--	-2785	-2789	495.1	492.4	1.01	1.01	55.92	55.92	18

نلاحظ من الجدول توافق النتائج في جميع نقاط الحالة باستثناء النقاط (3-4-7-12-18) حيث أدى استبدال المبادل الحراري والصمام الخانق في (KCS34) بالموسع ثنائي الطور إلى اختلاف البارامترات عند النقطة (3) مما أدى بدوره إلى سريان الاختلاف في بعض النقاط.

6- الدراسة البارامترية:

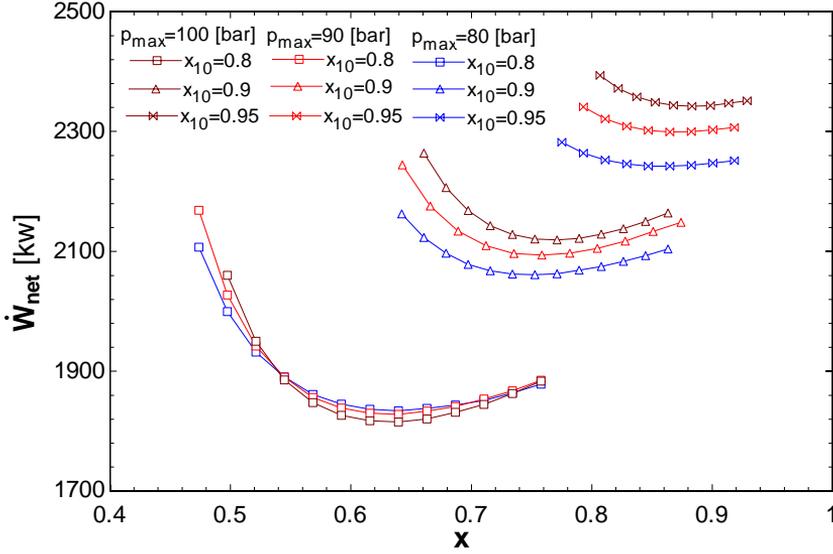
تم تحليل تأثير عدة متغيرات على سلوك الدورة ومجال تأثيرها، بهدف الوصول إلى بارامترات التشغيل الأفضل للدورة من حيث الاستطاعة الكهربائية المولدة، والكفاءة الحرارية للدورة.

هناك أربعة من المتغيرات المستقلة في الدورة والتي تؤثر على أداء النظام بشكل كبير وهي: الضغط الأعظمي للجسم العامل (الضغط عند مدخل التوربين p_{max})، تركيز الأمونيا في الخليط الأساسي (التركيز عند مدخل الفاصل x)، تركيز الأمونيا في خليط البخار عند مخرج الفاصل (تركيز مدخل التوربين x_{10})، الفرق الأدنى في درجات الحرارة ضمن المبخر (the pinch point, Δt_{8-17})

يعد ضغط الجسم العامل عند مخرج التوربين (p_2) معلمة تعتمد على حالة التبريد. لذلك فهو ليس متغيراً مستقلاً في ظل حالة تبريد معينة وتركيز معين للأمونيا ضمن الخليط الأساسي في النظام (x).

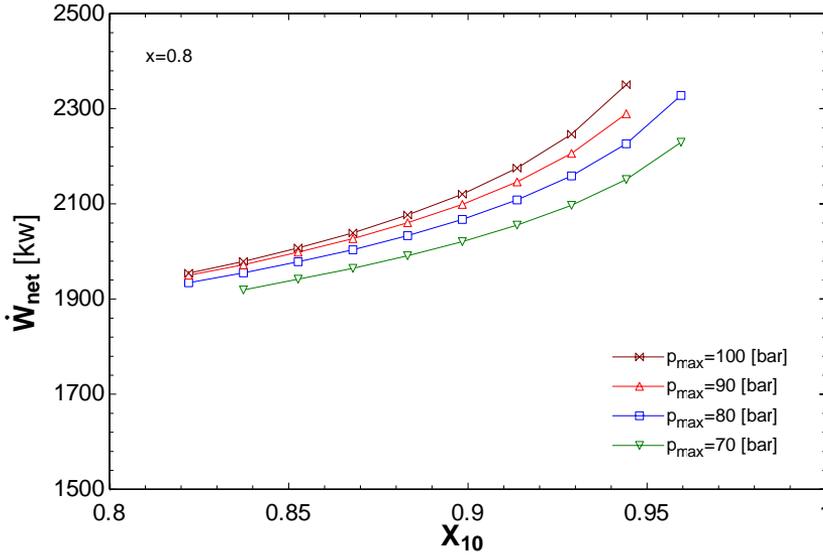
1-6 الاستطاعة الصافية:

يعرض الشكل (3) مجموعة من المنحنيات البيانية التي تصف سلوك الاستطاعة الصافية للدورة كتابع للمتغيرات المستقلة الثلاثة الأولى التي ذكرت سابقاً (X, X_{10}, p_{max})



الشكل (3) تغير الاستطاعة الصافية تبعاً لتغير البارامترات (x, x_{10}, p_{max})

لوحظ أنه بالنسبة لتركيز أمونيا معين عند مخرج الفاصل (x_{10}) تتخفض الاستطاعة الصافية (W_{net}) بشكل حاد مع زيادة التركيز في الخليط الأساسي (x) لتصل إلى قيمة دنيا ومن ثم تعود لترتفع قليلاً، بينما تستمر الاستطاعة الصافية بالازدياد مع زيادة الضغط الاعظمي في الدورة (p_{max})، ومع زيادة تركيز مخرج الفاصل (x_{10})، وهذا ما يوضحه أيضاً الشكل (4) عند قيمة معينة لتركيز الخليط الأساسي ($x=0.8$).



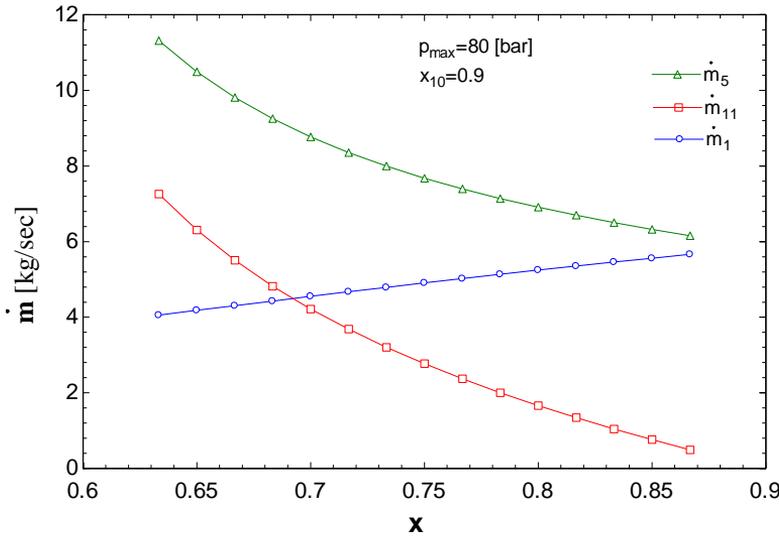
الشكل (4) تغير الاستطاعة الصافية عند $x=0.8$

ويتبين من الشكل (3) أيضاً أن قيمة (x) الموافقة للاستطاعة الدنيا عند مختلف الضغوط تزداد بزيادة (x_{10}) ، حيث تزداد قيم تركيز الامونيا ضمن المجالات الصالحة لتركيز الخليط الأساسي في الدورة مع زيادة (x_{10}) ، على سبيل المثال عند الضغط 100 bar وتركيز $(x_{10}=0.8)$ فإن قيمة تركيز الخليط الأساسي الموافقة لأدنى استطاعة ناتجة هي $(x=0.63)$ تقريباً، بينما تزداد هذه القيمة إلى $(x=0.88)$ عند ازدياد تركيز خليط البخار إلى $(x_{10}=0.95)$. وتتوافق القيمة القصوى للاستطاعة الصافية في الدورة مع أدنى قيمة لتركيز الخليط الأساسي (x) ضمن المجال الصالح لعمل الدورة.

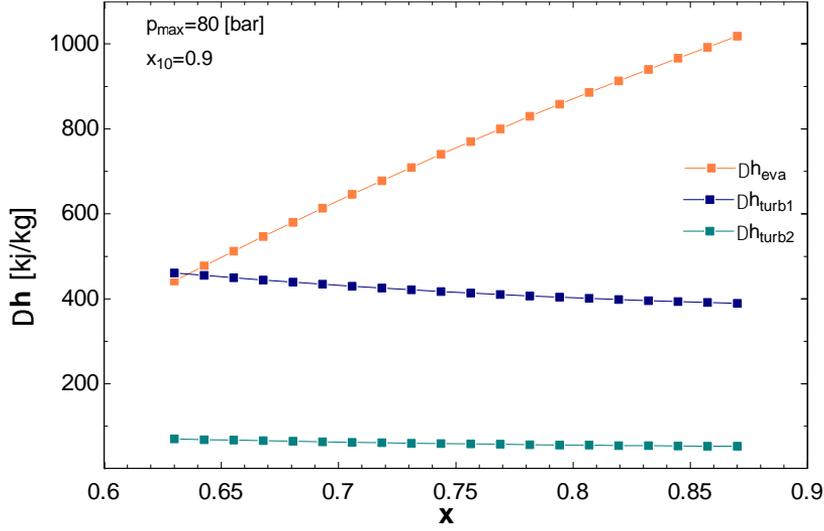
وتجدر الإشارة إلى أن القيم الأدنى لـ (x) ضمن هذه المجالات مقيدة بدرجة حرارة مخرج الغازات الساخنة $(t_{18} > 423 [K])$ لمنع ترسب الأحماض على أسطح المبادلات الحرارية عند درجة حرارة أقل.

يعطي الجدول (5) تباين البارامترات المختلفة مثل فرق الانتالبي في المبخر (Δh_{EVA})، فرق الانتالبي في التوربين البخاري (Δh_{turb-1})، فرق الانتالبي في الموسع ثنائي الطور (Δh_{turb-2})، معدلات التدفق الكتلي، الاستطاعة المولدة عبر كل من التوربين البخاري (W_{turb-1})، والموسع ثنائي الطور (W_{turb-2})، والاستطاعة التي تتطلبها المضخة (W_{pump})، والاستطاعة الصافية (W_{net})، والكفاءة الحرارية للدورة (η_{th}) مع اختلاف تركيز الأمونيا في الخليط الأساسي (وذلك عند الضغط $p_{max}=80$ bar، وتركيز خليط البخار $x_{10}=0.9$).

هذه الاختلافات تم رسمها بيانياً في الشكلين (5)، (6) وبمساعدة هذه البيانات والأرقام، يمكن تفسير الاتجاه التنازلي ثم المتزايد للاستطاعة الصافية.



الشكل (5) تغير التدفقات في الدورة تبعاً لتغير x



الشكل (6) تغير فرق الانتالبي تبعاً لتغير x

الجدول (5) تغير البارامترات المختلفة في الدورة تبعاً لتغير x:

x	Δh_{EVA} [kJ/kg]	Δh_{turb-1} [kJ/kg]	Δh_{turb-2} [kJ/kg]	QU_9	\dot{m}_1 [kg/s]	\dot{m}_{11} [kg/s]	\dot{m}_5 [kg/s]	W_{turb-1} [kw]	W_{turb-2} [kw]	W_{pump} [kw]	W_{net} [kw]
0.65	497.8	451.7	67.8	0.39	4.18	6.30	10.49	1851	419	126.3	2144
0.67	558	442.3	65.41	0.45	4.34	5.26	9.61	1884	337.6	116.5	2105
0.69	616.5	433.6	63.27	0.50	4.51	4.40	8.92	1917	273.4	108.9	2081
0.71	673.3	425.7	61.37	0.55	4.67	3.68	8.35	1948	221.6	102.8	2067
0.73	728.2	418.6	59.7	0.61	4.82	3.05	7.88	1981	178.7	97.9	2062
0.76	781.5	412	58.06	0.66	4.98	2.5	7.48	2012	142.3	93.82	2061
0.78	833.5	406.3	56.62	0.71	5.13	2	7.14	2045	111.2	90.42	2066
0.80	882.9	401.1	55.52	0.77	5.28	1.55	6.83	2076	84.52	87.52	2073
0.82	930.6	396.6	54.42	0.82	5.42	1.14	6.56	2108	60.86	85.04	2084
0.85	977	392.4	53.45	0.87	5.56	0.76	6.32	2139	39.87	82.91	2096

من الجدول (5) والشكلين (5)، (6) نلاحظ أن زيادة تركيز الأمونيا في الخليط الأساسي (x) تؤدي إلى:

- زيادة فرق الانتالبي في المبخر (Δh_{EVA}).
- انخفاض فرق الانتالبي في كل من التوربين البخاري (Δh_{turb-1})، والموسع ثنائي الطور (Δh_{turb-2}) بشكل طفيف.

- زيادة جودة البخار عند مدخل الفاصل (مخرج المبخر) (QU_0)
- زيادة معدل التدفق الكتلي للبخار عبر التوربين البخاري (\dot{m}_1) .
- انخفاض معدل التدفق الكتلي للسائل عبر الموسع ثنائي الطور (\dot{m}_{11}) .
- انخفاض في إجمالي معدل التدفق الكتلي للخليط عبر المضخة (\dot{m}_5) .

إن زيادة تركيز الأمونيا في الخليط الأساسي تؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الاشباع للخليط وبالتالي تزداد (Δt) في المبخر، كذلك تسبب انتقال كمية أكبر من الحرارة النوعية نتيجة زيادة السعة الحرارية للخليط، وبالتالي يزداد فرق الانتالبي في المبخر (Δh_{EVA}) مما يؤدي إلى انخفاض معدل التدفق الاجمالي للخليط العامل (\dot{m}_5) .

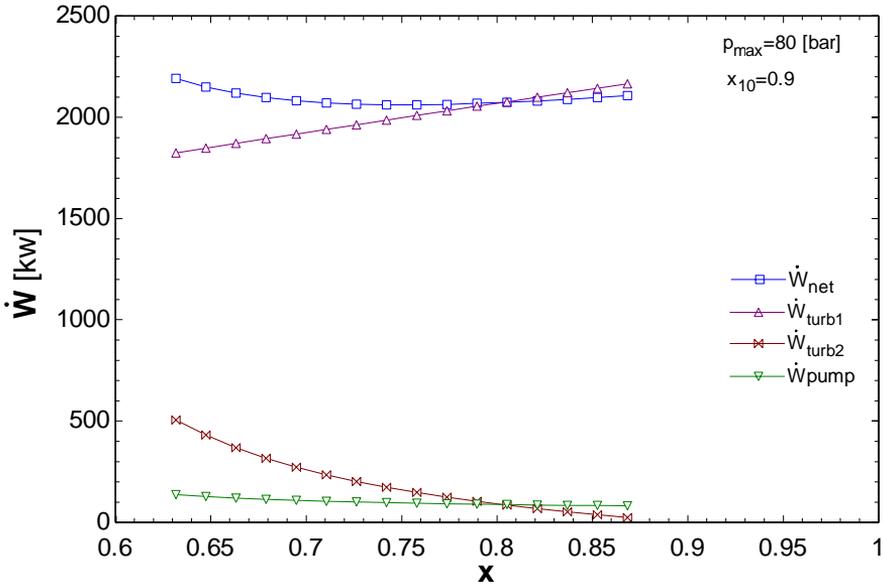
ينخفض فرق الانتالبي في كل من التوربين البخاري والموسع ثنائي الطور نتيجة زيادة ضغط الاشباع في المكثف بزيادة (x) (وهو ضغط مخرج التوربينات p_2).

على الرغم من أن الانخفاض البسيط في فرق الانتالبي ضمن التوربين البخاري يميل إلى تخفيض استطاعته من جهة، إلا أن الزيادة الحاصلة في معدل التدفق الكتلي للبخار عند مخرج الفاصل والنتيجة عن زيادة جودة البخار في مخرج المبخر، تؤدي إلى زيادة استطاعة التوربين البخاري من جهة أخرى، وبالمقابل ينخفض معدل التدفق الكتلي للسائل عبر الموسع ثنائي الطور مؤدياً إلى انخفاض استطاعته.

ويؤدي الانخفاض في معدل التدفق الكتلي الاجمالي للخليط، وزيادة الضغط الأصغري في الدورة بالتالي انخفاض (Δp) ، إلى انخفاض الطاقة التي تتطلبها المضخة (W_{pump}) .

بما أن الاستطاعة الصافية الناتجة تتعلق بالاستطاعة المولدة عبر كل من التوربين البخاري، والموسع ثنائي الطور، وباستطاعة المضخة وفق المعادلة (1).

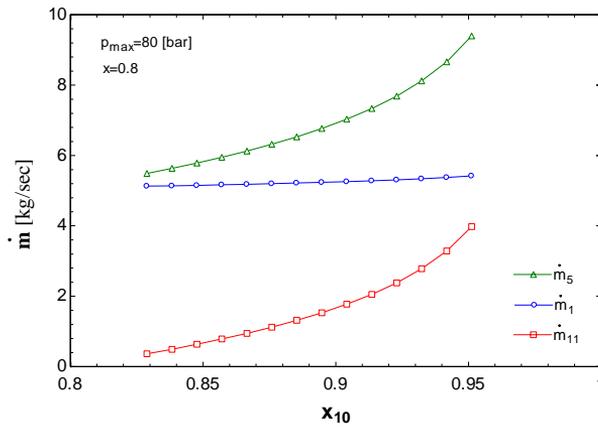
فإنها تنخفض في البداية مع زيادة (x) نتيجة الانخفاض الكبير في استطاعة الموسع بالمقارنة مع الزيادة الحاصلة في استطاعة التوربين البخاري، والانخفاض الطفيف في استطاعة المضخة (الشكل 7)، وتستمر الطاقة الصافية بالانخفاض مع زيادة (x) إلى أن تصل إلى قيمة دنيا عند (x=0.76)، وعند تجاوز هذه القيمة فإن الاتجاهات المتزايدة والمتناقصة لفرق الانتالبي والتدفق الكتلي تظل كما هي لكن معدل تغيرها يتناقص، وتأخذ الاستطاعة الصافية بالتزايد ببطء حيث يرجع ذلك بشكل أساسي إلى أن معدل انخفاض التدفق الكتلي عبر الموسع يصبح أقل، ويتضح ذلك بتناقص انحدار هذا المنحني في الشكل (5).



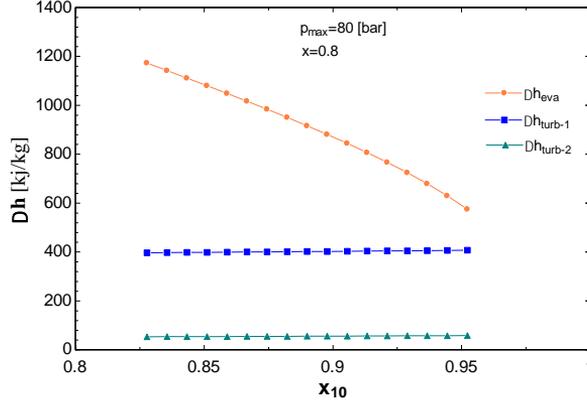
الشكل (7) تغير الاستطاعات في الدورة تبعاً لتغير x

الجدول (6) تغيير البارامترات المختلفة تبعاً لتغير التركيز في خليط البخار :

x_{10}	Δh_{EVA} [kJ/kg]	Δh_{turb-1} [kJ/kg]	Δh_{turb-2} [kJ/kg]	QU_9	\dot{m}_1 [kg/s]	\dot{m}_{11} [kg/s]	\dot{m}_5 [kg/s]	W_{turb-1} [kw]	W_{turb-2} [kw]	W_{pump} [kw]	W_{net} [kw]
0.83	1164	397.2	53.29	0.93	5.12	0.37	5.50	1996	19.76	70.3	1946
0.845	1105	398.3	53.89	0.89	5.14	0.59	5.74	2009	31.34	73.29	1967
0.86	1044	399.2	54.35	0.86	5.16	0.83	6.00	2022	44.36	76.63	1990
0.875	981.4	400.3	54.88	0.82	5.19	1.10	6.29	2038	59.38	80.42	2017
0.89	916.2	401.6	55.44	0.78	5.22	1.41	6.64	2056	77.09	84.81	2048
0.905	847.2	402.9	55.96	0.74	5.25	1.79	7.05	2076	98.52	90.07	2085
0.92	772.6	404.1	56.56	0.7	5.29	2.27	7.56	2099	125.9	96.64	2128
0.935	689.2	405.4	57.35	0.64	5.34	2.90	8.25	2125	163.5	105.4	2183
0.95	591.2	406.7	58.04	0.58	5.41	3.87	9.28	2157	220.5	118.6	2259



الشكل (8) تغيير التدفقات في الدورة تبعاً لتغير التركيز في خليط البخار



الشكل (9) تغير فرق الانتالبي تبعاً لتغير التركيز في خليط البخار

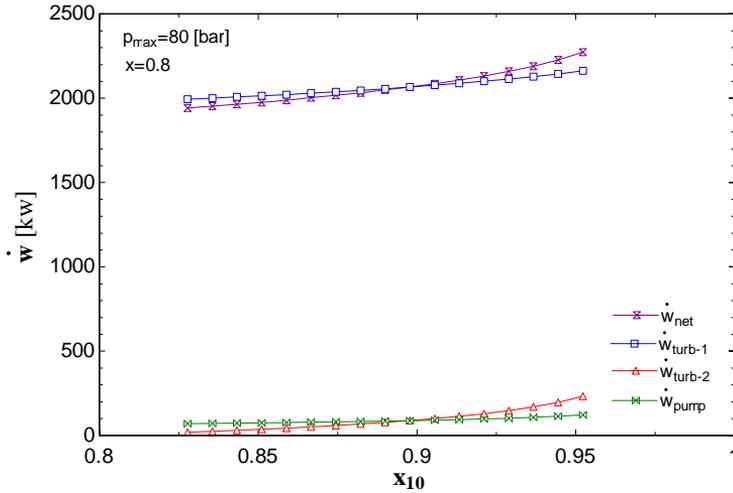
ويبين الجدول (6) أيضاً تباين البارامترات المختلفة مع زيادة تركيز الأمونيا في خليط البخار عند مخرج الفاصل (x_{10}) (كذلك عند الضغط $p_{max}=80$ bar، وتركيز الخليط الأساسي $x=0.8$)، وهو موضح بيانياً في الشكلين (8)، (9)، ومنها نجد أن زيادة (x_{10}) تحت ضغط ثابت تؤدي إلى:

- انخفاض درجة الحرارة في منطقة الفاصل، وبالتالي تتناقص جودة البخار عند مخرج المبخر ($\downarrow Q_{u0}$).
- انخفاض فرق الانتالبي في المبخر ($\downarrow \Delta h_{EVA}$). الناتج عن انخفاض درجة حرارة الفاصل (أي انخفاض Δt في المبخر).
- زيادة معدل التدفق الاجمالي للخليط العامل ($\uparrow \dot{m}_5$) الناتج عن انخفاض فرق الانتالبي في المبخر.
- زيادة معدل التدفق الكتلي للسائل عبر الموسع ثنائي الطور ($\uparrow \dot{m}_{11}$) نتيجة انخفاض جودة البخار عند مدخل الفاصل.
- ازدياد استطاعة المضخة نتيجة الزيادة في معدل التدفق الاجمالي للخليط العامل.

إن انخفاض جودة البخار عند مدخل الفاصل يعمل على تقليل التدفق الكتلي للبخار عند مخرج الفاصل (\dot{m}_1) من جهة، لكن بالمقابل فإن الزيادة الكبيرة في معدل التدفق الإجمالي للخليط العامل ضمن المبخر تعمل على إنتاج المزيد من البخار من جهة أخرى، لذلك نرى أن (\dot{m}_1) تزداد بشكل طفيف جداً.

تزداد أيضاً استطاعة التوربين البخاري بشكل طفيف نتيجة الزيادة الطفيفة في كل من التدفق الكتلي للبخار (\dot{m}_1)، وفرق الانتالبي ضمن التوربين البخاري (Δh_{turb-1}) .

تزداد استطاعة الموسع ثنائي الطور بشكل أساسي بسبب ازدياد معدل التدفق الكتلي للسائل عبره (\dot{m}_{11}).



الشكل (10) تغير الاستطاعات في الدورة تبعاً لتغير x_{10}

ونلاحظ من الشكل (10) أنه عند زيادة تركيز خليط البخار تزداد الاستطاعة الصافية الناتجة ببطء حيث تكون الاستطاعة التي تتطلبها المضخة أكبر من استطاعة الموسع ثنائي الطور. وبعد تجاوز قيمة معينة تصبح عندها استطاعة

الموسع أكبر من استطاعة المضخة، وتزداد استطاعة الموسع وبالتالي الاستطاعة الصافية بمعدل أعلى.

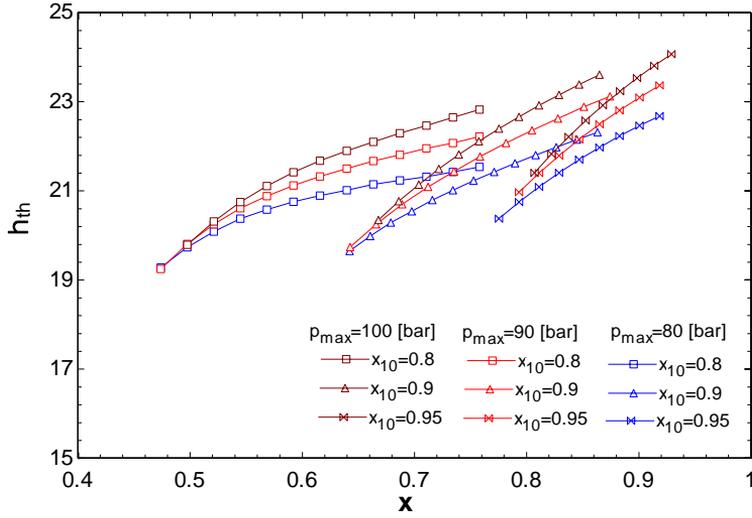
اتفق أغلب الباحثين الذين حللو دورة كاليينا لأنظمة درجة الحرارة المنخفضة والمرتفعة بالنسبة لمصادر حرارية مختلفة الشروط [8,9,12,21] على أن زيادة كل من الضغط و تركيز الأمونيا عند مدخل التوربين تؤدي إلى زيادة في الاستطاعة الكهربائية الصافية .

وأنه عند بارامترات محددة لمنطقة الفاصل يمكن تحديد تركيز الخليط الأساسي الذي ينتج أقصى قدر من الاستطاعة الصافية، إلا أن منحنى تغير الاستطاعة مع تغير التركيز في الأنظمة المدروسة يأخذ شكلاً تصاعدياً في البداية مع زيادة التركيز حتى الوصول إلى قيمة قصوى ثم يتنازل من جديد.

مما يبين الأثر الكبير للتغير المقترح في هذه الدورة (استبدال الصمام الخانق ومبادل الحرارة العالية بموسع ثنائي الطور) على سلوك الاستطاعة الصافية في الدورة تبعاً لتغير البارامترات المؤثرة.

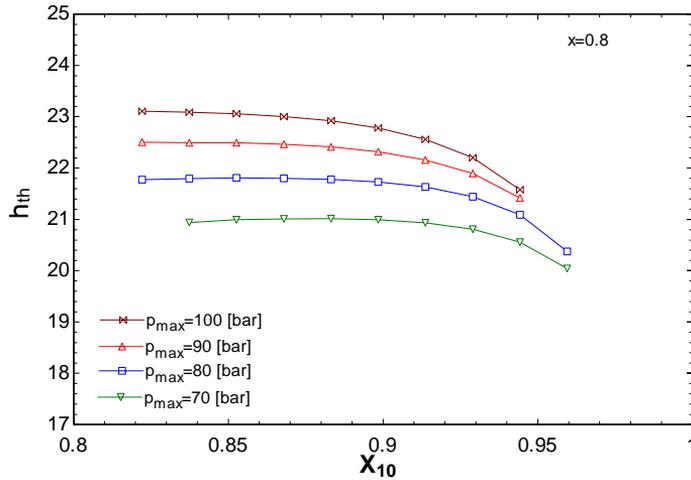
2-6 الكفاءة الحرارية:

يوضح الشكل (11) تغير الكفاءة الحرارية للدورة بتغير البارامترات المختلفة (X, X_{10}, P_{max})



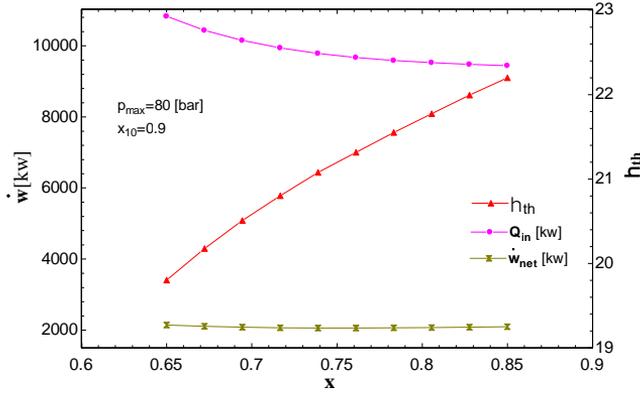
الشكل (11) تغير الكفاءة الحرارية للدورة بتغير البارامترات المختلفة (x, x_{10}, p_{max})

حيث نلاحظ أنه عند قيمة معينة لتركيز خليط البخار (x_{10}) تزداد الكفاءة الحرارية للدورة مع زيادة كل من تركيز الخليط الأساسي (x)، وضغط مدخل التوربين (p_{max})، بينما تنخفض الكفاءة الحرارية للدورة مع زيادة تركيز خليط البخار عند قيمة معينة لتركيز الخليط الأساسي، يتضح ذلك أيضاً في الشكل (12).



الشكل (12) تغير الكفاءة الحرارية تبعاً لتغير x_{10} عند $x=0.8$

نلاحظ من الشكل (13) أنه بزيادة تركيز الخليط الأساسي (x) فإن المدخلات الحرارية في الدورة تتناقص بمعدل عال مقارنة بالتغيرات الحاصلة في الاستطاعة الصافية التي تنتجها الدورة وبالتالي فإن الكفاءة الحرارية للدورة تتخفض مع زيادة قيمة (x). ويعزى انخفاض المدخلات الحرارية إلى أن الطاقة التي يحتاجها الموفر للوصول إلى درجة حرارة الاشباع تتخفض بشكل كبير، حيث أن زيادة (x) تؤدي إلى انخفاض كل من التدفق الاجمالي للخليط العامل (\dot{m}_5)، وفرق الانتالبي في الموفر (Δh_{Eco})، نتيجة انخفاض (Δt_{Eco}).

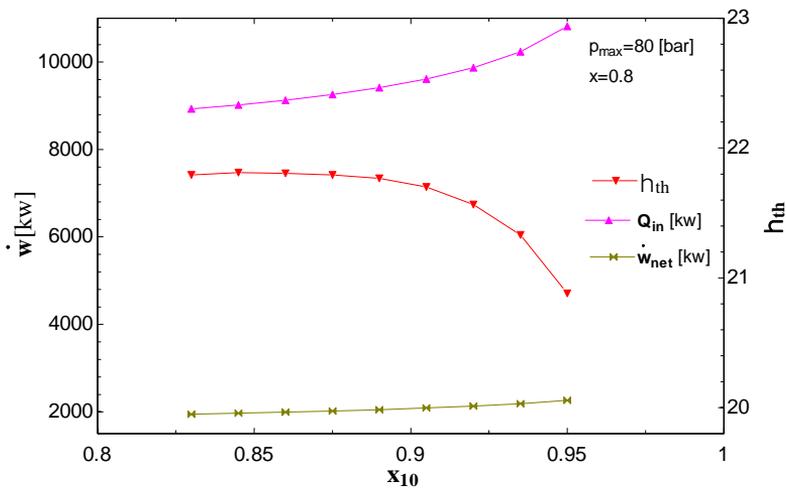


الشكل (13) تغير كل من الكفاءة والمدخلات الحرارية والاستطاعة الصافية تبعاً لتغير (x)

عند ازدياد تركيز خليط البخار (x_{10}) تزداد المدخلات الحرارية في الدورة بمعدل عالي بالنسبة للزيادة الحاصلة في الاستطاعة الصافية مما يؤدي إلى انخفاض الكفاءة الحرارية للدورة، ويتضح ذلك في الشكل (14).

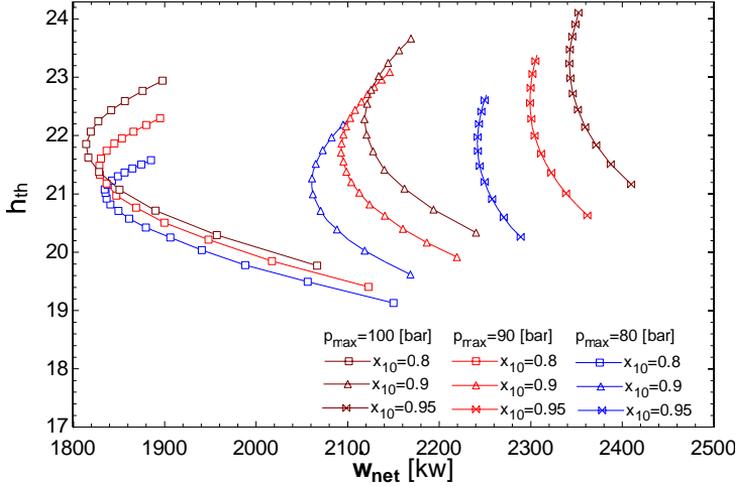
وترجع هذه الزيادة في المدخلات الحرارية إلى زيادة الطاقة الحرارية التي يستهلكها الموفر نتيجة الزيادة في (Δt_{Eco}) حيث تتخفض درجة حرارة الفاصل مع زيادة (x_{10}) مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الخليط عند مدخل الموفر.

بالمقارنة مع ما توصل إليه الباحثون [8,9,21] عند تحليل دورة كالينا(KCS34) مع المحاليل الملحية الأرضية كمصدر حراري، حيث توصلو إلى أن الكفاءة الحرارية تزداد بزيادة ضغط مدخل التوربين، كذلك تزداد الكفاءة الحرارية بازدياد درجة حرارة الفاصل (عند تراكيز ثابتة للأمونيا في كل من الخليط الاساسي وخليط البخار وذلك نتيجة زيادة الضغط)، وهذا يتوافق مع ما توصلنا إليه عند زيادة تركيز خليط البخار تحت ضغط ثابت (بالتالي انخفاض حرارة الفاصل وانخفاض الكفاءة الحرارية).



الشكل (14) تغير كل من الكفاءة والمدخلات الحرارية والاستطاعة الصافية تبعاً لتغير (X_{10})

يتبين مما سبق أن سلوك تغير الكفاءة الحرارية للدورة تبعاً للبارامترات المختلفة يختلف عن تغير الاستطاعة الصافية التي تنتجها الدورة، ويمكن معاينة هذا الاختلاف من الشكل (15)، حيث يظهر تغير كل من الاستطاعة الصافية والكفاءة الحرارية للدورة مع تغير تركيز الخليط الأساسي، عند قيم مختلفة لتركيز خليط البخار وضغط مدخل التوربين.



الشكل (15) تغير الاستطاعة الصافية والكفاءة الحرارية تبعاً لتغير البارامترات (X, X_{10}, P_{max})

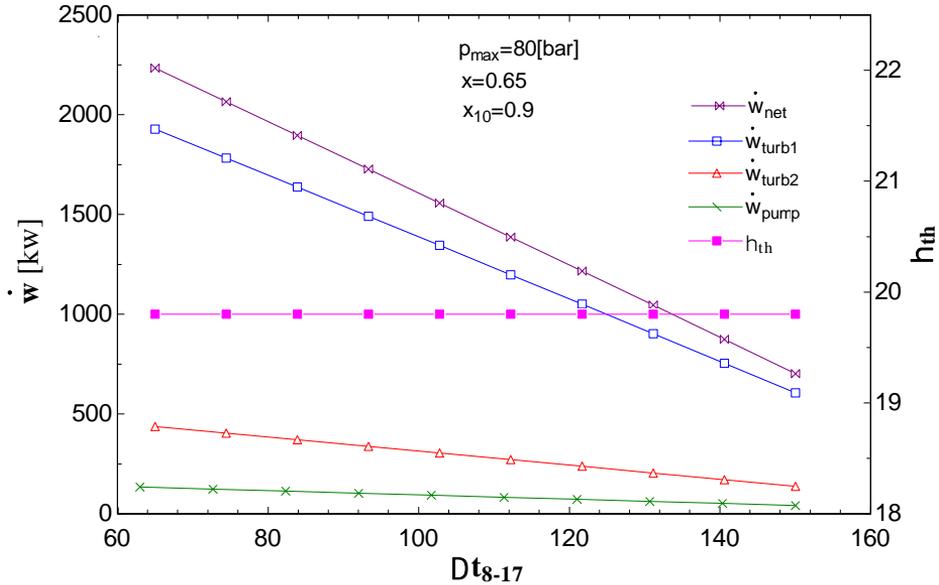
تراوحت الكفاءة الحرارية للدورة عند مختلف الشروط بين (19-24%) تقريباً، بينما اختلفت مجالات تغير الاستطاعة الصافية تبعاً لتغير شروط العمل (خصوصاً في منطقة الفاصل).

ويتبين أنه عند شروط محددة لمنطقة الفاصل (تركيز وضغط) يختلف تركيز x الموافق لتحقيق الكفاءة القصوى عنها لتحقيق الاستطاعة القصوى. وهذا مماثل لما توصل إليه [8,22]، إذ يمكن تحقيق أقصى استطاعة عند القيم المنخفضة لـ x إلا أنها تقابل الكفاءة الأدنى للدورة.

بالمقابل فإن قيم (x) التي تحقق الكفاءة القصوى تعطي قيم متوسطة تقريباً من الاستطاعة الصافية التي يمكن تحقيقها عند شروط محددة لضغط وتركيز خليط البخار.

6-3 تأثير فرق درجات الحرارة في المبخر:

ويوضح الشكل (16) تأثير الفرق الأدنى في درجات الحرارة ضمن المبخر (فرق درجات الحرارة بين النقطة 17 والنقطة 8) على الاستطاعة الصافية في الدورة، واستطاعة كل من التوربين البخاري، والموسع ثنائي الطور، والمضخة.



الشكل (16) تغير الاستطاعات في الدورة تبعاً لتغير Δt_{8-17}

نجد من الشكل أن جميع الاستطاعات تتخفض مع زيادة Δt_{8-17} حيث تتخفض جميع التدفقات ضمن الدورة بسبب انخفاض المدخلات الحرارية، وهذا يتوافق مع [12,16]، ونلاحظ أن الكفاءة الحرارية تبقى ثابتة نتيجة انخفاض كل من الاستطاعة الصافية والمدخلات الحرارية في الدورة بمعدل ثابت.

7- التحسين:

بعد إجراء النمذجة الترموديناميكية والتحليل البارامتري تم إجراء التحسين باستخدام الخوارزمية الجينية المتاحة في برنامج EES، وقد تم إدراج المتغيرات المختارة للتحسين

ومجالات تغييرها في الجدول (7)، يهدف هذا التحسين إلى الحصول على أقصى استطاعة كهربائية يمكن للدورة تحقيقها تحت ظروف التشغيل في معمل اسمنت طرطوس، وتحديد بارامترات التشغيل الموافقة لهذه الاستطاعة.

الجدول (7) متغيرات عملية التحسين ونتائجها:

المتغير	أدنى قيمة	أعلى قيمة	$\max \dot{W}_{net}$
p_{max}	80 [bar]	100 [bar]	100 [bar]
X	0.7	0.95	0.93
X_{10}	0.8	0.99	0.96
Δt_{8-17}	20	80	50
$\eta_{th}=23.89\%$		$\max \dot{W}_{net}=2724 [kW]$	

وقد توصل الباحثون [16] نتيجة التحسين في بارامترات الدورة (KCS34) بالنسبة لمعمل اسمنت ذو قدرة إنتاجية تبلغ 2100 طن من الكلنكر يومياً، ودرجة حرارة الغازات $390^{\circ}C$ ، ومياه التبريد $22^{\circ}C$ ، إلى استطاعة صافية عظمى تبلغ $2429 [kW]$ ، عند تركيز أمونيا في الخليط الأساسي قدره $x=0.89$ ، و $x_{10}=0.968$ بكفاءة حرارية قدرها 23.3% .

بينما وصلت أقصى استطاعة في نظام (KCS1) لغازات معمل اسمنت بقدرة 3500 طن يومياً من الكلنكر ودرجة حرارة $310^{\circ}C$ إلى $2776[kW]$ بكفاءة حرارية 20.2% .

ولا تعتبر هذه القيمة من الاستطاعة الناتجة عالية بالمقارنة مع ناتج الدورة المقترحة، إذ بالنسبة للإنتاجية العالية لهذا المصنع والتدفق الكبير لغازات العادم فيه ($88 [kg/s]$) فمن المتوقع أن تحقق الدورة المقترحة قيمة استطاعة صافية أعلى من ذلك بكثير.

8- الاستنتاجات والتوصيات:

عند تقييم الاستطاعة الصافية والكفاءة الحرارية بالنسبة للمتغيرات المستقلة الأربعة وتحليل اتجاهات التباين يتضح مايلي:

- بالنسبة لبارامترات محددة في منطقة الفاصل ($p_{max, X_{10}}$) يوجد قيمة معينة لتركيز الخليط الأساسي تكون عندها الاستطاعة الصافية أقل ما يمكن، بينما تتوافق أقصى قيمة للاستطاعة الصافية مع أدنى قيمة لتركيز الخليط الأساسي (X) ضمن المجال المتاح.
- تزداد قيمة (X) التي تحقق أدنى استطاعة، أو أقصى استطاعة مع زيادة تركيز خليط البخار (X_{10})
- تزداد الكفاءة الحرارية للدورة مع زيادة تركيز الخليط الأساسي، بينما تتخفض الكفاءة الحرارية للدورة بزيادة تركيز خليط البخار (عند قيم معينة لبارامترات الفاصل).
- تزداد الاستطاعة الصافية للدورة بزيادة تركيز خليط البخار عند مخرج الفاصل (X_{10}).
- تزداد كل من الاستطاعة الصافية والكفاءة الحرارية بزيادة الضغط الاعظمي في الدورة ضمن مجالات البارامترات المدروسة.
- لا تؤدي كفاءة الدورة القصوى بالضرورة إلى ظروف التشغيل الأفضل للنظام.
- تؤثر بارامترات الفاصل على أداء الدورة الحراري بشكل كبير.
- يمكن تحقيق أعلى ناتج من الطاقة الكهربائية لهذا النظام إذا تم تطبيقه في معمل اسمنت طرطوس باستخدام خليط أساسي بتركيز أمونيا %89، وضغط أعظمي قدره [bar] 100، وتركيز خليط البخار %96.

- بالإضافة إلى غازات عادم التسخين المسبق في مصنع الاسمنت، يعتبر هواء تبريد الكلنكر أيضاً من المصادر الحرارية الرئيسية لأنظمة استعادة الحرارة، ومن الممكن استخدامه في زيادة نجاعة عمل الدورة.
- تستطيع هذه الدورة إنتاج استطاعة أكبر بكثير من الاستطاعة المذكورة في حال تم معالجة غازات العادم لمنع ترسب الاحماض، أو باستخدامها لتطبيقات استعادة الحرارة المهذورة من مصادر حرارية غير غازات الاحتراق.

المراجع العلمية

- [1] MIROLI M.D, 2005- The Kalina cycle for cement kiln waste heat recovery power plants, IEEE Cement Industry Technical Conference Record, pp. 330-336.

- [2] LOLOS A, ROGDAKIS D, 2009- A Kalina power cycle driven by renewable energy sources, Energy, vol. 34, pp. 457-464.
- [3] OGRISECK S, 2009- Integration of Kalina cycle in a combined heat and power plant a case study, Applied Thermal Engineering, vol. 29, pp. 2843-2848.
- [4] SHANKAR N, SRINIVAS T, 2012- Design and modeling of low temperature solar thermal power station, Applied energy, vol. 9, No. 1, pp. 180 – 187.
- [5] LIN D, ZHU Q, 2015- Thermodynamic Comparative Analyses between (organic) Rankine Cycle and Kalina Cycle, Energy Procedia, 75, 1618–1623.
- [6] WANG Y, TANG Q, WANG M, FENG X, 2017- Thermodynamic performance comparison between ORC and Kalina cycles for multi-stream waste heat recovery, Energy Conversion and Management, 143, 482–492.
- [7] HUA J, LI G, CHEN Y, ZHAO X, 2015- Optimization of thermal parameters of boiler in triple-pressure Kalina cycle for waste heat recovery. Applied Thermal Engineering, 91, 1026–1031.
- [8] GUPTA A, DEEPAK K, SRINIVAS T, VENKAT S, 2014- Thermodynamic modelling and analysis of low temperature Kalina cycle system for geothermal sources of India, International Conference on Heat Transfer, HEFAT2014, Orlando, Florida.
- [9] GUPTA A, DEEPAK K, 2016- modeling and analysis of low temperature Kalina cycle system, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, Issue 2, 35-39.
- [10] WANG J, DAI Y, GAO L, 2009- Exergy analyses and parametric optimizations for different cogeneration power plants in cement industry, Applied Energy, v 86, 941-948.

- [11] MAYRA a, FELIPE A, 2018- KCS34 evaluation for WHR in cement industry, International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v5, 190-196.
- [12] ELVIRO J, FELIPE A, GUSTAVO H, LUIZ M, 2016- análise e otimização termoeconômica do ciclo Kalina kcs1 para a recuperação de calor residual em uma fábrica de cimento, CILAMCE , CEP 30535-901, Minas Gerais, Brasil.
- [13] HE J, LIU C, XU X, LI Y, WU S, XU J, 2014- Performance research on modified KCS (Kalina cycle system) 11 without throttle valve, Energy, 64, 389–397.
- [14] SHOKATI N, RANJBAR F, YARI M, 2015- Exergoeconomic analysis and optimization of basic, dual-pressure and dual-fluid ORCs and Kalina geothermal power plants: A comparative study. Renewable Energy, 83, 527–542.
- [15] ELLER T, HEBERLE F, BRÜGGEMANN D, 2017- Second law analysis of novel working fluid pairs for waste heat recovery by the Kalina cycle. Energy, 119, 188–198.
- [16] ELVIRO J, FELIPE A, MAYRA A, 2019- Assessment of a kalina cycle for waste heat recovery in the cement industry, Applied Thermal Engineering, vol(147), 421-437.
- [17] SIRKO O, 2009- integration of Kalina cycle in a combined heat and power plant, a case study, Applied Thermal Engineering, v29, 2843-2848.
- [18] Klein A, 2010- Engineering Equation Solver (EES), McGraw-Hill.
- [19] PAPADOPOULOS AI, STIJEPOVIC M, LINKE P, 2010- On the systematic design and selection of optimal working fluids for Organic Rankine Cycles. Appl Therm Eng, 30, 760-769.
- [20] KYOUNG K, HYUNG K, CHUL H, 2020- exergy analysis of Kalina and Kalina flash cycles driven by renewable energy, applied science, 10, 1813-1829.

- [21] Kolar D, 2018- Thermodynamic analysis of Kalina cycle configurations for utilisation of geothermal energy, Progress in Industrial Ecology – An International Journal, Vol 12, 164–179.
- [22] GANESH N, SRINIVAS T, 2012- Design and modeling of low temperature solar thermal power station, Applied Energy, 91, 180–186.
- [23] SANTOS B. 2011- Cement industry in Brazil: origins, consolidation and internationalization, Uberlândia, v 23, p 77-94 .

دراسة تأثير الإجهاد الحراري والكهربائي على الخواص الضوئية والكهربائية للديود العضوي الباعث للضوء الأبيض

طالب الماجستير: أمين الشدود كلية الهك - جامعة البعث

إشراف:

المشرف الرئيسي: د. غسان ابراهيم المشرف المشارك: أ.د. شفيق باصيل

ملخص البحث

نالت الديودات العضوية الباعثة للضوء خلال العقدين الماضيين اهتماماً واسعاً بسبب استخداماتها المتعددة سواء في مجال صناعة شاشات العرض (تلفزيونات ، شاشات الهاتف النقال ، الساعات الرقمية) أو في مجال الإضاءة الداخلية . لكن التقادم السريع لهذه الأوليدات مع زمن التشغيل أو خلال التخزين ما زال يشكل عقبة رئيسية أمام انتشار تطبيقاتها الصناعية. يتطلب تحسين استقرار و زيادة عمر الأوليد تحديد آليات التقادم المختقة والتحكم بها، يهدف هذا البحث إلى دراسة التقادم الذاتي للأوليدات التجارية من نوع OSRAM RMW-046 في ظروف مختلفة من الإجهادات المتسارعة الحرارية والكهربائية ومن ثم تحديد عمر الأوليد LT70,LT50 ومن ثم تحليل خصائص التقادم المختلفة.

الكلمات المفتاحية : أوليد ، تقادم ، عضوي ، شدة الضياء

Study of thermal and electrical stress impacts on electrical and optical characteristics of white organic light emitting diodes

Abstract

- In the past two decades, organic light emitting diodes are receiving steady and increasing attention due to their different applications such as OLED displays (televisions, mobile phones, digital watches, MP3 players, etc.) and OLED light panels.
- However, the short lifetime of OLEDs is a major obstacle for their commercialization.
- Improving the stability and the lifetime of OLEDs requires the identification and the control of the different mechanisms of degradation. This paper aims to study the intrinsic degradation signatures of commercial white organic LED (OSRAM RMW-046) under different conditions of accelerated stresses (electrical and thermal). The operational of lifetime LT70 and LT50 were then determined and the different aging characteristics analyzed.

Keywords : oled , degradation , organic , luminescence

مقدمة :

نالت الديودات العضوية الباعثة للضوء خلال العقدين الماضيين اهتماماً واسعاً بفضل استخداماتها المتعددة سواء في مجال صناعة شاشات العرض (تلفزيونات ، شاشات الهاتف النقال ، الساعات الرقمية) أو في مجال الإضاءة الداخلية .

تتميز الديودات العضوية الباعثة للضوء (OLED) عن مثيلاتها من أجهزة الإضاءة باستهلاكها القليل للطاقة ، جهد العمل الاسمي صغير نسبياً الذي لا يتجاوز 10 فولت ، سماكة جهاز الإضاءة لا يتجاوز 1mm ، الوزن الخفيف للجهاز ، الضياعات الحرارية صغيرة نسبياً ، إمكانية إنتاج (OLED) يشع الضوء في اتجاهين ، لا يصدر أشعة فوق بنفسجية أو أشعة تحت الحمراء بالإضافة إلى أنه يمكن تصنيع أوليدات مرنة قابلة للطي [1] .

رغم التطور التكنولوجي الهائل والذي سمح باستخدام هذه الأجهزة إلا أنه هناك العديد من المشاكل والعقبات التي تمنع إنتاج هذه الأجهزة وتسويقها بشكل أكبر في الوقت الراهن. وأهم هذه العقبات هو مدة العمل القصيرة نسبياً (10000 h) بالمقارنة مع الليدات الغير عضوية والتي تصل إلى (60000 h) [5] .
هناك تعريفين مهمين لمدة حياة الـ (OLED) :

1- مدة حياة التخزين: والذي يعبر عن الوقت الذي يمكن من خلاله تخزين الأوليد (دون عمل) بدون أن تتغير خصائصه الكهربائية والضوئية الأساسية فمثلاً شركة أوزرام حددت شروط تخزين منتجاتها أوليد أريس تحت درجات حرارة بين (60,-40) درجة مئوية و تحت ضغط جوي بين (1.2 ، 0.7) بار [8]

2- مدة حياة العمل: (L70 or L50): وهي تمثل الوقت الذي يستغرقه الجهاز كي

تتخفض شدة ضيائه إلى سبعين بالمئة من قيمتها الأولية L70 أو إلى خمسين

بالمئة من قيمتها الأولية L50 [8] .

ان العوامل المسببة لتقادم الأوليدات يمكن وضعها ضمن صنفين خارجية و ذاتية وذلك

حسب مصدر السبب خارجي (الجو المحيط) مثل بخار الماء و الأوكسجين و الحرارة ،

يمكن التخلص من تأثير الماء والأوكسجين عن طريق التغليف المناسب او داخلي (ناتج

عن احد مكونات الاوليد) ان التقادم الذاتي ل الاوليد يمكن وصفه بأنه انخفاض قيمة شدة

الضياء الصادرة عن الجهاز وازدياد قيمة جهد التشغيل من اجل قيمة ثابتة لتيار العمل

بدون أي تدخل او تأثير لعوامل الجو المحيط [10][9] .

هناك العديد من الفرضيات التي تم طرحها من اجل وصف التقادم الذاتي على الرغم انه

الى يومنا الحالي لم يتم إيجاد السبب الحقيقي للتقادم الذاتي سنقوم الان بذكر بعض هذه

النظريات التي تم طرحها:

1- حقن الشحنات (الالكترونات والثقوب) بكثافة عالية في المادة العضوية المشعة

للضوء (Alq3) [2] .

2- عدم الاستقرار البنيوي لطبقات المواد العضوية مع درجة حرارة الاوليد خلال العمل

(اثر جول) [4] .

3- تواجد ايونات معدنية ضمن الطبقات العضوية [3] .

4- ازدياد كثافة الفوخ الالكترونية والثقوبية [7] .

أهداف البحث :

1- دراسة تأثير الحرارة وكثافة التيار على تقادم الخواص الضوئية والكهربائية

للاوليد

2- استنتاج الدارة الكهربائية المكافئة لجهاز الأوليد

مواد وطرق البحث:

1- نوع جهاز الأوليد المستخدم في الدراسة

إن الأوليد من نوع Osram RMW-046 هو أوليد مصدر للضوء الأبيض ذو درجة حرارة لون 2800K ويعتبر أوليد ذو مساحة سطح واسع حيث تقدر مساحة السطح المصدر للضوء بـ 39.3 cm^2 (الشكل 1) يبين صورة توضيحية لجهاز Osram المستخدم



الشكل (1) صورة توضيحية للأوليد OSRAM RMW-046

إن الجدول التالي يلخص المعلومات المقدمة من قبل المصنع لهذا الجهاز .

جدول (1) بارامترات الأوليد OSRAM RMW-046

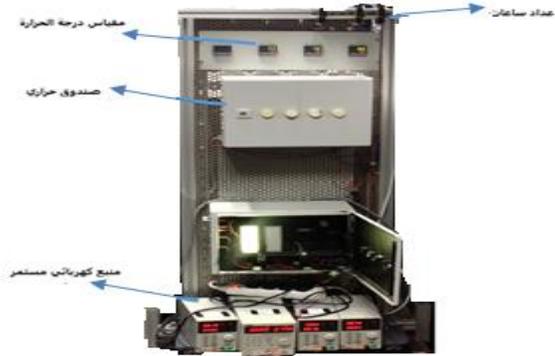
OSRAM RMW-046	البارامتر
216	التيار الاسمي (mA)
432	التيار الأعظمي (mA)
3.7	الجهد الاسمي (V)
4.5	الجهد الأعظمي (V)
2800	درجة حرارة اللون (K)
610	شدة الضياء الاسمي (cd/m^2)
13	المردود الضوئي (Lumin/W)
5000	عمر الجهاز (hr)
2.1	جهد إصدار الضوء (V)

2- الجهاز المستخدم لإجراء تجربة التقادم المتسارع

يتألف هذا الجهاز من ثلاث صناديق معدنية معزولة حرارياً. إن عملية التسخين تم تأمينها بواسطة مقاومات حرارية موزعة بتجانس ضمن الصندوق ، يتم التحكم بها بواسطة ريليه ستاتيكي يقودها منظم حراري. بالإضافة الى مراوح لكي تؤمن التجانس الحراري في جميع أرجاء الصندوق . تم قياس درجة الحرارة بواسطة حساس حراري موضوع في منتصف الصندوق. بالنسبة للإجهاد الكهربائي لقد تم تأمينه بواسطة منبع تيار مستمر ثابت مع الزمن. تم استخدام وصلات (يو اس بي) من نمط بي من اجل اجراء القياسات الكهربائية ضمن الجهاز دون الحاجة لنقل أوليدات ، تم استخدام عدادات للوقت ليتم حساب عمر الأوليدات بدقة. إن عاملي الاجهاد الذين تم تطبيقهما على الأوليدات المدروسة هما شدة التيار والحرارة (الجدول 2) يوضح قيمة الاجهادات .

جدول(2) : يبين قيمة الإجهادات الحرارية والكهربائية المطبقة على كل أوليد من الأوليدات المدروسة

	stress	درجة الحرارة (°C)		كثافة التيار (mA/cm ²)			
		40	60	11.25	13	15	17
OSRAM RMW-046	N1		X	X			
	N2		X		X		
	N3		X			X	
	N4		X				X
	N5		X				
	N6	X					



الشكل(2) الجهاز المستخدم في تجربة التقادم المتسارع

3- بروتكول إنجاز التجربة

من أجل متابعة تطور التقادم مع الزمن تم إخضاع الأوليدات إلى تقادم متسارع ، لقد تم إنجاز قياسات شدة الضياء النسبي بشكل منتظم (فقدان 30% من شدة الضياء والذي يشار له بـ LT70 هو معيار شائع في الوسط الصناعي من أجل تحديد نهاية حياة جهاز الإضاءة) إن الفواصل الزمنية بين كل عملية قياس تتغير حسب شدة عوامل الإجهاد المطبقة كل ما إزداد شدة عوامل الإجهاد كلما كان الفاصل الزمني بين كل عمليتي قياس أقصر. قبل إجراء القياسات تكون الأوليدات مطفأة وموضوعة بوضع الراحة لمدة 20min حتى تستقر درجة حرارتها وتصبح مساوية لدرجة حرارة غرفة القياس بعد ذلك يتم وضعها الواحدة تلو الأخرى على طاولة القياس الضوئية والتي تسمح بإجراء قياس شدة الضياء مستخدمين جهاز السبيكتروفوتوميتر ، المسافة بين اللاقط الضوئي والواجهة الأمامية للأوليد المصدر للضوء ومن أجل زاوية رؤية 1.8° تساوي 150cm هذه المسافة أكبر بعشر أضعاف من طول الأوليد والمساوي لـ 13cm لذلك يمكن اعتبار هذا المنبع الضوئي كمنبع نقطي وبالتالي يمكن إجراء القياسات مع إهمال أي انحراف للأوليد أو اللاقط الضوئي من مرتبة بضعة مليمترات الشكل(3) يوضح الطاولة الضوئية التي تم إنجاز القياسات الضوئية من خلالها بالإضافة إلى جهاز سبيكتروفوتوميتر مع لابتوب و أوليد مضاء بواسطة مصدر للتيار المستمر .



الشكل (3) طاولة القياس الضوئية

الخصائص الكهربائية (J, V) كثافة التيار مع جهد التشغيل والخصائص الضوئية تم إنجازها ضمن فواصل زمنية محددة خلال مدة التقادم وحتى بلوغ LT50، أما قياس الممانعة المطيافية فتم إنجازها قبل التقادم وعند الوصول إلى مدة الحياة LT70 ومن ثم عند الوصول إلى مدة الحياة LT50. الجدول التالي يوضح القيمة الأساسية لشدة ضياء الأوليدات المدروسة من أجل شدات التيار المطبقة على هذه الأجهزة والتي تعتبر كإجهاد كهربائي .

جدول (3): يوضح القيم الأساسية لشدة الضياء المقابلة لكثافة التيار المطبقة على كل أوليد من الأوليدات

الأوليد	كثافة التيار (mA/cm^2)	شدة الضياء الأساسي (cd/m^2)
1	11.25	1232
2	13	1449
3	15	1640
4	17	1872
5	5.49	602
6	5.49	600

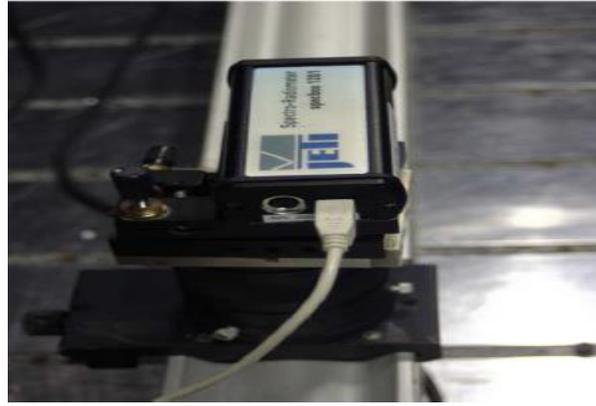
4- تقنيات القياس المستخدمة

إن الأوليدات المدروسة تملك بنية معقدة والتي تتألف من عدة طبقات من مواد عضوية مختلفة سماكة كل منها من مرتبة النانومتر، لقد تم استخدام تقنيات قياس مختلفة من أجل تحديد خصائص الأوليدات المدروسة، كل واحدة من هذه التقنيات يعطي معلومات

التي بدورها تساعد على تحديد طبيعة وسبب آلية التقادم. في هذا الجزء سنقوم بعرض تقنيات القياس الضوئية المستخدمة ثم سنقوم بتوصيف تقنيات القياس الكهربائية.

❖ القياسات الضوئية

لقد تم إجراء القياسات الضوئية باستخدام جهاز سبيكتروفوتوميتر SPECBOS1201 والذي مجال عمله يغطي الطيف الضوئي (380-780) nm. البارامترات التي يمكن قياسها بهذا الجهاز شدة الضياء، درجة حرارة اللون، الأطوال الموجية.



الشكل(4) جهاز سبيكتروفوتوميتر SPECBOS1201

المميزات المنجزة بواسطة هذا الجهاز هي :

- مميزة شدة الضياء النسبي مع زمن التقادم ($L/L_0, T$) والتي تحدد مدة حياة الأوليد حيث أن:
 L_0 : يمثل شدة الضياء قبل حدوث التقادم أي عند $t=0$ ويتم قياسها من أجل شدة تيار الإجهاد المطبق $m^2 / Candela$.
- L : هو قيمة شدة الضياء خلال التقادم مقدر بالـ $m^2 / Candela$.
- T : زمن التقادم مقاس بالساعة .
- مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار

من أجل جميع الأوليدات شدة الضياء L تتناسب مع شدة التيار إذاً مميزة (L, J) هي خطية وإن تطور النسبة بين شدة الضياء و كثافة التيار يعطي معلومات عن تقادم الأوليدات حسب قيمته فيما إذا كانت تتناقص أو إذا كانت ثابتة خلال التقادم . ويجب الإشارة إلى أن قيم شدة الضياء التي تم قياسها في هذه الدراسة هي قيم نسبية .

❖ القياسات الكهربائية :

إن تقنيتي القياس الكهربائي المستخدمتين في هذه الدراسة سيتم عرضهما كما يلي:

• قياس مميزة (J, V) :

إن مميزة كثافة التيار مع الجهد للأوليدات يعطي معلومات أساسية فيما يخص حقن ونقل واتحاد الشحنات . لقد تم قياس مميزة كثافة التيار مع الجهد في الظلام لكي يتم تفادي التأثير الفوتومتري العكسي بمساعدة جهاز قياس ومنبع بنفس الوقت والمسمى Keithley 2602A الموضح بالشكل (5) هذا الجهاز يقوم بتوليد الجهد والتيار والقياس بنفس الوقت للبارامتر المطلوب سواء كان الجهد أو التيار ، هذا الجهاز يتم قيادته بواسطة كمبيوتر .



الشكل (5) : جهاز Keithley 2602A

أحد المعلومات الهامة التي يمكن الحصول عليها من مميزة (J, V) هو جهد العتبة والذي يعتبر بارامتر هام يميز عمل الأوليد . بشكل عام يعرف جهد العتبة بأنه ذلك الجهد الذي

يعمل الأوليد عنده بشكل فعال أي يقوم بإصدار الضوء. عدة تعاريف تم طرحها لجهد العتبة مثل أن جهد العتبة هو الجهد الذي من أجله تصل شدة الضياء إلى واحد cd/m^2 لكن هذا التعريف يعتمد بشكل أساسي على حساسية جهاز قياس شدة الضياء لذلك تم طرح تعريف آخر يعكس آلية عمل الأوليد حيث عرف جهد العتبة بأنه الجهد الذي من أجله $\log(J)$ أو $\log(I)$ يزداد بشكل كبير ومفاجئ.

في هذه الدراسة قمنا باختيار جهد العتبة بالاعتماد على التعريف الذي يحدد بأن جهد العتبة هو الجهد اللازم لإمرار تيار كثافته $1mA/cm^2$.

• مميزة الممانعة المطيافية:

إن الممانعة المطيافية (IS) هي أداة غير مدمرة وفعالة جداً من أجل تحديد الخصائص الكهربائية للمواد العضوية وخصائص السطح الفاصل بين المادة العضوية و الإلكتروودات في هذه الدراسة تم تطبيق هذه التقنية من أجل دراسة آلية تقادم الأوليدات المدروسة. إن آلية عمل هذه التقنية هي كالتالي:

نقوم بإخضاع جهاز الأوليد إلى جهد انحياز أمامي ثابت V_{dc} والذي نقوم بوضع إشارة صغيرة متناوبة عليه V_{Ac} : $V_{Ac(t)} = V_m \sin(2\pi ft)$ حيث أن:

V_m : هي طويلة هذه الإشارة

f : هو تردد هذه الإشارة والذي يتغير بين (1Hz-100KHz).

فيكون الجهد الكلي المطبق على العينة يعطى بالعلاقة التالية:

$$V_{(t)} = V_{Dc} + V_m \sin(2\pi ft)$$

الجهد V_{DC} يقوم بحمل الإشارة المتناوبة من أجل تغير نقطة العمل على مميزة كثافة التيار مع الجهد استجابة الأوليد للتيار والذي يعطى بالعلاقة :

$$I_{Ac(t)} = I_m \sin(2\pi ft + \vartheta)$$

حيث أن ϑ : الزاوية الموافقة لانزياح الطور بين الجهد والتيار .

حسب قانون أوم الممانعة العقدية تعطى بالعلاقة التالية :

$$Z = \frac{V}{I} = Z'j + Z''$$

$$Z = \sqrt{Z'^2 + Z''^2} , \arctan(\vartheta) = \frac{Z''}{Z'}$$

حيث أن : Z', Z'' تمثلان الجزء الحقيقي والتخيلي للممانعة العقدية على التوالي .



الشكل (6) جهاز الممانعة المطيافية Solartron

إن هذه الممييزة تم قياسها بواسطة جهاز الممانعة المطيافية سولاترون والذي مجاله التردد يقع بين (1-100000Hz). إن النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة هذا الجهاز تسمح لنا بالحصول على الممييزات التالية : (ϑ, f) , (C, V) , $(|Z|, V)$, (C, f)

5- النتائج والمناقشات :

- تأثير عوامل الإجهاد على تطور حياة الأوليدات المدروسة

يوضح الجدول (4) مدة حياة الأوليد والتي تم قياسها (بعد انخفاض شدة الضياء إلى سبعين بالمئة من قيمتها الأولية LT70 ومن ثم بعد انخفاضها إلى خمسن بالمئة من

قيمتها الأولية LT50) . إن النسبة LT50/LT70 تعطي دلالات مهمة عن كيفية تطور سرعة تقادم الجهاز فإذا كانت قيمة هذه النسبة أكبر من 1.66 فإن سرعة التقادم بعد الوصول إلى مدة حياة LT70 تصبح أبطأ من سرعة التقادم قبل الوصول إلى LT70 ، أما إذا كان هذه النسبة أكبر من 1.66 كان عكس ما سبق ، وفي حال كانت النسبة مساوية لـ 1.66 فإن التقادم يحدث بسرعة ثابتة طوال زمن التقادم

جدول (4) مدة حياة الأوليدات المتقدمة بشكل متسارع

OLED	عوامل الإجهاد			Lo Ca/m2	مدة حياة الأوليدات مقدره بالساعة		
	T (C°)	J (mA/cm2)			LT70	LT50	LT50/l
OSRAM RMW - 046	1	60	11.25	1232	472	869	1.84
	2	60	13	1412	327	606	1.853
	3	60	15	1591	283	539	1.9
	4	60	17	1872	194	343	1.76
	5	60	0	602	LT89 = 2837 h		
	6	40	0	600	لا يوجد تقادم		

- تأثير الإجهاد الحراري فقط على تطور حياة الأوليدات

لقد قمنا بتطبيق إجهاد حراري على جهاز OLED من نوع OSRAM RMW-046 كالتالي :

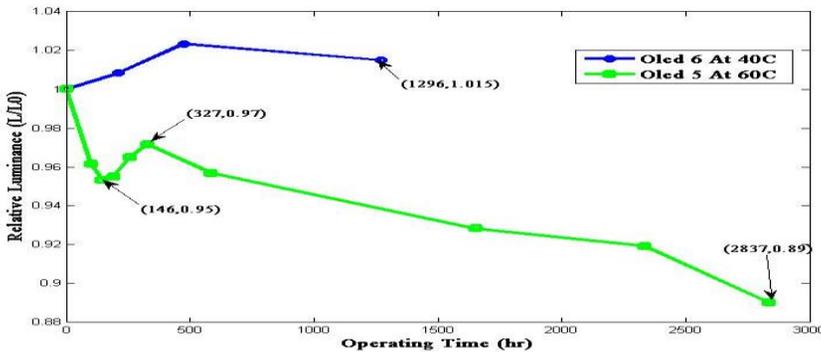
- تم تطبيق إجهاد حراري بقيمة 40°C لمدة 1296h على الأوليد رقم 6 لم يؤثر هذا الإجهاد في شدة الضياء الأولية لهذا الأوليد .

- تم تطبيق إجهاد حراري بقيمة 60°C على الأوليد رقم 5 وقد سبب هذا الإجهاد انخفاض شدة ضياء الجهاز %11 تقريباً من قيمته الأولية بعد مرور 2837h .

إن الحرارة وحدها لا تسبب الضرر لأجهزة الأوليد مالم تتجاوز درجة حرارة التحول البلوري لأحد المواد العضوية المستخدمة في صناعة جهاز الأوليد ، تسمح هذه النتيجة بالقول أن جهاز (OLED OSRAM RMW-046) يتكون من تجميع مواد عضوية واحد منها على الأقل درجة تحوله البلوري أقل من 60°C .

يوضح الشكل (7) المنحني النسبي (L/L0,T) ثلاثة مراحل لتطور حياة الأوليد مرحلة أولى من التقدّم السريع تتخفّض فيه شدة الضياء بنسبة 5% من قيمتها الأولية عند 146h المرحلة الثانية تحسن شدة الضياء للجهاز بنسبة 2% من شدة الضياء الأولية بين المجال (146-327)hr

المرحلة الثالثة مرحلة التقدّم البطيء طويلة الأجل والتي أدت إلى انخفاض عام بشدة ضياء الجهاز بمقدار %11 من شدة الضياء الأولية للجهاز بعد مرور أكثر من 2800 ساعة عمل .



الشكل (7) تطور شدة الضياء النسبي مع زمن الإجهاد للأوليدات (5,6) تحت تأثير الإجهاد الحراري فقط

يمكن تفسير المرحلة الأولى من خلال فرضيتين :

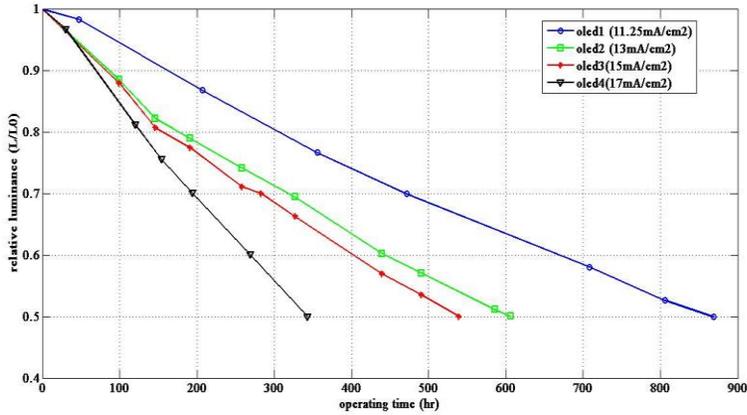
1- التغير المورفولوجي للمواد العضوية الناتج عن درجة الحرارة، حيث ان المواد العضوية توجد بحالة شبه مستقرة بعد التبخير وهذه المواد تتبلور تحت تأثير درجة الحرارة التي تتجاوز درجة التحول البلوري [11].

2- نشوء حقل كهربائي داخلي بواسطة أيونات متحركة أو عن طريق استقطاب بعض الجزيئات العضوية التي تعارض المجال الكهربائي المطبق [8].

في حالتنا تم تطبيق إجهاد حراري فقط ولذلك فإن الفرضية الأولى هي التفسير الأكثر ترجيحاً للمرحلة الأولى من التقادم السريع فيما يتعلق بالمرحلة الثانية من التحسن السريع هناك عدة فرضيات ممكنة مثل تحسن حركة الشحنات ، تحسن حقن الشحنات أما المرحلة الثالثة من التقادم لبطيء فيمكن تفسيرها من خلال عودة تبلور المواد العضوية ولكن بمعدل أبطأ من المرحلة الأولى .

- تأثير الإجهاد الحراري والكهربائي على تطور حياة الأولييد

لقد قمنا بتطبيق إجهاد حراري عند درجة حرارة $60C^{\circ}$ وإجهاد كهربائي من أجل كثافة تيار $(11.25,13,15,17) mA/cm^2$ على الأوليدات (1,2,3,4) على التوالي



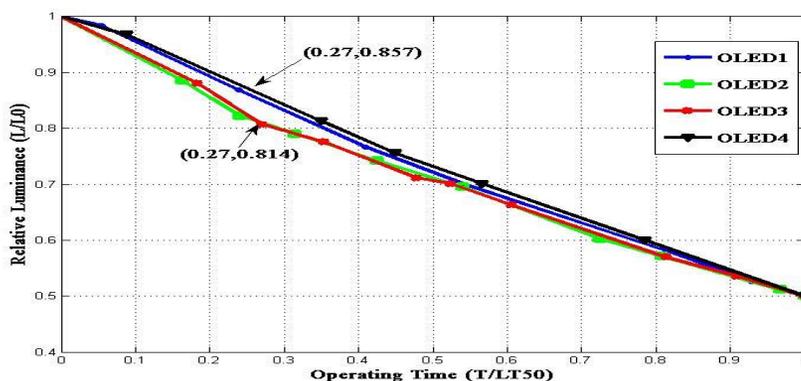
الشكل (8): تطور شدة الضياء النسبي للأولييدات (1,2,3,4) تحت تأثير الإجهاد الحراري والكهربائي

نجد أن تأثر تطور شدة الضياء بالإجهاد الكهربائي يزداد مع زيادة كثافة التيار فهو أقل تأثراً عند كثافة تيار $11.25 mA$ وأعلى تأثراً عند كثافة تيار $17 mA/cm^2$ أما عند

كثافة تيار $(13,15)\text{mA/cm}^2$ فلهما نفس التأثير على شدة الضياء في أول 100h من الإجهاد وبعدها يصبح تأثير كثافة التيار 15mA/cm^2 أعلى بقليل من تأثير كثافة التيار 13mA/cm^2

من الشكل (8) الذي يظهر أنه عند درجة حرارة ثابتة 60C° فإن زيادة شدة التيار تؤدي إلى زيادة سرعة التقادم بشكل ملحوظ غير أن هذا الشكل لا يظهر فيما إذا كانت الزيادة في شدة التيار وحدها هي المسؤولة عن زيادة سرعة التقادم .

من أجل تقييم تأثير زيادة شدة التيار على آلية التقادم سوف نستخدم الطريقة المقترحة من قبل (Tag) والتي تقوم على إعادة رسم الشكل (8) يعد نسب محور الإحداثيات الأفقي (الزمن) إلى مدة الحياة LT50 لكل أوليد فنحصل على الشكل (9) فإذا كانت المنحنيات الناتجة متطابقة (نفس شكل المنحني) فإن زيادة سرعة التقادم لا يمكن ربطها إلا بزيادة شدة التيار والاجهاد الحراري المطبق ، أما إذا كانت المنحنيات غير متطابقة فإن هناك أسباب أخرى أدت إلى زيادة سرعة التقادم غير تلك الناتجة عن الإجهاد الكهربائي.



الشكل(9): علاقة شدة الضياء النسبي مع زمن التشغيل منسوبا إلى قيمة زمن الحياة LT50 لكل أوليد

الشكل (9) يوضح بأن المنحنيين الموافقين للأوليدات 2,3 متطابقان تقريبا مما يدل على أنهما يخضعان إلى نفس آلية التقادم و أن المنحنيين الموافقين للأوليدات 1,4 متطابقان

تقريباً أيضاً فهما يخضعان إلى نفس آلية التقادم. بشكل عام نلاحظ من الشكل أن المنحنيات الأربعة الموافقة للأوليدات المدروسة (1,2,3,4) متقاربة جداً ويمكن أن يعزى الاختلاف بينها إلى الاختلاف في تأثير أثر جول الحراري (عامل تقادم ذاتي) وبتقريب مقبول يمكن القول أن جميع الأوليدات تخضع لنفس آلية التقادم حيث أن أكبر فارق في شدة الضياء النسبي بين المنحنيات الأربعة عند زمن نسبي 0.27 هو 0.043 لتعود المنحنيات الأربعة لتتقارب وتصبح شبه منطبقة ضمن المجال الزمني النسبي (1-0.5)

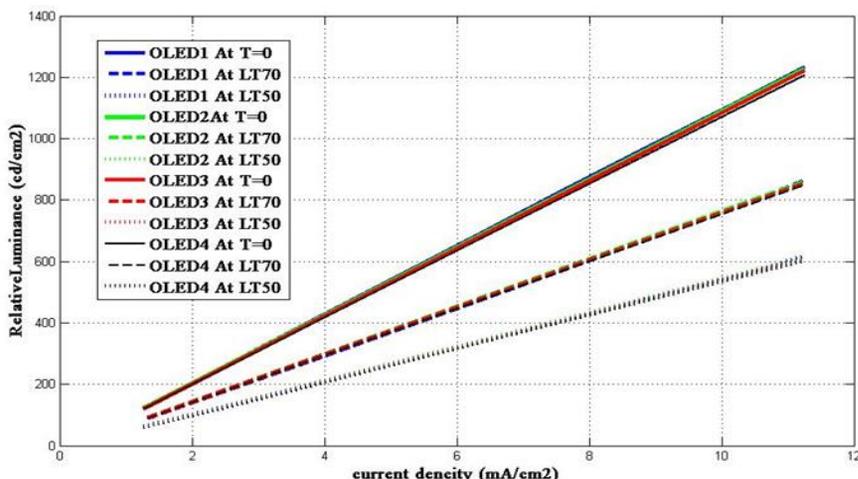
- تطور خاصية شدة الضياء مع كثافة التيار

يوضح الجدول (5) ميل منحنيات مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار لكل أوليد من الأوليدات المدروسة كما يوضح الشكل (10) مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار لأجهزة أوليد أوزرام المدروسة ويمكن اعتبار هذه المميزة خطية.

جدول(5) : يوضح ميل مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار لكل أوليد عند T=0,LT70,LT50

OLED Slope	1	2	3	4
At T=0	111.365	110.66	110.36	108.86
AT LT70	77.89	77.63	77.13	76.62
AT LT50	55.5	55.38	54.88	54.28

وقد تناقص ميل المنحنيات للأوليد 1 من 111.365 قبل التقادم إلى 77.887 بعد الوصول إلى مدة حياة LT70 وإلى 55.5 بعد الوصول إلى مدة حياة LT50 إن تناقص الميل يعتبر دلالة على فقدان الفعالية الضوئية للجهاز حيث أن مردود التيار (cd/A) يساوي الميل مقسوم على عشرة إذاً مردود التيار الضوئي قد تناقص من 11.1365 قبل التقادم إلى 7.7887 بعد الوصول إلى LT70 وإلى 5.55 بعد الوصول إلى LT50 .



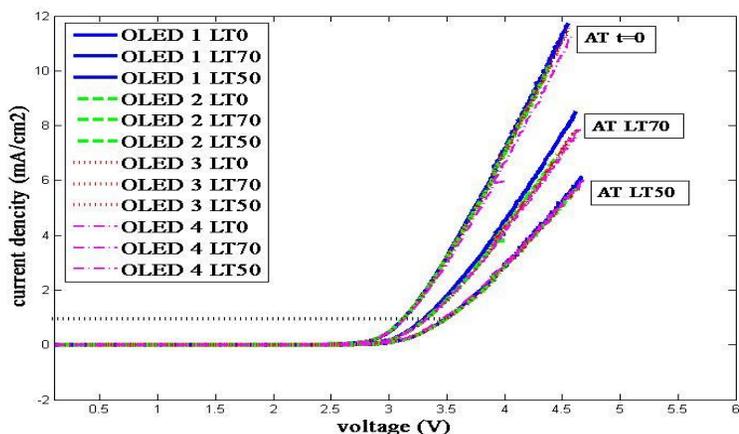
الشكل(10) مميزة شدة الضياء مع كثافة التيار للأوليدات (1,2,3,4) عند $T=0,LT70,LT50$

تطور الخواص الكهربائية

لقد قمنا بمتابعة تطور الخصائص الكهربائية للأوليدات المدروسة خلال فترة التقادم المتسارع وسنقوم بعرض النتائج

- تطور مميزة كثافة التيار مع الجهد

لقد قمنا بإنجاز مميزة كثافة التيار مع الجهد للأوليدات المدروسة عند ثلاثة نقاط قبل التقادم وعند الوصول إلى $LT70$ ومن ثم عند الوصول إلى $LT50$ يوضح الشكل(11) مميزة كثافة التيار مع الجهد لجميع الأوليدات المدروسة ضمن الإحداثيات الخطية . يمكن أن نلاحظ أن مميزة كثافة التيار مع الجهد ولجميع الأوليدات قد انزلت نحو اليمين مع زمن التقادم وهذا الانزياح قد ازداد مع ازدياد زمن التقادم من أجل قيمة محددة لكثافة التيار وجدنا أن الجهد اللازم لإمرار هذه القيمة قبل التقادم هو أقل من قيمة الجهد اللازم لإمرارها بعد التقادم .



الشكل (11) علاقة الجهد مع كثافة التيار للأوليدات 1,2,3,4 عند النقاط الزمنية $T=0,LT70,LT50$

إن جهد العتبة في هذه التجربة هو الجهد اللازم لإمرار تيار قيمته $1\text{mA}/\text{cm}^2$ إن قيمة جهد العتبة قبل التقادم لجميع الأوليدات 3.1V وقد ازدادت هذه القيمة إلى 3.3V بعد التقادم إلى $LT70$ ومن ثم ازدادت إلى قيمة 3.5V بعد التقادم إلى $LT50$ ونجد أن الجهد الإسمي اللازم لإمرار التيار الإسمي الموافق لكثافة تيار $5.5\text{mA}/\text{cm}^2$ قد ازداد من 3.7V قبل التقادم إلى 4.25V بعد التقادم إلى $LT70$ وازداد إلى 4.56V عند الوصول إلى $LT50$.

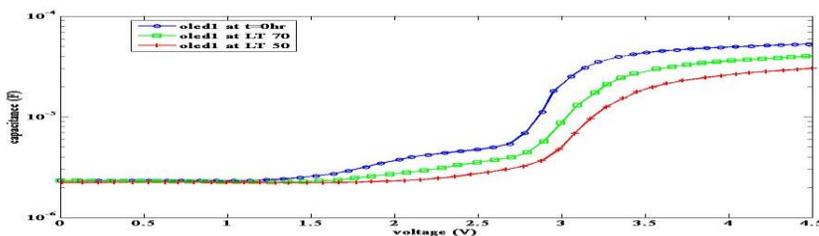
- تطور مميزة السعة مع الجهد (C,V):

قمنا بإنجاز مميزة السعة عند جهد متغير (C-V) عند تردد ثابت قيمته 1000Hz لجميع الأوليدات عند ثلاثة نقاط قبل التقادم $T=0$ وعند الوصول إلى مدة حياة $LT70$ وعند الوصول إلى مدة حياة $LT50$. الشكل (12) يوضح مميزة السعة مع الجهد من أجل النقاط المذكورة ضمن إحداثيات نصف لوغاريتمية و نستنتج منه بأن السعة الجيومترية لم تتغير بعد التقادم على عكس سعة الانتشار التي تتناقص بشكل ملحوظ حيث أن المميزة (C,V) انزاحت نحو اليمين بعد التقادم. على سبيل المثال إن السعة الكلية للأوليد رقم 1 عند جهد 3.7V وتردد 1000Hz مساوية لـ $46.21\mu\text{F}$ وتتناقص

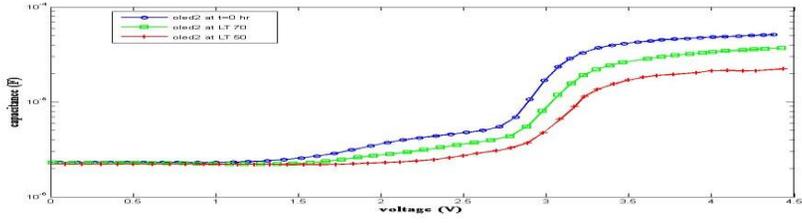
إلى القيمة $32.9\mu\text{F}$ عند الوصول إلى LT70 وتتناقص إلى القيمة $22.91\mu\text{F}$ عند الوصول إلى LT50 .

إذاً يمكن القول بأن كمية الشحنات المحقونة في الأوليد تناقصت بعد التقادم من أجل نفس جهد الإنحياز المطبق . إن تناقص السعة الكلية للأوليد يمكن أن يفسر بتناقص كمية الشحنات المحقونة ضمن المادة العضوية وهذا مرده الى ازدياد قيمة الجهد اللازم تطبيقه على الأوليد من أجل ان يتم حقن الشحنات وهو على الأغلب ناتج عن التقادم عند السطح الفاصل بين الإلكترودين من جهة والطبقات العضوية من جهة اخرى .

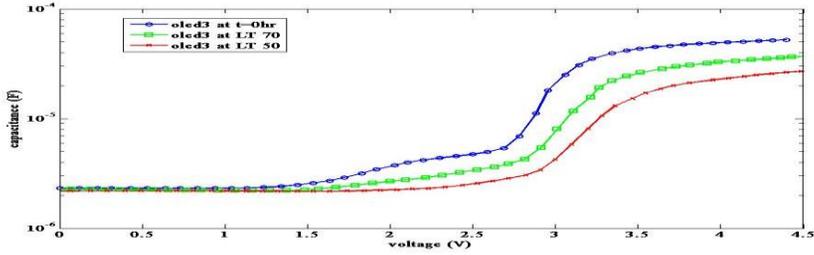
إن المميّزة (C,V) تقدم معلومات حول جهد العتبة وحقن ونقل واتحاد الشحنات ضمن المادة العضوية وتطورها خلال التقادم ، وإن هذه المعلومات تتوافق مع المعلومات التي حصلنا عليها من المميّزة (J,V) .



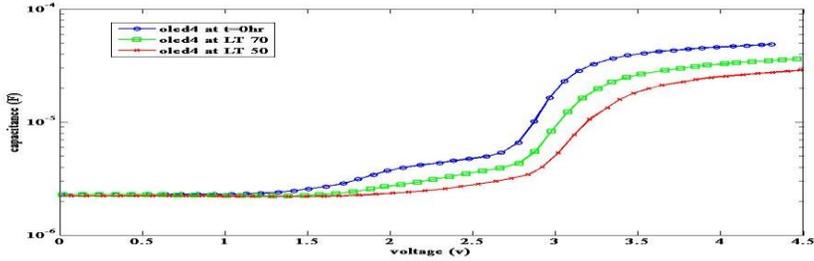
(a)



(b)



(c)



(d)

الشكل (12) a,b,c,d تمثل علاقة السعة بالجهد عند تردد ثابت 1000Hz للأوليدات 1,2,3,4

- تطور مميزة الممانعة العقدية مع التردد

إن الممانعة العقدية للأوليد تعطى بالعلاقة التالية :

$$\hat{Z} = \frac{\hat{V}}{\hat{I}} = Z' - jZ''$$

حيث أن Z' , Z'' القسم الحقيقي والتخيلي على التوالي للممانعة العقدية .

إن طولية الممانعة العقدية تعطى بالعلاقة التالية :

$$\hat{Z} = \sqrt{Z'^2 + Z''^2}$$

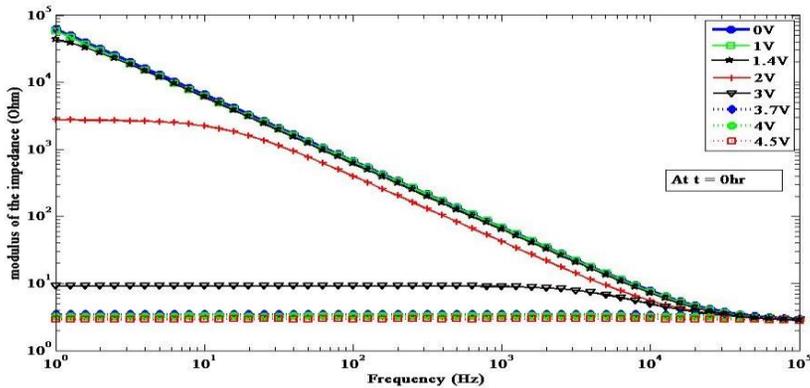
إن زاوية الطور تعطى بالعلاقة التالية :

$$\vartheta = -\tan^{-1} \frac{Z''}{Z'}$$

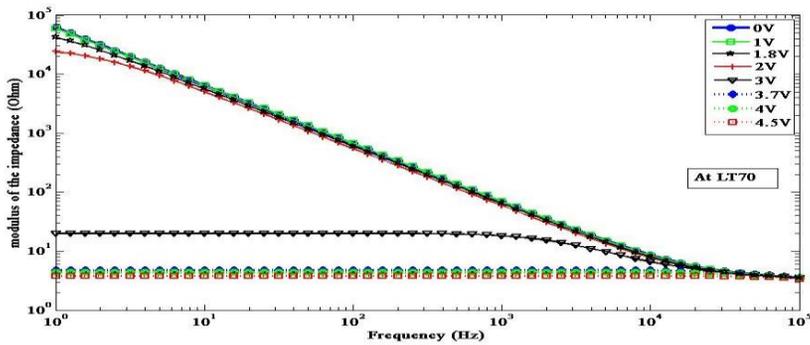
إن الشكل (13) يبين مميزة طويلة الممانعة العقديّة مع التردد ($|Z|, f$) ومميزة زاوية الطور مع التردد (ϑ, f) للأوليد من نوع Osram RMW-046 عند ثلاثة نقاط قبل التقادم $T=0$ وعند الوصول إلى LT70 وعند الوصول إلى LT50 وذلك من أجل قيم مختلفة لجهد الانحياز .

من أجل الجهود المنخفضة نلاحظ بأن طويلة الممانعة وأياً تكن مدة التقادم مستقلة عن الجهد المطبق وذلك حتى قيمة 1.4V للجهد قبل التقادم $T=0$ و 1.8V عند الوصول إلى LT70 و 1.9V عند الوصول إلى LT50 ومرتبطة بالتردد حيث أنها تنخفض بسرعة مع ازدياد التردد .

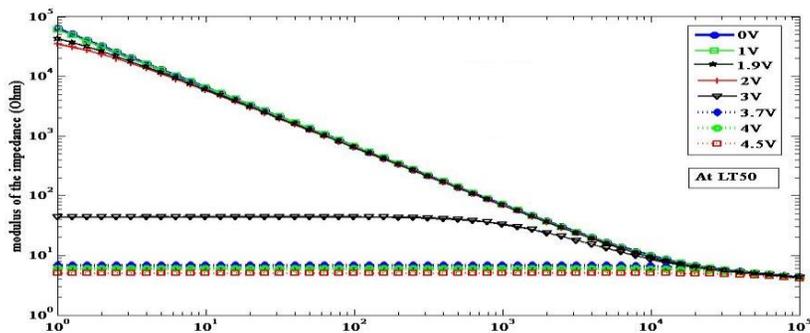
ونلاحظ بأن طويلة الممانعة تبدأ بالتناقص مع ازدياد التردد اعتباراً من القيم السابقة للجهد وتصبح أقل اعتماداً على قيمة التردد حتى تصبح مستقلة عن التردد من أجل جهد 3.7V أي أنه من أجل جهد انحياز ضمن المجال (1.4-3.7) قبل التقادم وضمن المجال (1.8-3.7) عند الوصول إلى LT70 وضمن المجال (1.9-3.7) عن الوصول إلى LT50 فإن طويلة الممانعة تتناقص مع ازدياد الجهد لتصبح عند قيمة 3.7V مستقلة عن الجهد والتردد.



(a)



(b)

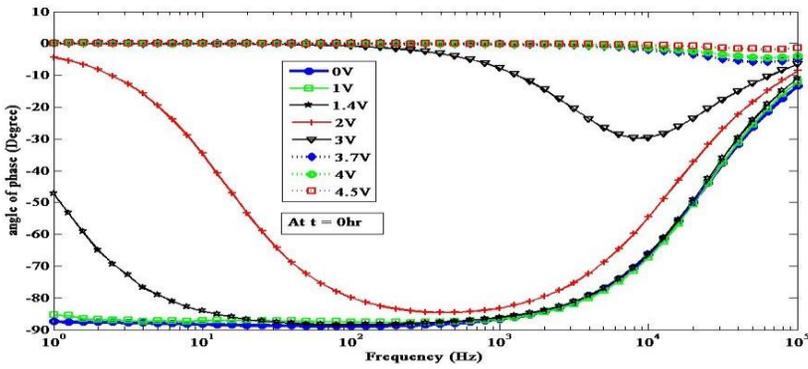


(c)

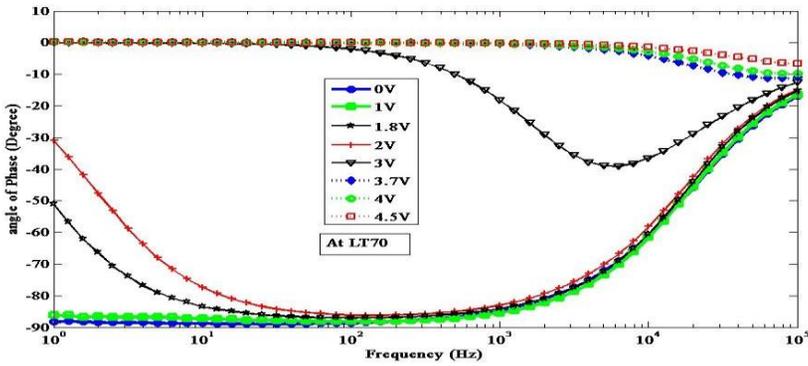
الشكل (13) a,b,c تمثل علاقة طويلة الممانعة مع التردد للأوليد1 عند قيم مختلفة للجهد عند النقاط الزمنية $T=0,LT70,LT50$

- مميزة زاوية الطور مع التردد :

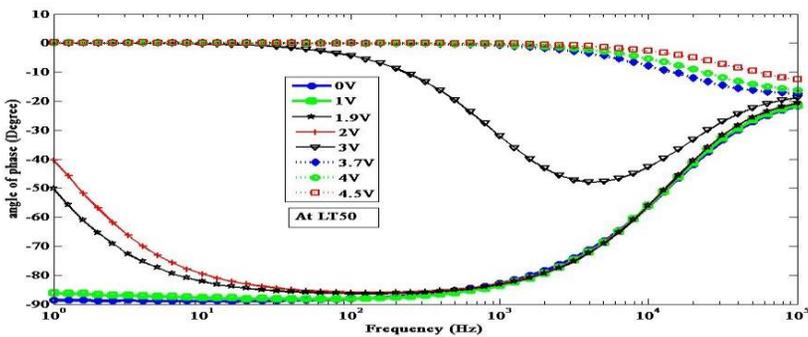
زاوية الطور تتراوح بين $(0, -90)$ وهذا يمكن أن يعبر عنه بالاستجابة من نوع مقاومة وسعة للأوليد المدروس كتابع للتردد والجهد. من الشكل (14) نلاحظ بأن الأوليدات المدروسة تتصرف كسعة صرفة ضمن المجال $V(0-1.4)$ قبل التقادم في حين أنها تظهر استجابة من نوع مقاومة عندما يتم حقن الشحنات في المادة العضوية اعتباراً من القيم $(1.4, 1.8, 1.9)$ قبل التقادم وعند الوصول إلى LT70 ومن ثم عند الوصول إلى LT50 على الترتيب حيث أن المادة العضوية لا يمكن اعتبارها بعد حقن الشحنات كعازل مثالي لوجود نقل للشحنات ضمن المادة العضوية وهذا يشرح التصرف الترددي للأوليد .



(a)



(b)



(c)

الشكل (14) : a,b,c تمثل العلاقة بين زاوية الطور والتردد للأوليد 1 عند قيم مختلفة للجهد عند نقاط
زمنية $T=0,LT70,LT50$

6- الدارة المكافئة :

بالاعتماد على التحليل السابق للسلوك الكهربائي للأوليدات المدروسة قمنا باقتراح دارة كهربائية مكافئة للأوليدات هذه الدارة تتألف من عنصرين (R-C) على التفرع موصولين مع بعضهما على التسلسل وهما بدورهما موصولان مع مقاومة R_s على التسلسل . تمثل المقاومة R_s مقاومة السطح الفاصل بين الإلكترودين من جهة والطبقات العضوية من جهة أخرى ، ونمثل كل من الطبقة العضوية الناقلة للإلكترونات والناقلة للثقوب بمقاومة وسعة موصولتين على التفرع.

ممانعة الدارة المكافئة تعطى بالعلاقة :

$$Z = R_s + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + j\omega C_1} + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2}$$

$$Z = \left[R_s + \frac{R_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{R_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \right] - j \left[\frac{\omega R_1^2 C_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{\omega R_2^2 C_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \right]$$

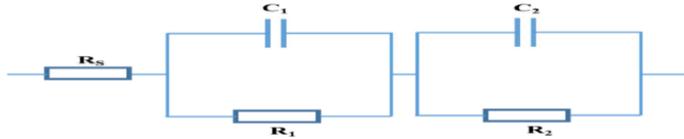
الجزء الحقيقي والتخيلي للممانعة Z', Z'' تعطى بالعلاقة التالية :

$$Z' = R_s + \frac{R_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{R_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2}$$

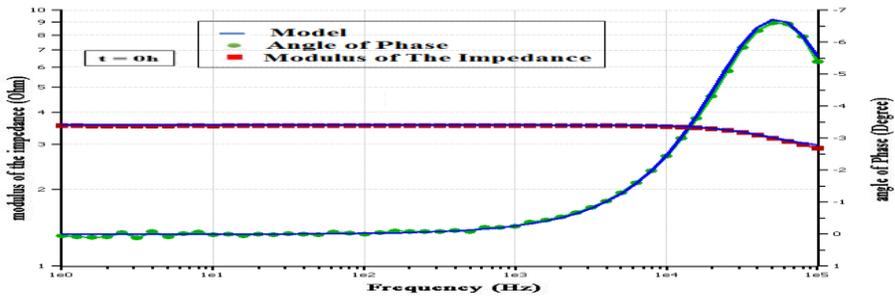
$$Z'' = \frac{\omega R_1^2 C_1}{1 + (\omega R_1 C_1)^2} + \frac{\omega R_2^2 C_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2}$$

من أجل مجال التردد من 0 إلى ∞ فإن $Z', Z'', |Z|$ تعطى بالعلاقات التالية :

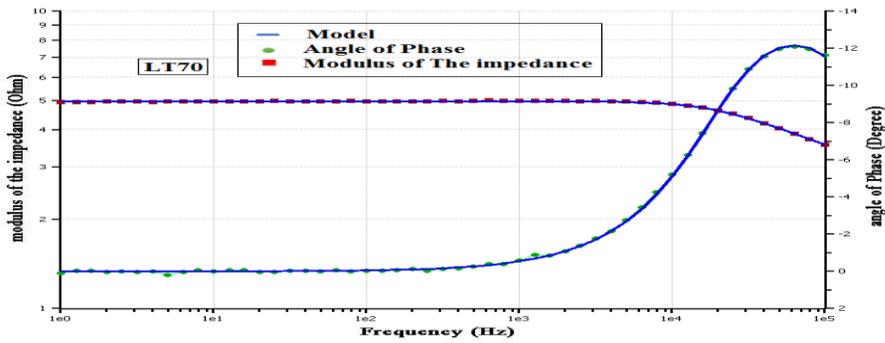
عند $\omega = 0$ فإن $Z' = R_s + R_1 + R_2$ و $Z'' = 0$ و $|Z| = R_s + R_1 + R_2$ لقد قمنا بإنجاز جميع القياسات على جميع الأوليدات ضمن المجال (1-100000)Hz حدود المجال فرضتها خصائص جهاز القياس المستخدم .



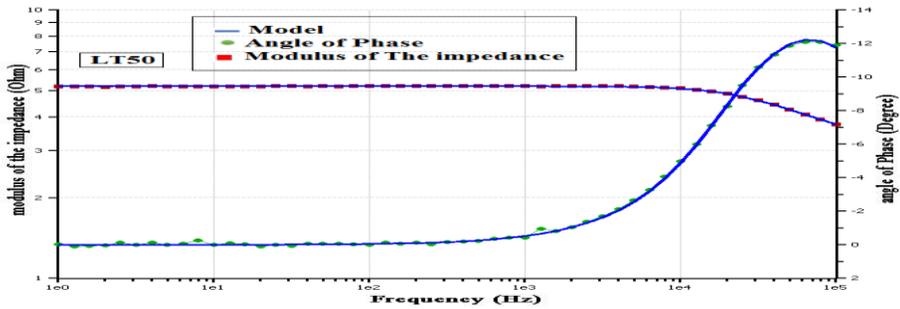
الشكل (15) نموذج الدارة المكافئة



(a)



(b)



الشكل (16) مقارنة علاقة طويلة الممانعة وزاوية الطور المقاسة مع التردد مع مثيلاتها الناتجة عن النموذج الكهربائي

الشكل (16) يمثل المنحنيات $(|Z|, f)$ ، (θ, f) باستخدام نموذج الدارة المكافئة لأوليدات OSRAM RMW-046 عند جهد انحياز أمامي 3.7V وعند النقاط قبل التقادم $T=0$

وعند LT70 و عند LT50 بالمقارنة مع تلك المنحنيات المرسومة باستخدام نتائج القياس عند نفس جهد الانحياز والنقاط الزمنية. من هذا الشكل نستطيع أن نتحقق أن المنحنيات الناتجة عن نموذج الدارة الكهربائية المفروضة تنطبق تماماً مع المنحنيات الناتجة عن القياسات التجريبية وهذا النموذج يبقى صالحاً للاستخدام حتى بعد التقادم مع تغيير قيم عناصر الدارة الكهربائية المكافئة من أجل نفس قيمة الجهد. الجدول (6) يوضح قيم عناصر الدارة الكهربائية للأوليدات المدروسة وتطورها من أجل جهد انحياز أمامي 3.7V وتردد 1KH .

نستطيع أن نلاحظ بأن قيمة المقاومة R_s ازدادت بشكل طفيف بالمقارنة مع ازدياد R_1 , R_2 بنفس الوقت فإن قيمتي C_1 , C_2 تتناقصا مع ازدياد زمن التقادم .

إن تطور قيم عناصر الدارة المكافئة يتوافق مع النتائج التي حصلنا عليها حيث أن مقاومة السطح الفاصل بين الإلكترودين والطبقات العضوية قد ازدادت وهذا يمكن تفسيره بانتشار عنصري الانديوم والأكسجين انطلاقاً من المصعد ضمن الطبقات العضوية تحت تأثير الإجهاد الكهربائي المطبق وهذا الانتشار يؤدي بنفس الوقت الى انخفاض حركية الشحنات ضمن الطبقات العضوية حيث أن الأكسجين والإنديوم على الترتيب يلعبان دور فحوخ للتقوب و للإلكترونات وهذا بدوره يؤدي الى ازدياد مقاومة الطبقات العضوية بالإضافة إلى التقادم الناتج عن تغير بنية الجزيئات العضوية تحت الاجهاد الحراري وهذا ما وجدناه في تطور المقاومات التفرعية في الموديل المفروض .

ان انتشار الشوائب من المصعد ضمن الطبقات العضوية يؤثر سلباً على كفاءة الاوليد حيث ترتفع قيمة طويلة الممانعة للجهاز ويزداد جهد العمل الاسمي اللازم لتمرير قيمة التيار الاسمي.

جدول (6) قيم عناصر الدارة الكهربائية المكافئة لكل أوليد من الأوليدات المدروسة $T=0,LT70,LT50$

OLEDS		1	2	3	4
Electrical element					
At T=0	$R_s(\Omega)$	2.79	2.868	2.99	3.04
	$R_1(\Omega)$	0.3752	0.5514	0.2731	0.33
	$R_2(\Omega)$	0.3722	0.3332	0.3271	0.3615
	$C_1(\mu F)$	9.03	7.487	13.71	11.64
	$C_2(\mu F)$	9.103	12.39	13.64	11.63
At LT70	$R_s(\Omega)$	3.021	3.172	3.3485	3.239
	$R_1(\Omega)$	1.191	1.369	1.15	1.304
	$R_2(\Omega)$	0.7699	0.9297	1.0372	0.9086
	$C_1(\mu F)$	4.423	4.405	5.4095	4.316
	$C_2(\mu F)$	2.14	1.902	2.1761	1.806
At LT50	$R_s(\Omega)$	3.323	4.53	3.525	3.535
	$R_1(\Omega)$	2.354	2.829	2.8	2.258
	$R_2(\Omega)$	1.649	2.065	2.116	1.685
	$C_1(\mu F)$	3.618	3.668	3.738	3.607
	$C_2(\mu F)$	1.078	0.8778	0.976	0.9797

التوصيات :

- 1- إن انتشار الإنديوم اعتباراً من المصدر ضمن المادة العضوية يعتبر أحد الأسباب المؤدية لتسريع تقادم الأوليد وتخفيض عمره لذلك يوصى بالبحث عن مواد بديلة لأكسيد الإنديوم والقصدير في صناعة المهبط حيث تبين من التجارب الأثر السلبي للإنديوم على عمر الأوليد وكفاءته.
- 2- إضافة مادة عضوية تشكل حاجز طاقي بالنسبة للشحنات ذات الكثافة الأعلى مع اتخاذ اجراء لتقادي ارتفاع الحرارة الناتج عن فعل جول بتزويد الأوليد بمشع حراري من الألمنيوم الذي يساهم في تبريد الأوليد وتقادي الآثار السلبية لارتفاع درجة الحرارة على عمل الأوليد.
- 3- استخدام مواد عضوية ذات درجة حرارة تحول بلوري مرتفعة نسبياً في صناعة الديود العضوي الباعث للضوء.

المراجع العلمية :

- [1] SCHOLS,S 2011- **Device Architecture and Materials for Organic Light-Emitting Devices** . Springer Dordrecht Heidelberg , London New York, 154 P.
- [2] Mazzeo,M 2010- **Organic Light Emitting Diode** . Sciyo, India, 172 p

- [3] LI,Z et MENG.H 2007- **Organic Light-Emitting Materials and Devices**.Taylor & Francis Group, London New York,672P.
- [4] SO,F 2010 - **Organic Electronics: Materials, Processing, Devices and Applications** .Taylor & Francis Group, London New York,567P.
- [5] BUCKLEY,A 2013- **Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs)- Materials, Devices and Applications**. Woodhead Publishing Limited ,Oxford Cambridge New Delhi , 647P.
- [6] HWAN KO.S 2011-**Organic Light Emitting Diode – Material, Process and Devices**. InTech, Croatia , 322P.
- [7] GASPAR,D 2015- **OLED Fundamentals Materials, Devices, and Processing of Organic Light-Emitting Diodes**. Taylor & Francis Group, London New York ,254p .
- [8] HUBY,N 2006- **Optoelectronics of molecules and polymers** . Springer ,france,284 P.
- [9] KANG,H 2016. [En ligne]. Available: <http://www.olednet.com/en/lighting-oled/?ckattempt=1>.
- [10] MOLITON.A 2011 - **Electronique et optoelectronique organiques** . Springer,france, 540P.
- [11] KHANNA.V 2014 - **Fundamentals of Solid-State Lighting**. Taylor & Francis Group,London New York

,563P.

بناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط باستخدام

خوارزمية الحوت الأمثل

الباحثة: د. سمر الحلبي

مشرف على الأعمال - قسم هندسة البرمجيات ونظم المعلومات

كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

الملخص:

سنعرض في هذه المقالة طريقة جديدة تُستخدم لحل مسألة من أهم المسائل المطروحة في مجال الحوسبة الهندسية (Computational Geometry) تدعى مسألة بناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط في المستوى، وتعتبر تطبيقات هذه المسألة عديدة نذكر منها في مجال التخطيط، توزيع الموارد، رباتيك، ...

تهدف هذه الدراسة إلى بناء مخطط فوريونوي لمجموعة نقاط بطريقة جديدة سهلة باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل (Whale Optimization Algorithm) وذلك للاستفادة من هذه الخوارزمية وإمكانياتها في مجال التصنيف (Classification).

كما سنوضح في هذا المقالة حياة الحوت في العالم الحقيقي وخوارزمية الحوت الأمثل وتطبيقاتها، من ثم نتائج تطبيق هذه الخوارزمية على مسألتنا (بناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط في المستوى)، وبعد ذلك سنقدم دراسة تحليلية لمعرفة مدى فعالية هذه الخوارزمية.

الكلمات المفتاحية: الحوسبة الهندسية، مخطط فوريونوي، خوارزميات الحل الأمثل، خوارزمية الحوت الأمثل.

Construct Voronoi Diagram of a set of points using Whale Optimization Algorithm

Abstract:

In this article, we will propose a new method, which handles one of the most important problems in the “Computational Geometry”, called “Construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points in a plan”. This problem has several applications in many domains such as planning, distributed resources, and robotics ...

The goal of this study is to construct Voronoi Diagram in a new easy method. We propose using whale optimization algorithm as it is a powerful in “Classification”.

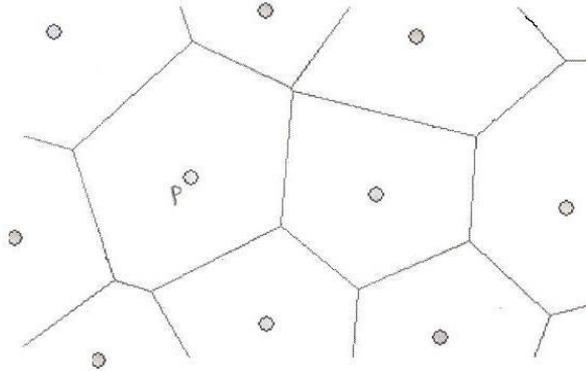
As well as we will explain the whales in nature, whale optimization algorithm (WOA) and its applications, in addition to the results with construct Voronoi Diagram.

Finally we will show the efficiency of this method according to the analysis.

Keywords: Computational Geometry, Voronoi Diagram, Optimization Algorithm, Metaheuristic Algorithms, Whale Optimization Algorithm (WOA).

1. مقدمة:

تعتبر الحوسبة الهندسية (Computational Geometry) من أحد فروع علوم الحاسوب، حيث تهتم بدراسة خوارزميات لحل مسائل ذات طبيعة هندسية، وتستخدم هذه الخوارزميات في العديد من العلوم مثل بحوث العمليات (Operations Research)، الروبوتيك (Robotics)، البيانيات (Computer Graphic)، ... من أشهر المسائل المدروسة في هذا المجال مسألة مخطط فوروبوني (Abstract Voronoi Diagram) [8][9][10]، والتي تعرف بأنها عملية تقسيم المستوي إلى خلايا بواسطة عدد من النقاط (مراكز فوروبوني) في المستوي وذلك بالاعتماد على القاعدة الرياضية والتي تدعى قاعدة أقرب جار (The Nearest Neighbor)، فمثلاً في الشكل-1 يمثل (المركز P) المركز الأقرب بالنسبة لنقاط الخلية المتواجد فيها مقارنة مع نقاط الخلايا الأخرى.



الشكل-1-يمثل مخطط فوروبوني لمجموعة من المراكز، بحيث يمثل المركز p خلية

تحتوي النقاط الأقرب إلى P من بقية المراكز

تستخدم مسألة بناء مخطط فوروبوني لمجموعة من النقاط في العديد من التطبيقات منها:

- تطبيق الاستفسار عن الجار الأقرب: يُمثل هذا التطبيق إحدى أهم مسائل بنى المعطيات في الحوسبة الهندسية [16] [17]، حيث تغطي مجموعة المعطيات P ونقطة الاستفسار q وعندئذ يحدد الجار الأقرب من المجموعة P إلى q انطلاقاً من الحسابات الأولية لمخطط فوروبوني.

- تطبيق مسألة مكتب البريد (The post office problem) [6] : تُعتبر هذه المسألة من أهم المسائل العملية المطروحة والتي طرحت بالشكل التالي، تم افتتاح سلسلة من مكاتب البريد في مدينة ما، ونريد افتتاح فرع جديد في موقع ما من المدينة، لحل هذه المسألة انطلاقاً من دراسة التوزيع السكاني واهتمام السكان بإرسال الرسائل، تم تقسيم المساحة الكلية للمدينة إلى مناطق تتمثل بمناطق فوريونوي حيث أن السكان التي تعيش في نفس المنطقة جميعها تذهب إلى نفس مكتب البريد الممثل بمركز المنطقة وهو المركز الأقرب لهذه المنطقة مقارنة مع المركز الأخرى. (الشكل-2)



الشكل-2-مسألة مكتب البريد

- تخطيط الحركة Motion Planning [13]: تحدد مسار آمن لرجل آلي في محيط يحوي العديد من العوائق.
- مسألة التصميم المعماري [3]: تهدف إلى الاستفادة من القيم الجمالية والتنشكيلية لمخططات فوريونوي في ابتكار تصميمات خرفية جديدة.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى عرض خوارزمية جديدة لبناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط مستخدمين إحدى خوارزميات الحل الأمثل والتي تدعى خوارزمية الحوت الأمثل وذلك للاستفادة من ميزاتهما في التصنيف.

كما سيتناول البحث عرض دراسة تحليلية لمعرفة مدى فعالية الخوارزمية المقترحة، ومن ثم مقارنة الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية المقدمة في المرجع [11] من حيث زمن التنفيذ.

3. تعريف مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط بشكل رياضي: [6]

يمثل مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط N في المستوي عملية تقسيم المستوي إلى N خلية مضلعة تحوي كل منها إحدى نقاط المجموعة N ، وتحقق كل نقطة قاعدة أقرب جار بالنسبة لنقاط الخلية المنتمية لها مقارنة مع باقي نقاط المجموعة N ، أي من أجل، فإن كل خلية $V(p_i)$ من خلايا مخطط فوريونوي للمراكز p_i تعرف بالعلاقة التالية:

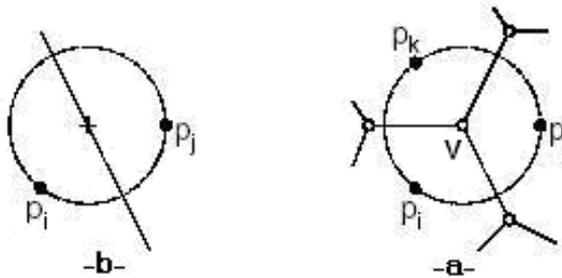
$$V(p_i) = \{x : \|x - P_i\| \leq \|x - P_j\|, i \neq j \text{ for } i, j \in I_n\}$$

حيث إن:

$$\|x - P_i\| \text{ تمثل المسافة بين النقطة } x \text{ والمركز } P_i, 2 \leq n \leq N$$

نلاحظ من خلال هذا التعريف أن مخطط فوريونوي يمثل بيان رؤوسه هي مراكز خلايا المخطط وحوافه حواف هذه الخلايا، بالإضافة إلى أن المخطط يحقق الخواص التالية:

- يمثل كل رأس v من مخطط فوريونوي لمجموعة النقاط P مركز دائرة تمر من خلال النقاط الثلاث الأقرب لـ v ، ولا تحوي أي مركز ضمنها. (الشكل-3-3-a-)
- إذا كانت p_i المركز الأقرب لـ p_j فإن الخليتين $V(p_i)$ و $V(p_j)$ متجاورتين ويتشاركان بحافة. (الشكل-3-3-b-)



الشكل-3-3-a- يوضح تعريف كل رأس من رؤوس مخطط فوريونوي

b- يوضح تعريف الضلع في مخطط فوريونوي

4. بعض الدراسات السابقة لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط:

قدم العالمان Shamos, Hoey [16] خوارزمية تعتمد مبدأ فرق تسد (Dived and conquer algorithm) لبناء مخطط فورونوي لمجموعة النقاط n بزمن $O(n \log n)$ وذلك من خلال تقسيم مجموعة النقاط إلى مجموعتين جزئيتين متساويتين A و B بواسطة مستقيم شاقولي، ثم حساب مخطط فورونوي معتمداً مفهوم العودية لكل من المجموعتين الجزئيتين A و B ، ومن ثم دمج مخططي فورونوي الجزئيين لنحصل على مخطط فورونوي النهائي .

قدم العالم Fortune [6] خوارزمية لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط تعتمد مبدأ مسح المستوى بواسطة مستقيم أفقي من الأعلى إلى الأسفل وتدعى هذه الخوارزمية بخوارزمية مسح المستقيم (A sweep line algorithm) ويزمن تنفيذ $O(n \log n)$ بينما المرجع [10] تم إيجاد خوارزمية ديناميكية عشوائية لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط مستخدماً البنية (Influence Directed Acyclic Graph) I-DAG، وذلك بزمن تعديل وسطي $O(\log n)$ ، وبحجم ذاكرة وسطي $O(n)$ لمجموعة من النقاط n ويزمن تنفيذ $O(n \log n)$.

المرجع [11] تم استخدام خوارزمية النحل لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط، مع دراسة تحليلية لزمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة.

سنقدم في هذه المقالة خوارزمية جديدة لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوى بالاعتماد على خوارزمية الحل الأمثل والتي تدعى خوارزمية الحوت الأمثل.

5. خوارزميات الحل الأمثل (Optimization Algorithms): [4] [14]

أصبحت خوارزميات الحل الأمثل أكثر رواجاً في التطبيقات الهندسية وذلك لاعتمادها على مفاهيم بسيطة نوعاً ما وسهلة التنفيذ، بالإضافة إلى استخدامها في مجموعة واسعة من المسائل في مختلف التخصصات.

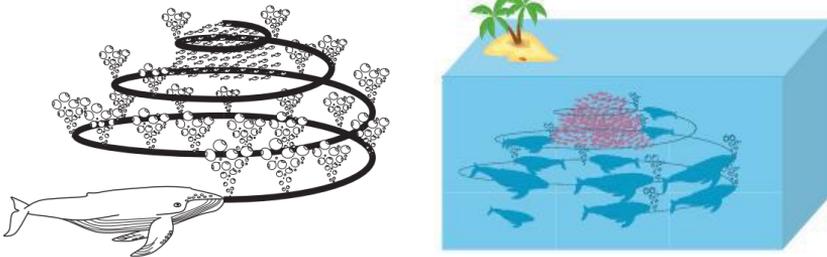
تحل هذه الخوارزميات المستوحاة من الطبيعة مسائل تتطلب حل أمثلي من خلال محاكاة الظواهر البيولوجية أو الفيزيائية، ويمكن تجميع هذه الخوارزميات في أربع فئات رئيسية:

1. الخوارزميات المعتمدة على التطور (evolution-based algorithm).
2. الخوارزميات المعتمدة على الفيزياء (physics-based algorithm).

3. الخوارزميات المعتمدة على المجموعات (swarm-based algorithm) .
4. الخوارزميات المعتمدة على التصرف البشري (human-based algorithm) .
6. خوارزمية الحوت الأمثل (Whale Optimization Algorithm(WOA)) :
تدرج خوارزمية الحوت الأمثل ضمن فئة الخوارزميات المعتمدة على المجموعات وهي خوارزمية جديدة مقترحة من قبل Mirjalili و Lewis في عام 2016 وتحاكي سلوك الحيتان الحدباء في بحثها عن الطعام والصيد.

6-1- حياة الحوت في عالمنا الحقيقي: [15]

تعد الحيتان أكبر الثدييات حجماً، حيث يمكن أن يصل الحوت إلى 30 م بالطول و180طن بالوزن .
تعتبر الحيتان حيوانات ذكية للغاية مع العاطفة التي تمتلكها، حيث تمتلك خلايا شائعة في مناطق معينة من أدمغتها مماثلة لتلك الموجودة في خلايا الإنسان التي تسمى خلايا المغزل وهي خلايا مسؤولة عن الحكم، العواطف، والسلوكيات الاجتماعية عند البشر. الحيتان لها ضعف هذا العدد من الخلايا من الإنسان البالغ الذي هو السبب الرئيسي في ذكائهم .وقد ثبت أن الحوت يمكن أن يفكر، يتعلم، ويحكم، يتواصل، وتصبح عاطفية كما هو حال الإنسان، ولكن طبعاً مع مستوى أقل بكثير من الذكاء .
من أكبر أنواع الحيتان هو الحوت الأحدب، يعتمد الحوت الأحدب على طريقة صيد خاصة تدعى بطريقة التغذية باستخدام شبكة الفقاعات.
تفضل الحيتان الحدباء اصطياد الأسماك الصغيرة بالقرب من السطح، ويتم ذلك من خلال خلق فقاعات مميزة على طول دائرة أو مسار على شكل "9" كما في الشكل-4-



الشكل-4- سلوك تغذية الحوت الأحدب باستخدام شبكة الفقاعات

تغوص الحيتان الحدباء في عمق 12 متر تقريباً ثم تبدأ في تكوين فقاعات على شكل حلزوني حول الفريسة والسباحة نحو السطح. تتضمن المناورة اللاحقة ثلاث مراحل مختلفة هي: حلقة المرجان، حلقة الذيل، وحلقة الالتقاط. تجدر الإشارة هنا إلى أن شبكة الفقاعات فريدة من نوعها وهذا السلوك لا يمكن ملاحظته إلا في الحيتان الحدباء.

6-2- النموذج الرياضي لخوارزمية الحوت الأمثل: [1] [2]

يقسم النموذج الرياضي لخوارزمية الحوت الأمثل إلى ثلاث مراحل:

1- تطويق الفريسة (Encircling prey):

يستطيع الحوت الأحذب التعرف على موقع الفريسة وتطويقها، ويتم تعريف هذا السلوك بالمعادلتين التاليتين (1) و (2)

$$\vec{D} = \left| \vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t) \right| \dots\dots\dots(1)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \dots\dots\dots(2)$$

حيث إن:

t تشير إلى التكرار الحالي، \vec{X}^* هي شعاع الموقع لأفضل حل تم الحصول عليه إلى الآن، \vec{X} هي شعاع الموقع، \vec{A} و \vec{C} شعاعين للمعاملات، نستخدم القيمة المطلقة وعملية (.) الجداء عنصر إلى عنصر، و من الجدير بالذكر هنا أنه يجب أن يتم تحديث قيمة X^* في كل تكرار إذا تم إيجاد حل أفضل.

يمكن حساب كلاً من \vec{A} و \vec{C} وفقاً للمعادلتين التاليتين (3) و (4)

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r} - \vec{a} \dots\dots\dots(3)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r} \dots\dots\dots(4)$$

حيث إن:

قيمة a تتناقص خطياً من القيمة 2 إلى القيمة 0 عبر التكرارات (في كلاً من مرحلتي الاستغلال والاكتشاف)، أما قيمة r فهي شعاع عشوائي ضمن المجال

[0,1]

2- طريقة الهجوم باستخدام شبكة الفقاعات

(مرحلة الاستغلال (Bubble –net method attacking):

لتمثيل النموذج الرياضي لسلوك الهجوم بالفقاعات للحوت تم تقديم تقنيتين كما يلي:

• تقنية تقليص الدوائر (Shrinking encircling mechanism):

يتم تحقيق هذا السلوك عن طريق تناقص قيمة \vec{a} في المعادلة (3)، وأن \vec{a} تحسب بالمعادلة (5):

$$a = 2 - t \frac{2}{MaxIter} \dots\dots\dots(5)$$

حيث إن:

t تشير إلى التكرار الحالي، MaxIter يمثل أكبر عدد مسموح به من التكرارات.

• تقنية تحديث المواقع بشكل حلزوني (Spiral updating position):

يتم تحقيق الشكل "9" أو الشكل الحلزون من خلال المعادلة (6) و (7)

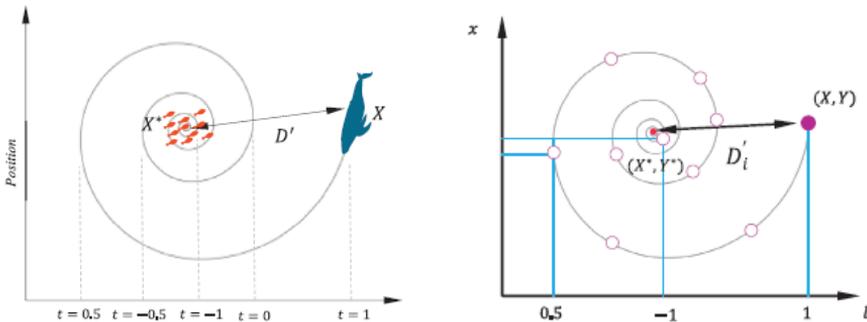
$$\vec{X}(t + 1) = \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \dots\dots\dots(6)$$

حيث إن:

$$\vec{D} = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \dots\dots\dots(7)$$

ويشير \vec{D} للمسافة الفاصلة بين i من الحيتان والفريسة (أي أفضل حل تم الحصول عليه حتى الآن).

أما بالنسبة إلى b فهي ثابت لتعريف الشكل الحلزوني اللوغاريتمي، ا قيمة عشوائية تقع ضمن المجال [-1,1]. ويوضح الشكل-5- الموقع المحدد حلزونياً.



الشكل-5- يوضح الموقع المحدد حلزونياً

لاحظ أن الحيتان الحدباء تسبح حول الفريسة وفقاً لدوائر متقلصة وبمسار حلزوني في آن معاً، بالتالي من أجل نمذجة هذا السلوك رياضياً سوف نفترض أن هناك احتمال % 50 ليتم الاختيار بين تقنيتي المسار الحلزوني أو تقليص الدوائر وذلك لتحديث مواقع الحيتان، كما هو موضح في المعادلة (8)

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} & \text{if } p < 0.5 \\ \vec{D} \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases} \dots\dots(8)$$

حيث إن p هو احتمال يقع ضمن المجال [0,1]

3- البحث عن الفريسة (مرحلة الاستكشاف Search for prey):

في الواقع، آلية البحث المستخدمة عند الحيتان الحدباء هي عملية عشوائية وفقاً لمواقعهم نسبة إلى بعضهم البعض، ولذلك نعلم على قيم عشوائية للشعاع \vec{A} تكون أكبر من 1 أو أصغر -1 لإجبار العنصر الباحث أن يتحرك بعيداً عن الحوت المرجعي، على عكس مرحلة الاستغلال نقوم بتحديث مواقع الحيتان، في مرحلة الاستكشاف وفقاً لاختيار عشوائي عوضاً عن تحديث المواقع وفقاً للحوت الأفضل أي يمكننا القول إذا كانت قيمة $|\vec{A}| > 1$ هذا يعني أننا في مرحلة استكشاف ونقوم بعملية بحث عام يمكن توضيحها رياضياً كما في المعادلتين (9) و (10)

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_{rand} - \vec{X}| \dots\dots\dots(9)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A} \cdot \vec{D} \dots\dots\dots(10)$$

حيث إن:

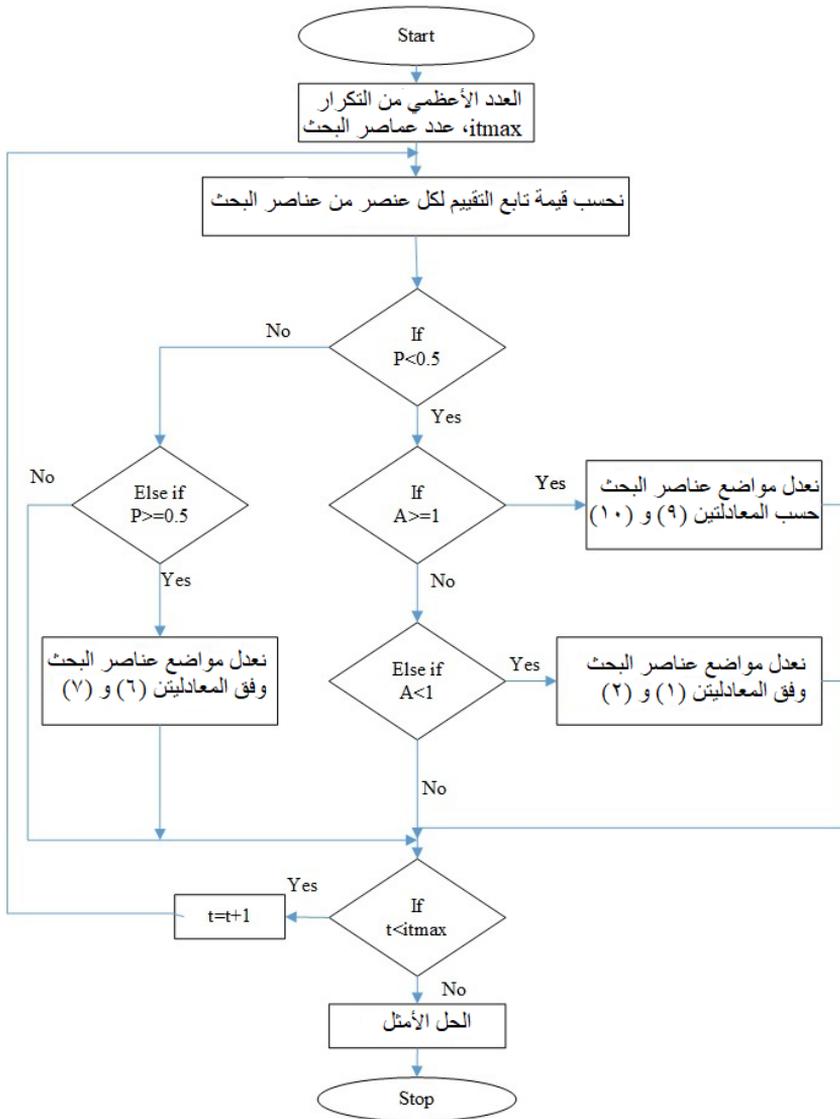
\vec{X}_{rand} شعاع موقع عشوائي (حوت عشوائي) يتم اختياره من مجموعة الحيتان الحالية.

وبالتالي يمكن أن نلخص مبدأ عمل خوارزمية الحوت الأمثل (WOA) بأنها تبدأ بمجموعة من الحلول العشوائية، وفي كل تكرار تقوم عناصر البحث بتحديث مواقعهم اعتماداً على عنصر بحث تم اختياره عشوائياً أو حسب أفضل حل تم الحصول عليه

حتى الآن. تتناقص قيمة الوسيط a من 2 إلى 0 من أجل عمليتي الاستكشاف والاستغلال على التوالي.

يتم اختيار عنصر بحث عشوائي عندما تكون قيمة $|\vec{A}| > 1$ بينما يتم اختيار العنصر الأفضل عندما تكون $|\vec{A}| < 1$ من أجل تحديث مواقع بقية عناصر البحث. بالاعتماد على قيمة الاحتمال p تبادل الخوارزمية بين حركة تقليص الدوائر والحركة الحلزونية، وتنتهي الخوارزمية عند الوصول إلى معايير الإنهاء.

6-3-المخطط التدفقي (Flow Chart) لخوارزمية الحوت الأمثل:



6-4- تطبيقات خوارزمية الحوت الأمثل:

تستخدم خوارزمية الحوت الأمثل في العديد من المجالات الهندسية كنظم التحكم، معالجة اللغات الطبيعية، الشبكات العصبونية، معالجة الصور، ... من بعض التطبيقات الهامة في المجال الهندسي:

- تخطيط مسار أمثل متعدد الأغراض لرجل آلي. [7]
- تدريب الشبكات العصبونية. [12]

• مسألة التدفق الأمثل للطاقة. [5]

7. سبب استخدام خوارزمية الحوت الأمثل في بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط:

يمكن تعريف مسألة بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوي على أنها عملية تصنيف مجموعة من النقاط في المستوي إلى مجموعة مراكز فورونوي، وبما أنه من أهم مجالات استخدام خوارزمية الحوت الأمثل هو التصنيف (classification)، فقد كانت هذه الخوارزمية حلاً لمسألتنا.

8. خوارزمية الحوت الأمثل المقترحة لبناء مخطط فورونوي:

تتألف خطوات خوارزمية الحوت الأمثل المقترحة لبناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوي من:
الخطوة الأولى: تحديد إحداثيات مراكز فورونوي وعدد الحيتان المستكشفة في المنطقة المدروسة.

الخطوة الثانية: تطبيق خوارزمية الحوت الأمثل على القيم المحددة في الخطوة السابقة.

• الخطوة الأولى:

تحديد إحداثيات مراكز فورونوي وعدد الحيتان المستكشفة في المنطقة المدروسة: سنقتصر في دراستنا على بناء مخطط فورونوي لمنطقة محددة بمستطيل أبعاده 600×900 بكسل.

يتم تحديد مراكز فورونوي من خلال إدخال إحداثياتها (y, x) إلى المسألة، وقد تم اختيار خمسة مراكز بشكل عشوائي لإجراء الدراسة عليها. من ثم يتم إدخال عدد الحيتان المستكشفة.

• الخطوة الثانية:

تطبيق خوارزمية الحوت الأمثل على القيم المحددة في الخطوة الأولى كما يلي:
1. تقوم الحيتان المستكشفة بالانتشار والبحث عن حلول للمسألة، ثم يتم تقييم هذه الحلول حسب تابع التقييم المقترح والذي يتمثل في مسألتنا بمجموع الأبعاد ما بين موقع كل حوت ومراكز فورونوي المحددة في الخطوة الأولى.
2. من أجل كل حوت من الحيتان المستكشفة ننفذ الخطوات التالية:

a. يتم تحديد قيم الشعاعين A ، C حسب المعادلتين (3) و (4) ، ويتم اختيار

قيمة عشوائية للمتحول p ونناقش حالتين:

i. إذا كانت قيمة p أكبر من 0.5، في هذه الحالة نناقش وضع الحوت من

خلال القيمة المطلقة للشعاع A :

• إذا القيمة المطلقة لـ A أكبر أو تساوي 1:

في هذه الحالة نكون في مرحلة الاكتشاف لذلك نقوم بالبحث عن

حوت بشكل عشوائي وفق المعادلتين (9) و (10).

• أما إذا القيمة المطلقة لـ A أصغر من 1:

في هذه الحالة نكون في مرحلة الاستغلال ونقوم بتعديل موقع الحوت

إلى الموقع الأفضل التي تم الحصول عليه في هذه المرحلة وفق

المعادلتين (1) و (2).

ii. إذا كانت قيمة p أصغر من 0.5:

• في هذه الحالة نكون في مرحلة الاستغلال ونقوم بتعديل موقع

الحوت إلى الموقع الأفضل التي تم الحصول عليه في هذه المرحلة

وفق المعادلتين (6) و (7).

b. نعيد تقييم الموقع الجديد التي تم الحصول عليه في هذه المرحلة وفق تابع

التقييم المقترح والمتمثل بحسب مجموع الأبعاد بين موقع الحوت ومراكز

فوريونوي.

c. نقارن بين التقييم الجديد والتقييم السابق، ونختار الأصغر بينهما.

d. يثبت الحوت الموقع ذو التقييم الأصغر حسب نتائج البحث السابقة ويعتبر

هذا الموقع هو الموقع الأفضل له في هذه المرحلة (أي الموقع الذي يمتلك

أصغر مجموع أبعاد بين الحوت ومراكز فوريونوي).

3. نعيد العمليات السابقة اعتباراً من الخطوة 2 عدداً محدداً من الدورات.

9. الشيفرة الرمزية (pseudo code) لخوارزمية الحوت الأمثل المقترحة:

1: Initialize each search agent (whale) to contain k randomly
Voronoi centers

```
2: for each search agent i do
3:   fitness1(i)=Calculate distance sum between position search
      agent X(i) and Voronoi centers.
4:end for
5: while t < Iteration do
6:   for each search agent i do
7:     update a, A, C and p
8:     if p > 0.5 then
9:       if |A| < 1 then
10:        update search agent by equation (1) and (2)
11:       else if |A| > 1 then
12:        select random search agent, and update current
          search agent by equation (9) and (10)
13:       end if
14:     else if p < 0.5 then
15:       update the position of current search agent by equation
          (6) and (7)
16:     end if
17: fitness2(i)=Calculate distance sum between new position
      search agent new_X(i) and Voronoi centers.
18: if fitness2(i) < fitness1(i) then
19:   X(i)=new_X(i).
20: end for
21: t = t + 1
22: end while
23: return X
```

10. مواد وطرق البحث:

قمنا بتطبيق الخوارزمية المقترحة على عينات عشوائية من مراكز فوريونوي وقمنا بدراسة مدى فعالية الخوارزمية في حال تغير كل من عدد الحيتان، عدد دورات تطبيق الخوارزمية، عدد مراكز فوريونوي. كما قمنا بمقارنة أداء الخوارزمية المقترحة من حيث زمن التنفيذ مع أحد المراجع.

11. اختبار خوارزمية الحوت الأمثل المقترحة لبناء مخطط فوريونوي:

سنقوم بالتحقق من فعالية الخوارزمية المقترحة لبناء مخطط فوريونوي من أجل مجموعة من الإحداثيات العشوائية لمراكز فوريونوي وذلك باستخدام حاسب ذو مواصفات (معالج (1.80GHz)، سرعة (1.99GHz)، ذاكرة (8GB))، وتم تحقيق خطوات الخوارزمية المقترحة في بيئة Matlab(R2010b).

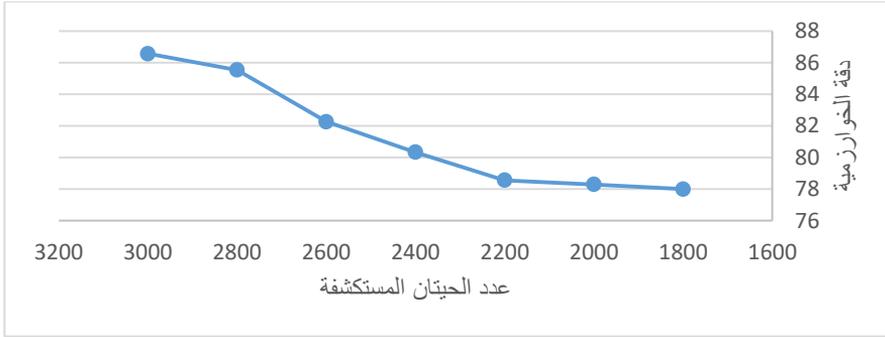
- تم اختيار قيم عشوائية لإحداثيات مراكز فوريونوي الخمسة لتطبيق الخوارزمية المقترحة عليها.
- ثم تمت دراسة مدى تأثير دقة الخوارزمية المقترحة (النسبة المئوية لعدد الحيتان التي وصلت إلى مركز فوريونوي الأقرب لها) من أجل مراكز فوريونوي الخمسة التي تم تحديدهم سابقاً بتغيير عدد الحيتان وكذلك تأثيرها بتغيير عدد دورات تنفيذ الخوارزمية المقترحة، كما تمت دراسة مدى تأثير دقة الخوارزمية بتغيير عدد مراكز فوريونوي.

11-1-دراسة تأثير عدد الحيتان المستكشفة على دقة الخوارزمية المقترحة:

سنقوم بدراسة مدى تأثير تغيير عدد الحيتان المستكشفة على دقة الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات 500(العدد الأعظمي للدورات التي تمكنا من تنفيذها على الحاسب الذي تم التجريب عليه) وسنوضح ذلك بالجدول -1- والشكل -6-.

عدد الحيتان	عدد الدورات	دقة الخوارزمية المقترحة
1800	500	78 %
2000	500	78.3 %
2200	500	78.56 %
2400	500	80.33 %
2600	500	82.26 %
2800	500	85.53 %
3000	500	86.566 %

الجدول -1- يوضح دقة الخوارزمية المقترحة من أجل عدد حيتان متغير



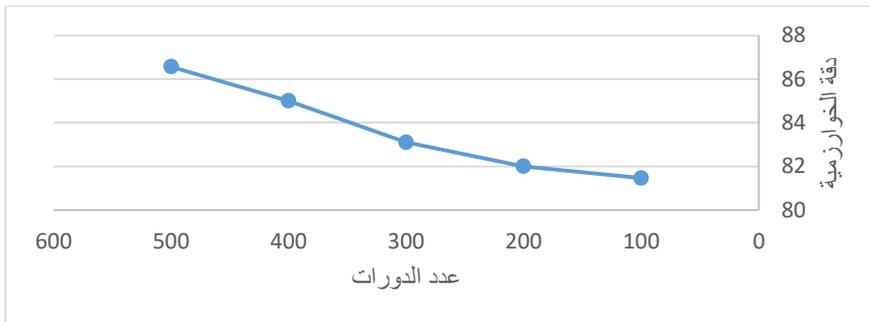
الشكل 6- يوضح المخطط البياني تغير دقة الخوارزمية مع تغير عدد الحيتان

10-2-دراسة تأثير تغير عدد دورات الخوارزمية على دقة الخوارزمية المقترحة:

لاحظنا من دراسة تأثير تغير عدد الحيتان على دقة الخوارزمية المقترحة أن أفضل حالة كانت عند عدد حيتان 3000 لذلك سندرس مدى تأثر هذا العدد من الحيتان بعدد دورات تطبيق الخوارزمية المقترحة، وسنوضح ذلك بالجدول 2- والشكل 7-

دقة الخوارزمية المقترحة	عدد الدورات	عدد الحيتان
81.466 %	100	3000
82 %	200	3000
83.1 %	300	3000
85 %	400	3000
86.566 %	500	3000

الجدول 2- يوضح دقة الخوارزمية المقترحة مع عدد متغير من دورات تطبيقها



الشكل 7- يوضح المخطط البياني دقة الخوارزمية المقترحة مع تغير عدد الدورات

نلاحظ من الدراسة السابقة لنتائج دقة الخوارزمية المقترحة من أجل تغيرات عدد الحيتان وعدد دورات تطبيق الخوارزمية وذلك حسب إمكانيات الجهاز المستخدم لتطبيق

بناء مخطط فوريونوي لمجموعة من النقاط باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل

الخوارزمية أن أفضل دقة وصلت لها الخوارزمية المقترحة هي % 86.566 من أجل عدد حيتان 3000 وعدد دورات تطبيق 500.

10-3-دراسة تأثير عدد مراكز فوريونوي على دقة الخوارزمية المقترحة:

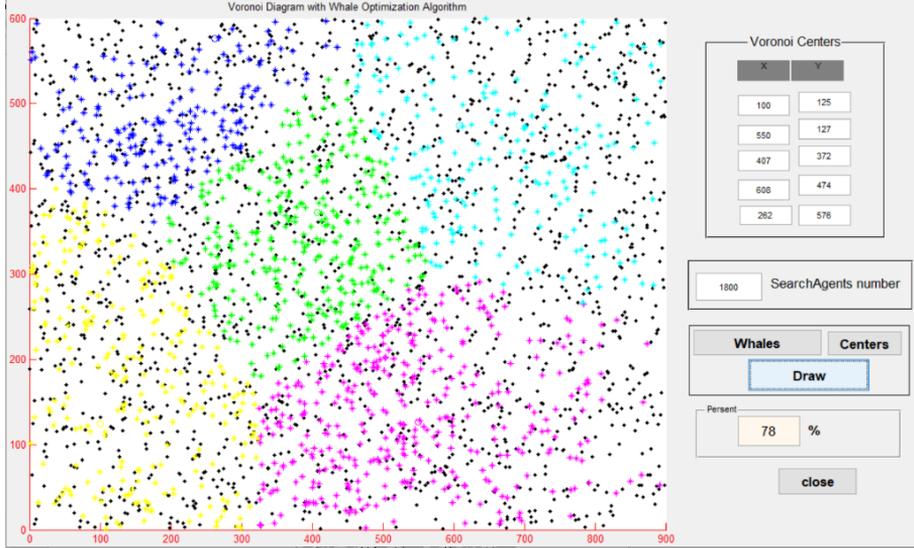
سنقوم بدراسة مدى تأثير تغيير عدد مراكز فوريونوي على دقة الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات 500(العدد الأعظمي للدورات التي تمكنا من تنفيذه على الحاسب الذي تم تجريب تنفيذ الخوارزمية المقترحة عليه) وعدد حيتان 3000، وسنوضح ذلك بالجدول -3-.

عدد الحيتان	عدد الدورات	عدد مراكز فوريونوي	دقة الخوارزمية المقترحة
3000	500	5	86.5 %
3000	500	10	86.3 %
3000	500	15	82.1%
3000	500	20	81.36 %

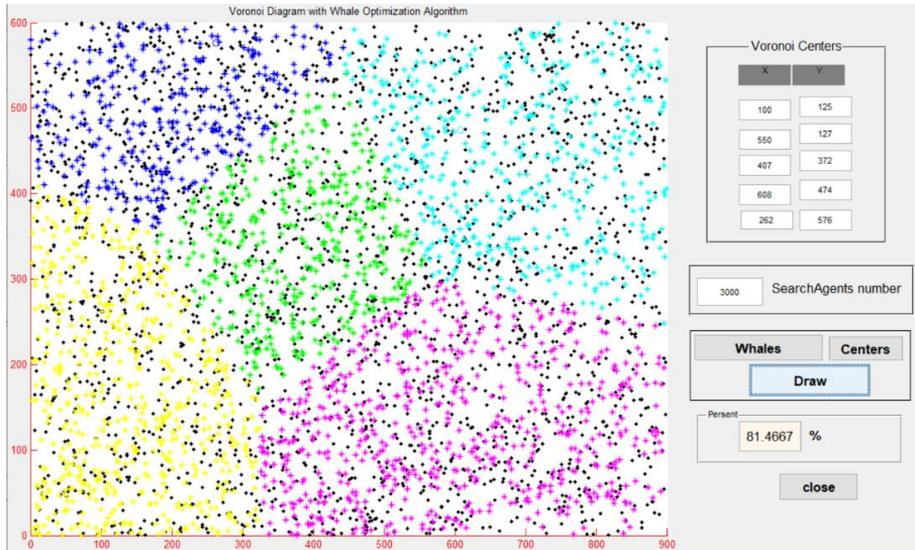
الجدول-3-يوضح دقة الخوارزمية المقترحة من أجل عدد فوريونوي متغير

نلاحظ من الدراسة السابقة لنتائج دقة الخوارزمية المقترحة من أجل تغيير عدد مراكز فوريونوي أنه في حالة عدد المراكز (5 أو 10) حافظت الخوارزمية المقترحة على دقة %86 وذلك من أجل عدد دورات 500، لكن في حالة تزايد عدد المراكز إلى أعلى من 10 فقد تناقصت الدقة إلى أقل من %86 مما يؤكد على ضرورة زيادة عدد دورات تطبيق الخوارزمية لزيادة دقة الخوارزمية.

توضح الأشكال التالية نتائج تطبيق الخوارزمية المقترحة في عدة حالات:

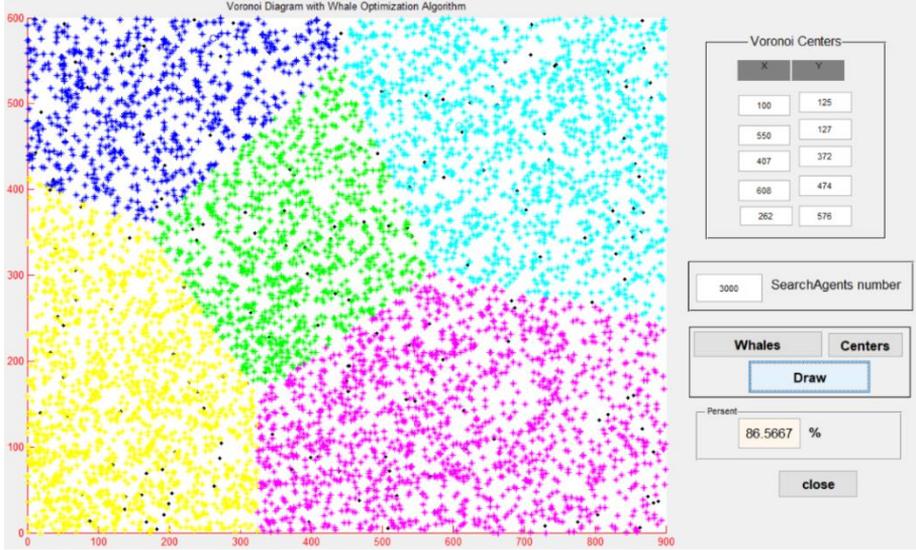


الشكل-8-يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 1800 حوت وعدد دورات 500 (دقة الخوارزمية 78%)

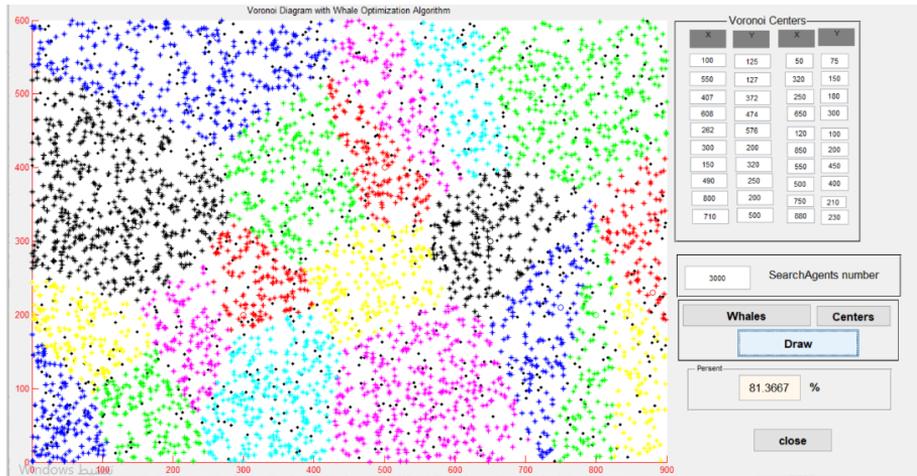


الشكل-9-يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 3000 حوت وعدد دورات 100 (دقة الخوارزمية 81.466%)

بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل



الشكل-10- يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 3000 حوت وعدد دورات 500 (دقة الخوارزمية 86.566%)



الشكل-11- يوضح ناتج تنفيذ الخوارزمية المقترحة لرسم مخطط فورونوي من أجل 3000 حوت وعدد دورات 500 وعدد مراكز فورونوي 20 (دقة الخوارزمية 81.366%)

12. مقارنة بين الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11]:

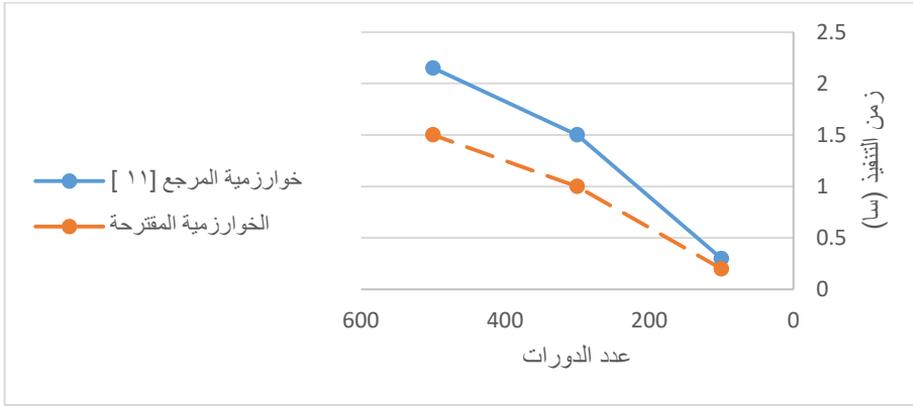
في المرجع [11] قد تم تطبيق خوارزمية النحل لحل مسألة مخطط فورونوي من أجل مجموعة من المراكز وتمت دراسة تغير زمن تنفيذ الخوارزمية بتغير عدد دورات تطبيق

الخوارزمية وعدد النحلات المستكشفة، لذلك سوف نقارن ما بين خوارزمية المرجع [11] وخوارزمتنا المقترحة من حيث زمن التنفيذ.

يبين (الجدول-4) (الشكل-12) مقارنة ما بين زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] وزمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات متغير وعدد حيتان مساوي لعدد النحلات ومن أجل خمس مراكز عشوائية لمخطط فورونوي.

عدد الحيتان	عدد النحلات	عدد الدورات	زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] (سا)	زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة (سا)
500	500	100	0.30	0.20
500	500	300	1.5	1
500	500	500	2.15	1.5

الجدول-4- يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11] مع عدد متغير من دورات تطبيق كلا الخوارزميتين



الشكل-12- يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11]

مع عدد متغير من دورات تطبيق كلا الخوارزميتين

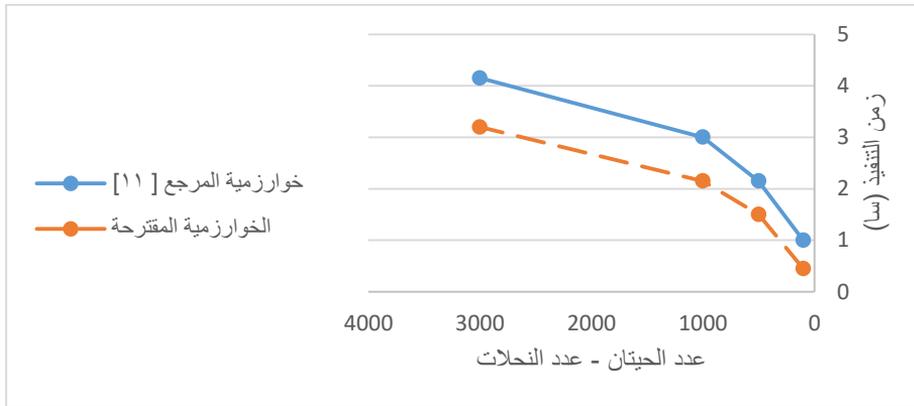
نلاحظ من الشكل-12- أن زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة أقل من زمن تنفيذ خوارزمية المرجع بالنسبة لنفس عدد الدورات.

بناء مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط باستخدام خوارزمية الحوت الأمثل

يبين (الجدول-5-5) (الشكل-13-13) مقارنة ما بين زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] وزمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل عدد دورات لكلا الخوارزميتين 500 وعدد حيتان وعدد نحلات متغير ومن أجل خمس مراكز عشوائية لمخطط فورونوي.

عدد الحيتان	عدد النحلات	عدد الدورات	زمن تنفيذ خوارزمية المرجع [11] (سا)	زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة (سا)
100	100	500	1	0.45
500	500	500	2.15	1.5
1000	1000	500	3	2.15
3000	3000	500	4.15	3.20

الجدول-5-5-يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11] مع عدد متغير من الحيتان والنحلات



الشكل-13-13-يوضح زمن تنفيذ كل من الخوارزمية المقترحة وخوارزمية المرجع [11] مع عدد متغير للحيتان والنحلات

نلاحظ من الشكل-13-13-أن زمن تنفيذ الخوارزمية المقترحة أقل من زمن تنفيذ خوارزمية المرجع بالنسبة لعدد حيتان مساوي لعدد النحلات.

13. الخاتمة:

لقد عرضنا خلال هذه المقالة مفهوم مخطط فورونوي لمجموعة من النقاط في المستوى وحياء الحوت في العالم الحقيقي وكذلك خوارزمية الحوت الأمثل وتطبيقاتها ومن ثم دراسة لبناء مخطط فورونوي بطريقة جديدة تتميز بالسهولة مستخدمين خوارزمية الحوت الأمثل ومستفيدين من ميزاتها في التصنيف، ومن ثم قدمنا دراسة تحليلية لمعرفة مدى فعالية الخوارزمية المقترحة وذلك من أجل خمس مراكز فورونوي فقد وصلنا إلى دقة 86.5 من أجل عدد دورات أعظمي للخوارزمية 500 وعدد حيتان مستكشفة 3000 وذلك حسب مواصفات الجهاز الذي تتم عليه الدراسة.

كما قمنا بمقارنة الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية المقدمة في المرجع [11] من حيث زمن التنفيذ وقد توصلنا إلى أن الخوارزمية المقترحة تتطلب زمناً أقل من خوارزمية المقارنة في حال تم تغيير عدد دورات تطبيق الخوارزمية وفي حال تغيير عدد الحيتان المستكشفة.

يمكن تعميم الدراسة السابقة واستخدام خوارزميات الحل الأمثل لحل مسائل هندسية أخرى كمخطط الرؤية، تقسيمات دولوني وغيرها.

14. المراجع:

- [1]. Azar A. T., Hassanien A. E., Houssein E., Amin M. , and Hussien A., – 2019, New binary whale optimization algorithm for discrete optimization problems, Engineering Optimization Published online: 26 Jun 2019.
- [2]. Adhirai S., Mahapatra R. P., Singh P.,– 2018, The Whale Optimization Algorithm and Its Implementation in MATLAB, International Journal of Computer and Information Engineering, Vol. 12, No. 10.
- [3]. Abd ALAzez D.,–2017, The effect of voronoi diagrams on the construction of the ceramic figure ،Architecture ، Arts and

Humanistic Science Magazine, Vo. 29, No. 5687, pp. 1-15.(in Arabic المرجع)

- [4]. Bozorg-Haddad O., Solgi M., A. Loáiciga H.,- 2017, Meta-heuristic and Evolutionary Algorithms for Engineering Optimization, Wiley, ISBN: 978-1-119-38699-5.
- [5]. Bentouati B., Chaib L., and Chettih S.,- 2016, A hybrid whale algorithm and pattern search technique for optimal power flow problem, Modelling, Identification and Control (ICMIC), 2016 8th International Conference on. IEEE.
- [6]. De Berg M., Van Kreveld M., Overmars M., and Schwarzkopf O., - 2000, Computational Geometry: Algorithms and Applications, Springer-Verlag, second edition.
- [7]. Dao, Thi-Kien, Tien-Szu Pan, and Jeng-Shyang Pan,- 2016, A multi-objective optimal mobile robot path planning based on whale optimization algorithm, Signal Processing (ICSP), 2016 IEEE 13th International Conference on IEEE.
- [8]. Held M., - 2009, Lorentz Center, Leiden, Software for and Applications of Voronoi Diagrams in Science and Engineering, the Netherlands, 16-20 November.
- [9]. Halabi S., ALatasi Y., -2006, Construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points using neural networks, Albaath university journal, Vo.28.

- [10]. Halabi S., – 2005, Dynamic algorithm to construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points, Albaath university journal, Vo.1.
- [11]. Halabi S., ALatasi Y., –2010, Construct Abstract Voronoi Diagram of a set of points using Bees Algorithm, Albaath university journal, Vo.32.
- [12]. Ibrahim A., Faris H., and Mirjalili S., –2016, Optimizing connection weights in neural networks using the whale optimization algorithm, Soft Computing,.
- [13]. McAllister M., Kirkpatrick D., and Snoeyink J.,– 1996, A Compact Piecewise–Linear Voronoi Diagram for Convex Sites in the Plane, Discrete Comput. Geom., Vo.15, p.p 73–105.
- [14]. Mirjalili S., Lewis A., – 2016, the whale optimization algorithm, Advances in Engineering Software, Vo. 95, pp. 51–67.
- [15]. Mafarja. M. M., Mirjalili S., –2017, Hybrid Whale Optimization Algorithm with simulated annealing for feature selection, Neurocomputing, Vo.260, pp.302–312.
- [16]. Okabe A., Boots B., Sugihara K., and Nok Chiu S.,–2000, Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams, Probability and Statistics. Wiley, NYC, 2nd edition.
- [17]. Sack J. R., Urrutia J., –2000, Handbook of Computational Geometry, Elsevier Science B. V.

التحليل الإحصائي للأعطال الكهربائية في منظومات

توجيه الأجسام الطائرة القريبة المدى

طالب ماجستير: باسل عادل عبد الرحمن

إشراف: د.م نصر عبد الحموي

كلية الهندسة الكهروميكانيكية، أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية

الملخص

تظهر الأعطال الكهربائية في منظومات التحكم العاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة والأجسام الطائرة القريبة المدى بسبب التقادم وعدم التقيد بالشروط الاستثمارية أو التعرض للتخريب، إضافة إلى تأثيرات الظروف المناخية على الكتل والآلات الكهربائية، التي تتألف من العناصر الكهربائية والإلكترونية (المقاومات، المكثفات الترانزستورات، الحواكم، المحركات، ... إلخ).

يقدم البحث تحليلاً إحصائياً للأعطال الكهربائية لهذه المنظومات باستخدام البرنامج الإحصائي (SPSS)، من خلال دراسة العلاقة بين هذه الأعطال والظروف المناخية صيفاً وشتاءً في فترة دراسة العينة. حيث تم اختيار الأعطال نسبة إلى الكتل والدارات الإلكترونية المتعطلة في منظومات التحكم المدروسة أهمها: المشعلات، كتلة محدد الإحداثيات، الفوتو ديود، دارة التبريد، خلايا المدخرات، كتلة الاستقرار، كتلة الاشتقاق والتطابق، كتلة تشكيل الأوامر، كتلة التوجيه المتتية، عناصر إلكترونية منفردة. إن عملية تشخيص الأعطال تتطلب فنيين ذوي كفاءة عالية قادرين على تحديد الأسباب الرئيسية لأعطال المنظومات وتوقع حدوثها تبعاً لنتائج التقييم الإحصائي، وتنفيذ الصيانة الفنية المناسبة للمحافظة عليها في حالة الجاهزية والعمل. وقد تبين من خلال الدراسة عدم وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين أعطال عينة البحث والظروف المناخية صيفاً وشتاءً في فترة دراسة العينة.

الكلمات المفتاحية: البرنامج الإحصائي (SPSS(25)، أعطال كهربائية، أجهزة التوجيه والملاحقة، اختبار χ^2 .

Statistical Analysis of Electrical Faults In Near-Range Flying Object Guidance Systems

Master student: Bassel Abd Al-Rahman

Supervision: Dr. Nasr Al-Hamwi

Electromechanical Engineering College, Al-Assad Academy
for Military Engineering

Abstract

Electrical faults appear in control systems operating on steering and tracking devices and near-range flying objects due to obsolescence and lack of compliance with investment conditions or exposure to sabotage, in addition to the effects of climatic conditions on electrical blocks and machines, which consist of electrical and electronic elements (resistors, capacitors, transistors, rulers, motors, etc.)

The research provides a statistical evaluation of the electrical faults of these systems using the statistical program (SPSS), by studying the relationship between these faults and the climatic conditions in summer and winter during the sample study period. Where the faults were chosen in relation to the broken electronic blocks and circuits in the studied control systems, the most important of which are:

Igniters, Coordinate limiter block, Photo diode, Cooling circuit, Battery cells, Derivation and Congruence block, Stability block, Command formation block, Steerable block, and Scattered Electronic elements.

The process of the diagnosing faults requires highly qualified technicians, who are able to identify the main causes of system failures anticipate their occurrence according to the results of the statistical evaluation, and implement appropriate technical maintenance to maintain them in a state of readiness and work.

Through the study, it was found that there is no statistically significant relationship between the faults of the research sample and the climatic conditions in summer and winter during the period of the sample study.

Keywords: the statistical program SPSS (25), electrical malfunctions, steering and tracking devices, χ^2 test.

1- مقدمة

تخضع المنظومات الكهربائية والإلكترونية العاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة والأجسام الطائرة الموجهة لعملية تشخيص فني يتم من خلالها كشف العيوب ومعرفة موقع العطل وأسبابه بسرعة ودقة وتحديد حجم عملية الإصلاح، وبالتالي تحديد القطع الاحتياطية والمواد الضرورية اللازمة. حيث ينفذ التشخيص بشكل كلي على المنظومة أولاً، ثم ينفذ على القطع والعناصر التركيبية [1].

هناك العديد من طرائق التشخيص الحديثة أهمها: استخدام تحويل فورييه قصير الأمد (STFT) بناءً على تحليل التيارات الثابتة وأشكال الموجات الفولتية التي تمثل الإشارات الداخلية لمنظومة التحكم، وتسمح هذه الطريقة باكتشاف العمل المتقطع لعطل مفتاح الطاقة العاكس، وعطل عدم تناسق لف الجزء الثابت، والماس كهربائي، كما تسمح باكتشاف الحالات المعيبة لمفاتيح التبديل [2]. أيضاً استخدام تقنيات تعتمد على مجال التردد وخاصة تلك القائمة على تحويل فورييه السريع (FFT)، حيث إن معظم تقنيات اكتشاف الأخطاء (التيار الزائد والجهد الزائد والخطأ الأرضي) تعتمد على المجال الزمني ويمكن استخدام إشارات قياس الحيب أو تقنية الحلقة المغلقة للتردد الرقمي وذلك تجنباً للحسابات الطويلة مع تحقيق دقة جيدة. إضافة إلى استخدام التقنيات القائمة على النماذج التحليلية (نماذج رياضية أو نماذج عامة باستخدام الشبكات العصبونية أو المنطق العائم أو الخوارزمية الجينية) [3]. كما يمكن تشخيص الأعطال الكهربائية والإلكترونية بتطبيق تقنية التردد الزمني، ويتم فيها تحويل اهتزاز الإشارة إلى صور ثم تستخدم شبكة عصبونية محسنة (CNN) لتصنيف هذه الصور [4]. أيضاً باستخدام خوارزميات التعلم الآلي تم تنفيذ نظام لتشخيص الأعطال عبر الأنترنت [5]. إن العملية التكنولوجية المستخدمة في الإصلاح هي مجموعة من العمليات المترابطة تهدف إلى إعادة منظومات التحكم للعمل بصورة طبيعية.

2- هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة العلاقة بين الأعطال الكهربائية لمنظومات التحكم العاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة والأجسام الطائرة الموجهة من جهة،

واختلاف الظروف المناخية والطبيعية صيفاً وشتاءً في عامي 2019-2020 م من جهة أخرى.

3- طريقة البحث

بغية تحقيق هدف البحث تم الحصول على عينة الدراسة المكونة من (100) منظومة تحكم عاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة والأجسام الطائرة القريبة المدى والمتضمنة للأعطال الكهربائية المحددة في هذه الدراسة، قسمت إلى قسمين: القسم الأول: المنظومات التي ظهرت أعطالها خلال الأشهر (أيار، حزيران، تموز، آب) من عام 2019 م، أي أثناء عملها في ظروف درجات الحرارة المرتفعة (صيفاً). القسم الثاني: المنظومات التي ظهرت أعطالها خلال الأشهر (تشرين الثاني، كانون الأول، كانون الثاني، شباط) من عامي 2019-2020 م، أي أثناء عملها في درجات الحرارة المنخفضة والظروف المناخية الصعبة (شتاءً). من الجدير بالذكر أن هذه العينة شملت منظومات التحكم المتواجدة في المنطقة الوسطى (حمص وريفها، تدمر، حماه وريفها).

تم الاعتماد على برنامج (Statistical Product and Solutions Services) SPSS (25)، لإنشاء ملف يحتوي بيانات الدراسة، وهي متغيرات ذات طابع وصفي. كما تم إجراء اختبار χ^2 (Chi-Square Test) كاي مربع للاستقلالية لمعرفة هل هناك علاقة بين الأعطال الكهربائية والظروف المناخية في فترة دراسة العينة.

4- أهم الأعطال الكهربائية المكتشفة في منظومات التحكم

تقسم هذه الأعطال نسبة إلى الكتل والدارات الإلكترونية المتعطلة في منظومات التحكم المدروسة [6]:

- 1- كتلة الاشتقاق والتطابق: تشكل الجهود اللازمة لتأمين أنظمة عمل مضخم التيار الضوئي وجهود تغذية المستقبلات الضوئية.
- 2- المشعلات الكهربائية: يوجد عدة مشعلات كهربائية في تصميم الجسم الطائر الموجه كالمشعل الكهربائي لمخدرة كتلة التغذية الأرضية والمشعل الكهربائي للمخدرة المتتية والمشعل الكهربائي لقلب الجيروسكوب.
- 3- كتلة تشكيل الأوامر: تقوم بتصحيح إشارات التوجيه بهدف تأمين التوجيه المطلوب.

- 4- عناصر إلكترونية متفرقة.
- 5- كتلة الاستقرار: تؤمن هذه الدارة استقرار دوران قلب محرك جهاز الملاحقة.
- 6- كتلة التوجيه المتتية: مؤلفة من موصل غازي وملف سلك اتصال والمصباح الخطاط وكتلة التحكم.
- 7- محدد الإحداثيات الجيروسكوبي: مؤلف من جيروسكوب ثلاثي درجات الحرية يؤمن توافق أوامر التوجيه القادمة من كتلة الأجهزة الأرضية مع منظومة إحداثيات الجسم الطائر الموجه، ومن لوحة مطبوعة عليها عناصر إلكترونية وأربع حلقات تماس.
- 8- دارة التبريد: يعد العطل في دارة التبريد من أهم الأعطال الكهربائية التي تؤثر سلباً على قدرة الكشف ليلاً وبالتالي خروج الكاميرا الحرارية عن العمل.
- 9- خلايا المدخرات: تعتبر هذه الخلايا مصدراً إضافياً للقدرة الكهربائية، حيث تتميز المدخرات بالخواص التالية:

• الجهد الطبيعي للمدخرة 12V ولكل خلية 1.2V.

• تيار التفريغ في نظام التفريغ 10 ساعة يساوي 4.2A.

• السعة أثناء التفريغ 10 ساعة وحرارة المحلول 30° تساوي 4.2Ah.

- 10- الفوتو ديود: يقوم جهاز الملاحقة بكشف واستقبال الأشعة تحت الحمراء الصادرة عن المصباح الخطاط، فيقوم الديود الضوئي بتحويلها إلى إشارة كهربائية معدلة ترددياً ومتناسبة مع الانحراف الزاوي للجسم الطائر الموجه بالنسبة لخط التسديد.

5- أسباب الأعطال في الكتل والآلات الكهربائية

تتعرض الكتل والآلات الكهربائية الموجودة ضمن منظومات التحكم العاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة والأجسام الطائرة القريبة المدى للعديد من الأعطال الكهربائية خلال عملية الاستثمار، وذلك نتيجة للتآكل في القطع الميكانيكية الناتج عن الصدأ وتقادم العازلية ومخالفة الشروط الفنية للاستثمار. أيضاً إن الظروف المناخية والطبيعية لها دور كبير في تشكل هذه الأعطال سواء كانت هذه المنظومات في حالة العمل (الاستثمار والتنقل) أو التخزين (العمر الفني للعناصر الإلكترونية والكتل)، كما أن درجة الخبرة الفنية والاستثمارية لطاقم العمل تعد من أهم الأسباب المؤدية لحدوث وتكرار هذه

الأعطال. هذه الأسباب أدت إلى الاعتماد على طرائق تشخيص الأعطال من أجل محاولة توفير الوقت والجهد اللازمين للإصلاح والصيانة [7].

5-1 الكتل الكهربائية وأعطالها: هي عبارة عن مجموعة من الدارات الكهربائية التي تحتوي على عناصر إلكترونية أساسية مثل: المقاومات والمكثفات والملفات والترانزستورات ومنظمات الجهد وغيرها، تقوم بوظائف متعددة تؤدي مع بعضها البعض إلى تنفيذ جزء رئيسي من عمل المنظومة وأي خلل في أداء هذه الكتل يكون بسبب عطل في إحدى هذه الدارات الإلكترونية وعناصرها.

5-1-1 اختبار المقاومات والمكثفات: يتم الاختبار الخارجي للمقاومات بالتأكد من حالة الطلاء المانع للصدأ وكمالية الجسم والترميز وانسيابية دوران المحور في المقاومات المتغيرة. أما أثناء الاختبار الكهربائي يتم التأكد من مطابقتها للمواصفات ومن مقاومة العازلية بين المآخذ وجسم المقاومة نفسها. عند الفحص الخارجي للمكثفات يجب التأكد من:

- كمالية الجسم والمآخذ التماسية وثبيتها إلى جسم المكثفة.
- كمالية عوازل المكثفات وثبيتها ضمن الهياكل المعدنية.
- حالة الصفائح العازلة ومآخذ المكثفات المتغيرة.
- إمكانية دوران العناصر الدوارة للمكثفات دون أي احتكاك.

أما أثناء الاختبار الكهربائي للمكثفات يتم التأكد من: مقاومة العازلية وسلامة العازل.

5-2 اختبار العناصر النصف ناقلة (ديود، ترانزستور، دارات متكاملة): يتم بطريقتين:

1- طريقة الكشف الخارجي: يتم التأكد من عدم وجود تماس بين المخارج، الوصل الصحيح للمخارج بالنقاط اللازمة وعدم وجود أضرار ميكانيكية على الهيكل.

2- قياس البارامترات الكهربائية للعناصر: وتتم باستخدام أجهزة اختبار خاصة حيث يتم التأكد من عدم وجود تيار عكسي على المجمع ويتم كذلك اختبار ثابت التضخيم للترانزستورات، أما بالنسبة للديودات فيتم قياس المقاومة في الاتجاهين.

5-3 أجهزة الملاحظة والمراقبة: يجب تأمين الحماية لأجهزة الملاحظة والمراقبة (الكاميرات الحرارية والأجهزة البصرية) أثناء استثمارها من أشعة الشمس باستخدام الأغطية الواقية المخصصة لها، حيث توضع في الظل وعلى أسطح معزولة وتحفظ في أماكن

تحتوي على تهوية جيدة. كما يجب حمايتها من سقوط الرواسب الجوية على عناصرها البصرية والتأكد من عازليتها بحيث لا يسمح بتجمع الرطوبة على السطوح الخارجية.

4-1-5 استثمار المدخرات: عند استثمار المدخرات ضمن المجال الحراري ($10^{\circ}, 35^{\circ}$) درجة مئوية يتم الفحص مرة واحدة شهرياً. أما ضمن المجال الحراري ($10^{\circ}, -40^{\circ}$) والمجال ($35^{\circ}, 45^{\circ}$) درجة مئوية تفحص المدخرات مرة واحدة كل 15 يوماً.

6- الدراسة التطبيقية

بعد إنشاء ملف بيانات العينة ضمن بيئة البرنامج (SPSS(25)، تم إيجاد الجداول التكرارية لهذه البيانات وأعطالها مع نسبها المئوية إضافة إلى الحصول على الرسومات البيانية لكل متغير من متغيرات الدراسة. تم بعد ذلك استخدام اختبار (χ^2) للاستقلالية لإتمام هذه الدراسة [8,9].

6-1 اختبار (χ^2) كاي مربع للاستقلالية

يعود الفضل في ابتكار الاختبار χ^2 إلى العالم كارل بيرسون، ويعدّ من أهم الطرائق الإحصائية للحكم على صحة أو زيف الفرض الصفري (عدم وجود علاقة بين المتغيرات المدروسة) بالنسبة للفروق بين التكرارات باعتبارها تنتمي إلى البيانات الإسمية. كما يمتد هذا الاختبار إلى مشكلات قياس قوة الترابط أو الاقتران بين متغيرين إسميين من بيانات العينة أو استقلالهما.

يعتمد χ^2 على المقارنة بين مجموعة من التكرارات المشاهدة (O_i) والتكرارات المتوقعة (E_i). وتعطى قيمة اختبار χ^2 بالعلاقة التالية [10]:

$$\chi^2$$

O_i : التكرارات المشاهدة.

E_i : التكرارات المتوقعة.

6-2 النتائج والمناقشة

بعد معالجة ملف البيانات الموجود ضمن برنامج (SPSS(25) نجد أن:

عينة البحث: تتضمن عينة البحث منظومات التحكم التالية:

أجسام طائفة موجهة، أجهزة ملاحقة، أجهزة توجيه، مدخرات، كاميرات.

يوضح الجدول (1) تكرار العينة التي تم جمعها على مرحلتين مع نسبها المئوية المرحلة الأولى: صيفاً أي عند ارتفاع درجات الحرارة وتعرض المنظومات لأشعة الشمس مباشرة، وعددها (40) منظومة.

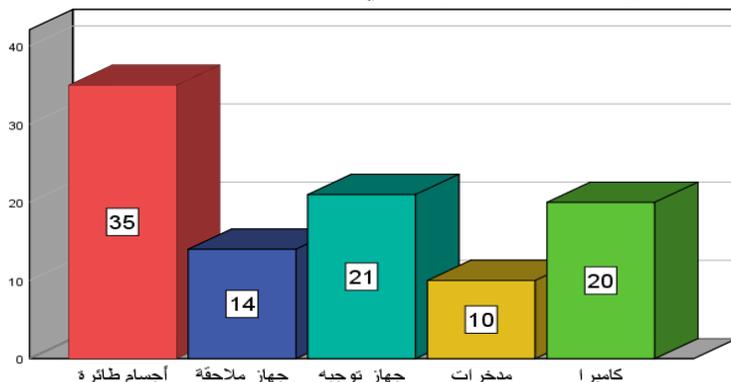
المرحلة الثانية: شتاءً أي عند انخفاض درجات الحرارة وفي الظروف المناخية الصعبة وعددها (60) منظومة.

نلاحظ أن نسبة منظومات التحكم العاملة على الأجسام الطائرة الموجهة قد بلغت (35.0%) وهي النسبة الأعلى في هذه العينة، لأنها الأكثر تعرضاً للعوامل المؤثرة على وثوقيتها كالظروف المناخية أثناء التخزين الطويل الأمد والاستثمار (العمل والتنقل).

الجدول(1) تكرار عينة البحث ونسبها المئوية

عينة البحث		التكرار	النسبة المئوية%
منظومات التحكم	أجسام طائرة	35	0.35
	جهاز ملاحقة	14	0.14
	جهاز توجيه	21	0.21
	مدخرات	10	0.10
	كاميرا	20	0.20
	المجموع	100	%100

كما ويوضح الشكل (1) الرسم البياني لتكرار عينة البحث.



الشكل(1) توزيع منظومات التحكم العاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة ضمن عينة البحث

يوضح الجدول (2) توزيع هذه المنظومات على الأشهر صيفاً وشتاءً. حيث تم تحديد أكثر الأعطال الكهربائية في منطقة الدراسة، ثم جمعت عينة البحث التي تتضمن

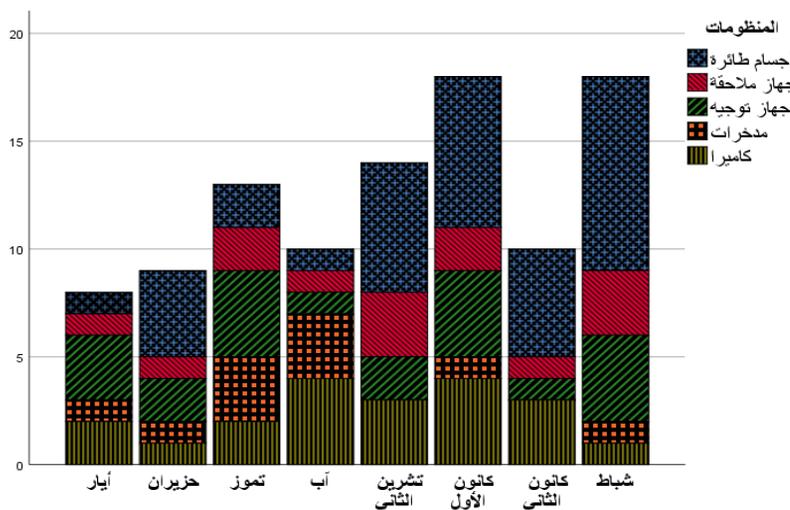
هذه الأعطال. نلاحظ أن التكرارات ذات القيم الأعلى حدثت أثناء الظروف المناخية الصعبة شتاءً، وذلك بسبب زيادة ساعات العمل ليلاً وفي ظروف الرؤية الصعبة وتأثير انخفاض درجات الحرارة والرطوبة، إضافة إلى تأثير الظروف الطبيعية الصحراوية الرملية في منطقة تدمر، إضافة إلى امتداد المساحات واختلاف ووعورة طرائق التنقل وتأثيرها المباشر على وثوقية هذه المنظومات في المنطقة الوسطى عموماً.

الجدول (2) توزيع عينة البحث على الأشهر صيفاً وشتاءً

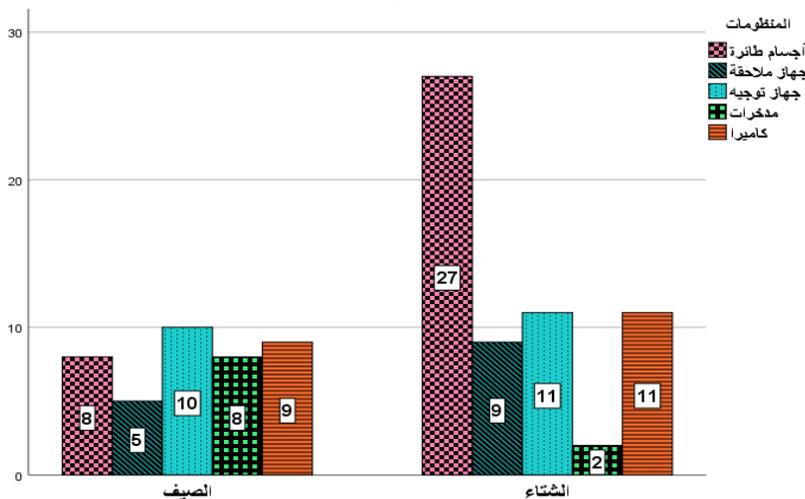
الفصل	المنظومات					Total	
	أجسام طائرة	جهاز ملاحقة	جهاز توجيه	مدخرات	كاميرا		
الصيف	أيار	1	1	3	1	2	8
	حزيران	4	1	2	1	1	9
	تموز	2	2	4	3	2	13
	أب	1	1	1	3	4	10
الشتاء	نشرين الثاني	6	3	2	0	3	14
	كانون الأول	7	2	4	1	4	18
	كانون الثاني	5	1	1	0	3	10
	شباط	9	3	4	1	1	18
Total		35	14	21	10	20	100

يوضح الشكل (2) والشكل (3) الرسم البياني لتوزيع هذه المنظومات خلال فترة

دراسة العينة صيفاً وشتاءً.



الشكل (2) توزيع عينة البحث على الأشهر



الشكل (3) توزيع عينة البحث صيفاً وشتاءً

أعطال عينة البحث: يقوم طواقم الفنيين القائمين على أعمال الصيانة والإصلاح بتحديد الأعطال الكهربائية لمنظومات التحكم، وتصنيفها والإشارة للأسباب المؤدية لها. بعد تحديد عينة البحث تم تقييم الأعطال التالية نسبة إلى الكتل والدارات الإلكترونية المتعطلة في منظومات التحكم المدروسة:

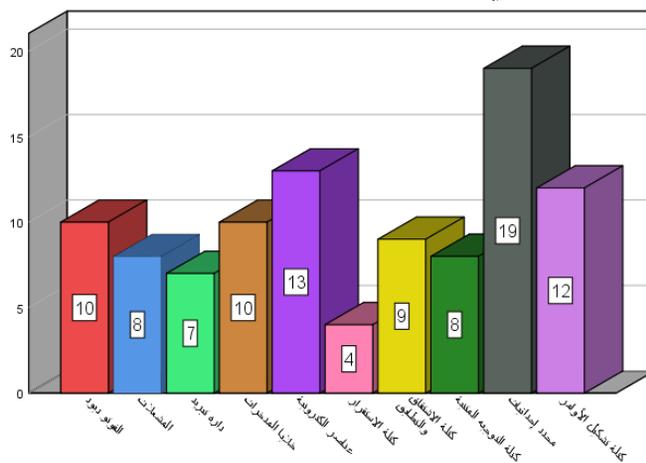
المشعلات الكهربائية، كتلة محدد الإحداثيات الجيروسكوبي، الفوتو ديود وأقراص التعديل الدوارة، دارة التبريد في الكاميرات الحرارية، خلايا المدخرات، كتلة الاستقرار، كتلة الاشتقاق والتطابق، كتلة تشكيل الأوامر، كتلة التوجيه المتتية، عناصر إلكترونية متفرقة.

يوضح الجدول (3) تكرار الأعطال التي ظهرت على عينة البحث مضافاً إليها نسبها المئوية، ونلاحظ من خلال هذا الجدول أن نسبة العطل في كتلة محدد الإحداثيات الجيروسكوبي قد بلغت (19.0%) وهي النسبة الأعلى، وذلك بسبب عدم مراعاة الشروط الاستثمارية عند التخزين الطويل الأمد للأجسام الطائرة القريبة المدى أثناء الظروف المناخية والطبيعية الصعبة، حيث يجب التوجيه بعدم تعرضها للأمطار شتاءً، وقد ظهرت آثار الرطوبة العالية على معظم الأجسام الطائرة في المستودعات، كما يجب حمايتها من آثار الأتربة والرمال أثناء التنقل صيفاً. مما يعطي مؤشراً لأسباب أعطال هذه المنظومة كالمشعلات الكهربائية (8.0%) وكتلة أجهزة التوجيه المتتية (8.0%).

الجدول (3) تكرار الأعطال ضمن عينة البحث ونسبها المئوية

أعطال عينة البحث			
	التكرار	النسبة المئوية%	
الأعطال	المشعلات	8	0.8
	محدد الإحداثيات	19	0.19
	الفوتو ديود	10	0.10
	دائرة التبريد	7	0.7
	خلايا المدخرات	10	0.10
	كتلة الاشتقاق والتطابق	9	0.9
	كتلة الاستقرار	4	0.4
	كتلة تشكيل الأوامر	12	0.12
	كتلة التوجيه المتتبية	8	0.8
	عناصر إلكترونية	13	0.13
	المجموع	100	%100

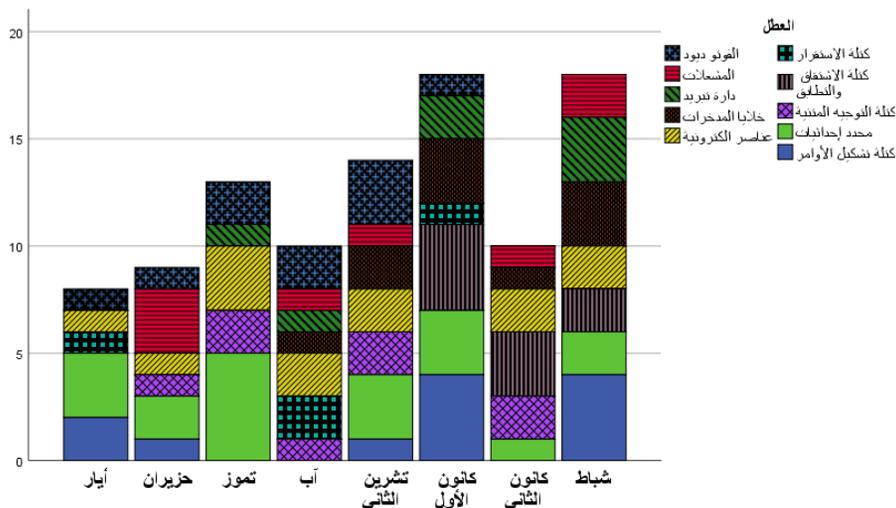
يوضح الشكل (4) الرسم البياني لتكرار هذه الأعطال ضمن عينة البحث.



الشكل (4) توزيع الأعطال على عينة البحث

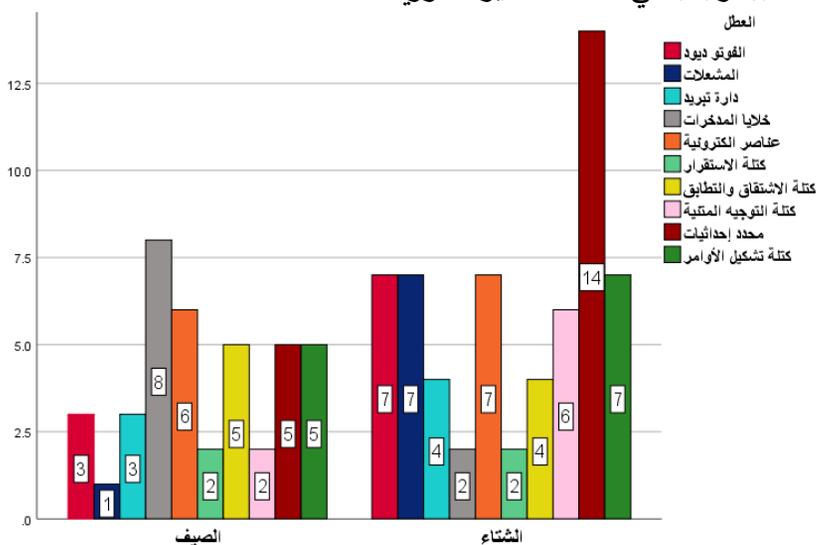
يوضح الشكل (5) والشكل (6) توزيع هذه الأعطال على منظومات التحكم بحسب الأشهر التي جمعت فيها عينة البحث صيفاً وشتاءً، ومن خلال دراسة هذا التوزيع تم ملاحظة أن بعض هذه الأعطال تتأثر بالظروف المناخية والطبيعية كالناتجة عن تشكل الصدا بسبب الرطوبة (دائرة القصر مثلاً)، أو القطع (دائرة مفتوحة أو إزالة تماسات) في الدارات الإلكترونية بسبب الأتربة والاحتكاك.

التحليل الإحصائي للأعطال الكهربائية في منظومات توجيه الأجسام الطائرة قريبة المدى



الشكل (5) توزيع الأعطال على عينة البحث حسب الأشهر

كما أن الخلايا الكهروكيميائية للمدخرات تتأثر بزيادة درجات الحرارة، وبكثرة التفريغ والشحن دون مراعاة الشروط الاستثمارية. أيضاً الأجهزة البصرية وأجهزة الرؤية الحرارية تتعرض للعديد من الأعطال التي تعزى إلى الغباشة أو القصر الناتجين عن الرطوبة أو بسبب الأعطال في العناصر الكهروضوئية والدارات المسؤولة عن الكشف الحراري لئلاً باستخدام الحساسات المبردة بالآزوت، ويعدّ دخول الغبار وذرات الرمال في قناة الأزوت سبباً رئيسياً في تعطل الكاميرا الحرارية.



الشكل (6) توزيع الأعطال على عينة البحث صيفاً وشتاءً

إن سوء الاستثمار (قلة الخبرة أو زيادة ساعات العمل) والتنقل دون مراعاة شروط وعوامل الأمان ووعورة الطرائق تعد من الأسباب الرئيسية لتكرار هذه الأعطال. بالاطلاع على الجدول (4) الذي يوضح تكرارات الأعطال الكهربائية لمنظومات التحكم (التكرارات المشاهدة Count والتكرارات المتوقعة Expected) واقتربنا بالأشهر صيفاً وشتاءً، نجد أن التكرار المشاهد يعبر عن عدد الأعطال في منظومات التحكم خلال أشهر الدراسة، أما التكرار المتوقع فيحسب من نظرية ضرب الاحتمالات، أي أن حساب التكرار المتوقع لعطل دائرة التبريد E_1 خلال شهر تموز مثلاً ناتج عن جداء قيمة التكرار المشاهد الكلي للأعطال في هذا الشهر (13) بمجموع التكرارات المشاهدة لهذا العطل في عينة البحث (7) مقسوماً على حجم العينة (100) [11].

$$E_1 = \frac{13 * 7}{100} = 0.91$$

كما يمكن ملاحظة ما يلي:

شهر أيار: تم جمع (8) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:

- الفوتو ديود عدد (1): السبب التعرض للسقوط أثناء التحميل والنقل المفاجئ دون مراعاة شروط الحيطه والأمان.
 - خلايا المدخرات عدد (1): ناتج عن الشحن الزائد.
 - عناصر إلكترونية متفرقة عدد (2): بسبب التعرض للشظايا بالقرب من مناطق العمليات القتالية أو التخريب المتعمد من قبل الجماعات الإرهابية.
 - كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (1): ناجم عن عودة تيار كهربائي إلى منظومة التوجيه عبر سلك الاتصال عند تماسه مع كابلات تيار المدينة.
 - كتلة محدد الإحداثيات عدد (1): بسبب انهيار العازلية لمكثفات ومقاومات لوحة التماسات (العمر الفني وتأثير درجات الحرارة المرتفعة).
 - كتلة تشكيل الأوامر عدد (2): ناجم عن عودة تيار كهربائي إلى منظومة التوجيه عبر سلك الاتصال عند تماسه مع كابلات تيار المدينة.
- شهر حزيران: تم جمع (9) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:
- خلايا المدخرات عدد (1): ناتج عن الشحن الزائد وارتفاع درجة الحرارة.

- عناصر إلكترونية متفرقة عدد (1): بسبب التقادم وانتهاء العمر الفني.
- كتلة الاستقرار عدد (1): بسبب تغير قيمة الجهود الخاصة بتنظيم سرعة دوران المحرك نتيجة للتقادم، وتأثير الظروف المناخية المحيطة على العازلية.
- كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (1): ناجم عن عودة تيار كهربائي إلى منظومة التوجيه عبر سلك الاتصال عند تماسه مع كابلات تيار المدينة.
- كتلة التوجيه المتتية عدد (1): السبب العمر الفني للجسم الطائر الموجه، أيضاً تأثير درجات الحرارة المرتفعة على العازلية.
- كتلة محدد الإحداثيات عدد (3): بسبب انهيار العازلية لمكثفات ومقاومات لوحة التماسات (العمر الفني وتأثير درجات الحرارة المرتفعة).
- كتلة تشكيل الأوامر عدد (1): ناجم عن عودة تيار كهربائي إلى منظومة التوجيه عبر سلك الاتصال عند تماسه مع كابلات تيار المدينة.
- شهر تموز: تم جمع (13) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:
 - الفوتو ديود عدد (1): السبب التقادم وانهيار مقاومة الديود الضوئي.
 - المشعلات عدد (1): بسبب غياب التماسات الناقلة للتيار نتيجة للاحتكاك.
 - دارة التبريد عدد (1): دخول ذرات الغبار مع الآزوت وانسداد القناة.
 - خلايا المدخرات عدد (3): ناتج عن كثرة الشحن والتفريغ وارتفاع درجات الحرارة.
 - عناصر إلكترونية متفرقة عدد (1): بسبب التعرض للشظايا بالقرب من مناطق العمليات القتالية أو التخريب المتعمد من قبل الجماعات الإرهابية.
 - كتلة الاستقرار عدد (1): بسبب تغير قيمة الجهود الخاصة بتنظيم سرعة دوران المحرك نتيجة للتقادم، وتأثير الظروف المناخية المحيطة على العازلية.
 - كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (2): ناجم عن انتهاء العمر الفني للملفات والمكثفات وتأثير درجات الحرارة المرتفعة على العازلية.
 - كتلة التوجيه المتتية عدد (1): السبب العمر الفني للجسم الطائر الموجه، أيضاً تأثير درجات الحرارة المرتفعة على العازلية.
 - كتلة تشكيل الأوامر عدد (2): ناجم عن انتهاء العمر الفني للملفات والمكثفات وتأثير درجات الحرارة المرتفعة على العازلية.

شهر آب: تم جمع (10) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:

- الفوتو ديود عدد (1): السبب التقادم وانهيار مقاومة الديود الضوئي.
- دارة التبريد عدد (2): دخول ذرات الغبار مع الأزوت وانسداد القناة.
- خلايا المدخرات عدد (3): ناتج عن كثرة الشحن والتفريغ وزيادة ساعات العمل.
- عناصر إلكترونية متفرقة عدد (2): بسبب التقادم وانهيار العازلية.
- كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (1): ناجم عن عودة تيار كهربائي إلى منظومة التوجيه عبر سلك الاتصال عند تماسه مع كابلات تيار المدينة.
- كتلة محدد الإحداثيات عدد (1): بسبب انهيار العازلية لمكثفات ومقاومات لوحة التماسات (العمر الفني وتأثير درجات الحرارة المرتفعة).

شهر تشرين الثاني: تم جمع (14) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:

- الفوتو ديود عدد (3): السبب زيادة ساعات العمل وتشكل الرطوبة ليلاً.
- المشعلات عدد (2): بسبب زيادة رطوبة البارود وعدم اشتعاله.
- دارة التبريد عدد (1): دخول ذرات الغبار مع الأزوت وانسداد القناة.
- عناصر إلكترونية متفرقة عدد (2): بسبب التقادم وانهيار العازلية.
- كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (1): ناجم عن انهيار العازلية نتيجة انتهاء العمر الفني للعناصر الإلكترونية.
- كتلة التوجيه المتتية عدد (1): السبب العمر الفني للجسم الطائر الموجه، أيضاً تأثير الرطوبة العالية أثناء التخزين.
- كتلة محدد الإحداثيات عدد (3): بسبب الرطوبة الناتجة عن التخزين الطويل.
- كتلة تشكيل الأوامر عدد (1): ناجم عن عودة تيار كهربائي إلى منظومة التوجيه عبر سلك الاتصال عند تماسه مع كابلات تيار المدينة.

شهر كانون الأول: تم جمع (18) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:

- الفوتو ديود عدد (2): ناتج عن زيادة ساعات العمل وتشكل الرطوبة ليلاً.
- المشعلات عدد (1): ناجم عن زيادة رطوبة البارود وعدم اشتعاله.
- دارة التبريد عدد (2): بسبب التقادم وزيادة ساعات العمل.

- خلايا المدخرات عدد (1): ناتج عن التقادم (العمر الفني) والشحن الزائد.
- عناصر إلكترونية متفرقة عدد (2): بسبب التعرض للشظايا بالقرب من مناطق العمليات القتالية أو التخريب المتعمد من قبل الجماعات الإرهابية.
- كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (1): ناجم عن انهيار العازلية نتيجة انتهاء العمر الفني للعناصر الإلكترونية.
- كتلة التوجيه المتتية عدد (2): السبب العمر الفني للجسم الطائر الموجه، أيضاً تأثير الرطوبة العالية أثناء التخزين.
- كتلة محدد الإحداثيات عدد (4): بسبب الرطوبة الناتجة عن التخزين الطويل.
- كتلة تشكيل الأوامر عدد (3): ناجم عن انهيار العازلية نتيجة انتهاء العمر الفني للعناصر الإلكترونية.

شهر كانون الثاني: تم جمع (10) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:

- المشعلات عدد (2): بسبب زيادة رطوبة البارود وعدم اشتعاله.
- دارة التبريد عدد (1): ناجم عن التقادم وزيادة ساعات العمل.
- عناصر إلكترونية متفرقة عدد (2): بسبب زيادة ساعات العمل وتأثير الرطوبة.
- كتلة الاستقرار عدد (1): بسبب تغير قيمة الجهود الخاصة بتنظيم سرعة دوران المحرك نتيجة للتقادم، وتأثير الرطوبة على القطع المتحركة.
- كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (1): ناجم عن عودة تيار كهربائي إلى منظومة التوجيه عبر سلك الاتصال عند تماسه مع كابلات تيار المدينة.
- كتلة التوجيه المتتية عدد (2): السبب العمر الفني للجسم الطائر الموجه، أيضاً تأثير الرطوبة العالية أثناء التخزين.
- كتلة محدد الإحداثيات عدد (1): بسبب الرطوبة الناتجة عن التخزين الطويل.

شهر شباط: تم جمع (18) منظومات تحكم متعطلة كهربائياً وهي على الشكل:

- الفوتو ديود عدد (2): زيادة ساعات العمل وتشكل الرطوبة ليلاً.
- المشعلات عدد (2): زيادة رطوبة البارود وعدم اشتعاله.
- خلايا المدخرات عدد (1): ناتج عن الشحن الزائد.
- عناصر إلكترونية متفرقة عدد (1): زيادة ساعات العمل وتأثير الرطوبة.

- كتلة الاستقرار عدد (1): بسبب تغير قيمة الجهود الخاصة بتنظيم سرعة دوران المحرك نتيجة للتقدم، وتأثير الرطوبة على القطع المتحركة.
- كتلة الاشتقاق والتطابق عدد (1): ناجم عن انهيار العازلية نتيجة انتهاء العمر الفني للعناصر الإلكترونية.
- كتلة التوجيه المتتية عدد (1): السبب العمر الفني للجسم الطائر الموجه، أيضاً تأثير الرطوبة العالية أثناء التخزين.
- كتلة محدد الإحداثيات عدد (6): بسبب الرطوبة الناتجة عن التخزين الطويل.
- كتلة تشكيل الأوامر عدد (3): ناجم عن انهيار العازلية نتيجة انتهاء العمر الفني للعناصر الإلكترونية.

الجدول (4) توزيع الأعطال على عينة البحث واقترانها بالأشهر

العطل * الشهر Crosstabulation											
			الصيف				الشتاء				
			أيار	حزيران	تموز	أب	كانون الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط	
العطل	الفوتو ديود	Count	1	0	1	1	3	2	0	2	10
		Expected Count	0.8	0.9	1.3	1.0	1.4	1.8	1.0	1.8	10
	المشعلات	Count	0	0	1	0	2	1	2	2	8
		Expected Count	0.6	0.7	1.0	0.8	1.1	1.4	0.8	1.4	8
	دائرة تبريد	Count	0	0	1	2	1	2	1	0	7
		Expected Count	0.6	0.6	0.9	0.7	1.0	1.3	0.7	1.3	7
	خلايا المدخرات	Count	1	1	3	3	0	1	0	1	10
		Expected Count	0.8	0.9	1.3	1.0	1.4	1.8	1.0	1.8	10
	عناصر إلكترونية	Count	2	1	1	2	2	2	2	1	13
		Expected Count	1.0	1.2	1.7	1.3	1.8	2.3	1.3	2.3	13

التحليل الإحصائي للأعطال الكهربائية في منظومات توجيه الأجسام الطائرة قريبة المدى

العطل * الشهر Crosstabulation											
		الصيف				الشتاء					
		أيار	حزيران	تموز	أب	تشرين الثاني	كانون الأول	كانون الثاني	شباط		
العطل	كتلة الاستقرار	Count	0	1	1	0	0	0	1	1	4
		Expected Count	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.7	0.4	0.7	4
	كتلة الاشتقاق والتطابق	Count	1	1	2	1	1	1	1	1	9
		Expected Count	0.7	0.8	1.2	0.9	1.3	1.6	0.9	1.6	9
	كتلة التوجيه المتنية	Count	0	1	1	0	1	2	2	1	8
		Expected Count	0.6	0.7	1.0	0.8	1.1	1.4	0.8	1.4	8
	محدد إحداثيات	Count	1	3	0	1	3	4	1	6	19
		Expected Count	1.5	1.7	2.5	1.9	2.7	3.4	1.9	3.4	19
	كتلة تشكيل الأوامر	Count	2	1	2	0	1	3	0	3	12
		Expected Count	1.0	1.1	1.6	1.2	1.7	2.2	1.2	2.2	12
	Total	Count	8	9	13	10	14	18	10	18	100
		Expected Count	8.0	9.0	13.0	10.0	14.0	18.0	10.0	18.0	100

مما سبق أصبح بالإمكان تقييم الأعطال الكهربائية في منظومات التحكم العاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة والأجسام الطائرة القريبة المدى (عينة البحث)، وأيضاً دراسة العلاقة بين هذه الأعطال وبين الظروف المناخية والطبيعية صيفاً وشتاءً في فترة دراسة العينة. وباستخدام اختبار χ^2 للاستقلالية يتبين من خلال الجدول (5) أن:

$$\chi^2_{(56,0.95)} = 47.256$$

بمستوى دلالة $\alpha = 0.05$ ودرجة حرية $df = 63$

إن درجة الحرية تعطى بالعلاقة:

$$df = (10 - 1) * (8 - 1) = 63$$

حيث إن: الأسطر هي عبارة عن الأعطال.

الأعمدة هي عبارة عن الأشهر (صيفاً وشتاءً).

تبين من الجداول الخاصة بتوزيع كاي مربع أن:

القيمة الجدولية عند مستوى دلالة $\alpha = 0.05$ تساوي $\chi^2_{(63,0.95)} = 82.53$.

وبالمقارنة بين القيمة المحسوبة $\chi^2_{(56,0.95)} = 47.256$ والقيمة الجدولية نجد أن:

القيمة الجدولية أكبر من القيمة المحسوبة، مما يدعو لقبول الفرضية الصفرية أي عدم وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين المتغيرين المدروسين، بالتالي لا يوجد سبب للاعتقاد بأن هناك علاقة جوهرية بين العطل والظروف المناخية وبالتالي فإن الفروق الظاهرة تعزى إلى الصدفة البحتة [11].

الجدول (5) اختبار كاي مربع للاستقلالية

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance
Pearson Chi-Square	47.256	63	0.930
N of Valid Cases	100		

يوضح الجدول (6) معامل اقتران كرامر الذي يشير إلى العلاقة بين متغيرين من المستوى الإسمي وتتراوح قيمته بين (0) و(1)، ومنه نجد أنه ليس هناك ارتباط بين المتغيرين (العطل والشهر)، حيث بلغت قيمة معامل كرامر $Cramer's V = 0.260$ بمستوى دلالة (0.930) أكبر من مستوى الدلالة $\alpha = 0.05$ أي ليس دال إحصائياً.

الجدول (6) معامل اقتران كرامر

Cramer معامل اقتران			
		Value	Approximate Significance
Nominal by Nominal	Cramer's V	0.260	0.930
N of Valid Cases		100	

:Binomial Test

هو اختبار يقوم بحساب النسبة المئوية لتوزيع عناصر العينة على متغير ثنائي ثم يقارن تلك النسب المئوية نسبة إلى الفرضية (50%) التي يضعها المحلل. نلاحظ من الجدول (7) Binomial Test أن عدد الأعطال المأخوذة صيفاً (40) بنسبة 40% بينما الأعطال المأخوذة شتاءً (60) بنسبة مئوية 60%. وبما أن

النسبة المئوية الفرضية هي 50%، بالتالي فإن النسبة المشاهدة تختلف عن النسبة المتوقعة بمقدار 10% وهذا الفرق غير دال إحصائياً عند مستوى الدلالة $\alpha = 0.05$.

الجدول (7) اختبار Binomial Test

Binomial Test						
		Category	N	Observed Prop.	Test Prop.	Exact Sig. (2-tailed)
الفصل	Group 1	الصيف	40	0.40	0.50	0.057
	Group 2	الشتاء	60	0.60		
	Total		100	1.00		

الخلاصة

إن عدم وجود علاقة بين الأعطال والظروف المناخية صيفاً وشتاءً في فترة دراسة العينة تساعد طواقم الصيانة والإصلاح في تحديد الأسباب الرئيسية للأعطال في كل منظومة تحكم إضافة إلى توقع حدوثها. وبالتالي إيجاد الطرائق الكفيلة لتلافي حدوثها أو تكرارها، مما يوفر الوقت والجهد اللازمين للمحافظة على هذه المنظومات في وضعية الجاهزية والعمل.

7- المقترحات

قدمت هذه الدراسة تحليلاً إحصائياً للأعطال الكهربائية في منظومات التحكم العاملة على أجهزة التوجيه والملاحقة والأجسام الطائرة القريبة المدى وبناء على ما توصلت إليه هذه الدراسة يمكن إضافة المقترحات التالية:

- 1- العمل على أحجام مختلفة من العينات تشمل الأعطال ومنظومات التحكم.
- 2- تغيير المنطقة التي أخذت منها هذه العينة لتصبح الدراسة شاملة لمعظم المناطق التي تستخدم فيها مثل هذه المنظومات وإجراء عملية مقارنة بين هذه المناطق.

المراجع

- [1]- معوض إحسان، الزعبي خالد، 2004-إصلاح منظومات التحكم. أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية، حلب.
- [2]- Piotr L. Mariusz W. Andrzej D. Andrzej R., 2016-Evaluation of diagnostic information on common electrical faults contained in signals of an inverter fed ACIM drive with current oriented control. Bydgoszcz, Poland, pp: 286-291.
- [3]- Hamid T. Subhasis N. Seungdeog Ch. Hamayoun M., 2013-Electric machines: modeling condition monitoring and fault diagnosis. CRC press, pp: 99-155.
- [4]- Wen L. Gao L. Li X. Wang L. Zho J., 2018-A Jointed signal analysis and convolutional neural network method for fault diagnosis. CIRB,CrossRef.
- [5]- Senanayaka J. Vankhang H. Robbersmyr K., 2018-Online fault diagnosis system for electronic power trains using advanced signal processing and machine learning. IEEE.
- [6]- حايك موسى، 2004-البنية العامة ومبدأ عمل منظومات التحكم. أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية، حلب، ص: 1-13.
- [7]- Michael G., 2016-How to Diagnose and Fix every thing electronic. 2nd Edition, MC Graw Hill education.
- [8]- Darren G. Paul M., 2018-IBM SPSS Statistics 25 step by step: A Simple Guide and Reference. Version 25, Edition 15, Routledge.
- [9]- Brian C., 2018-How To Use SPSS A step by step Guide to Analysis and Interpretation. Tenth edition published by Routledge, New York.
- [10]- Eric G. Ming H., 2019-Learn R for Applied Statistics With Data Visualizations, Regressions, and Statistics. Singapore. Pp:194-197.
- [11]- Neil S., 2017-Statistics for People Who (Think They) Hate Statistics. 6 Edition, University of Kansas, SAGE. Pp:388-407.

