

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 27

1445 هـ . 2023 م

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

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

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
م. هلا معروف

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة 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 (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
28-11	أنس السلومي د. توفيق مسعود	نمذجة السلوك الديناميكي للدوار في السرعات العالية باستخدام MATLAB
60-29	جينا مهنا د. مريم ساعي د. ألفت جولحة د. جورج أسير	مراقبة الشذوذ في شبكات الطاقة الكهربائية لمنع حالات الاستمرار غير الشرعي باستخدام Bi-LSTM, CNN
84-61	د. عدنان عمران د. فادي علي م. عزيز الحزوري	دراسة تجريبية لتقييم تأثير نوع المادة المجففة على أداء الدوالب المجفف في نزع رطوبة الهواء
116-85	محمد طوقان د. توفيق المسعود د. المهندس مكي	دراسة رياضية لروبوت بثلاث درجات حرية قابل للتنفيذ في معمل الشركة الدولية لدرفلة الحديد في حسياء
144-117	محمد قرحان الحلبي د. جورج إسير د. غسان حايك	دراسة كفاءة تكوين محول التعزيز Boost في توفير القدرة الكهربائية اللازمة لشحن المركبات الكهربائية
162-145	د. نوفل الاحمد د. هيثم حسن م. ميمون حمدو	دراسة و تنفيذ عنفة هيدروليكية تعمل بمياه الصرف الصحي

نمذجة السلوك الديناميكي للدوار في السرعات

العالية باستخدام MATLAB

طالب الدراسات العليا: أنس السلومي كلية: الهمة - جامعة: البعث

الدكتور المشرف: توفيق المسعود

الملخص

تستخدم الأجزاء الدوارة أو الدوارات في التطبيقات والآلات الصناعية وفي جميع المجالات الهندسية والتكنولوجية. تشمل الأمثلة الشائعة المضخات والمولدات والضواغط والحداقات. في الكثير من التطبيقات يتطلب دوران الدوارات بسرع عالية وهذا ما يقود إلى أحد القيود الرئيسية على أداء هذه الآلات وهو حدوث اهتزازات ضارة وظهور قوى كبيرة غير متوازنة للطرد المركزي يمكن أن يؤدي إلى إتلاف المحامل وفي النهاية تدمير الآلات. لذلك فإن تقنيات تقليل الاهتزازات في مثل هذه الأنظمة لها الأهمية الأولى لتحسين الأداء.

تعتمد تقنيات تقليل الاهتزاز على القضاء أو التقليل من السبب المؤدي للاهتزاز وبالتالي تقليل الاهتزاز إلى أقل حد حيث أنه عملياً لا يمكن أن تصل الاهتزازات إلى قيم صفرية، من التقنيات المستخدمة في تحسين عمل الدوار هو تقنية موازنة الدوار والتي تعمل على زيادة عمر المحمل وتقليل الاهتزازات والضوضاء المسموعة وفقدان الطاقة وبالتالي تحسين عمل الدوار.

تهدف النمذجة والمحاكاة لأنظمة الدوار هو دراسة وتحديد انحراف الجسم الدوار نتيجة الاهتزاز وحساب الموضع والكتل الإضافية اللازمة لإزالة الاهتزاز عند الدوران بسرعات عالية. حيث قما في هذا البحث بتصميم نموذج رياضي يستخدم لدراسة السلوك الديناميكي للمحاور الدوارة وتحديد الانحرافات عند السرعات العالية استخدام برنامج .MATLAB/SIMULINK

الكلمات المفتاحية: نظام الدوار المرن ، الاهتزازات ، التوازن الستاتيكي ، النموذج الرياضي ، MATLAB/SIMULINK .

Modeling the dynamic behavior of a rotor at high speeds using MATLAB

ABSTRACT

Rotors or rotors are used in industrial applications and machinery and in all areas of engineering and technology. Common examples include pumps, generators, compressors, and flywheels. In many applications rotors are required to rotate at high speeds and this leads to one of the main limitations on the performance of these machines which is the occurrence of harmful vibrations and the emergence of large unbalanced centrifugal forces that can lead to damage to the bearings and eventually to the destruction of the machines. Therefore, vibration reduction techniques in such systems are of prime importance to improve performance.

Vibration reduction techniques depend on eliminating or minimizing the cause of vibration and thus reducing vibration to a minimum, as it is practically impossible for vibrations to reach zero values. One of the techniques used to improve rotor work is rotor balancing technology, which works to increase bearing life and reduce vibrations and noise audible power loss and thus improve the functioning of the rotor.

The aim of modeling and simulation of rotor systems is to study and determine the deflection of the rotating body due to vibration and to calculate the position and additional masses needed to remove the vibration when rotating at high speeds. In this research, we designed a mathematical model used to study the dynamic behavior of rotating axes and to determine deviations at high speeds using MATLAB/SIMULINK software..

Keywords: Dynamic Rotor, Static balance, Vibration, Mathematic Modeling, MATLAB/SIMULINK.

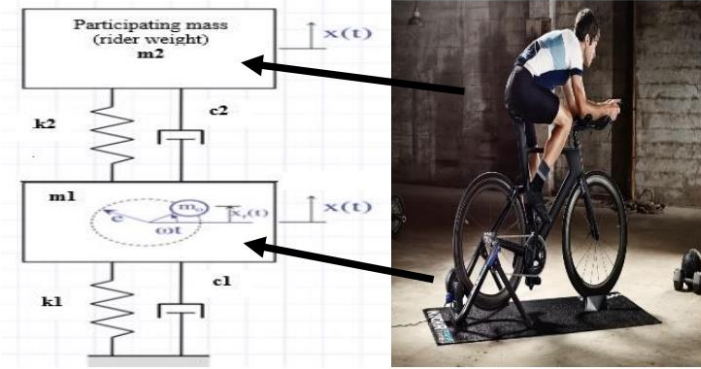
1- مقدمة:

تستخدم الأجزاء الدوارة أو الدورات في التطبيقات والآلات الصناعية وفي جميع المجالات الهندسية والتكنولوجية. تشمل الأمثلة الشائعة المضخات والمولدات والضواغط والحدافات. في الكثير من التطبيقات يتطلب دوران الدورات بسرعة عالية وهذا ما يقود إلى أحد القيود الرئيسية على أداء هذه الآلات وهو حدوث اهتزازات ضارة وظهور قوى كبيرة غير متوازنة للطرد المركزي يمكن أن يؤدي إلى إتلاف المحامل وفي النهاية تدمير الآلات. لذلك فإن تقنيات تقليل الاهتزازات في مثل هذه الأنظمة لها الأهمية الأولى لتحسين الأداء.

تعتمد تقنيات تقليل الاهتزاز على القضاء أو التقليل من السبب المؤدي للاهتزاز وبالتالي تقليل الاهتزاز إلى أقل حد حيث أنه عملياً لا يمكن أن تصل الاهتزازات إلى قيم صفرية، من التقنيات المستخدمة في تحسين عمل الدوار هو تقنية موازنة الدوار والتي تعمل على زيادة عمر المحمل وتقليل الاهتزازات والضوضاء المسموعة وفقدان الطاقة وبالتالي تحسين عمل الدوار.

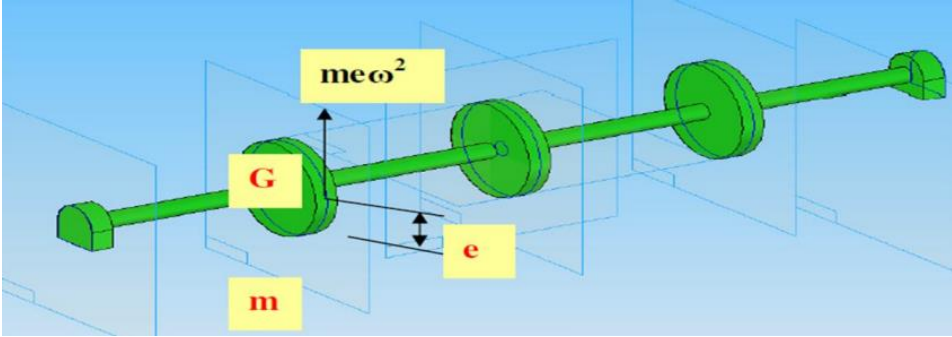
تهدف النمذجة والمحاكاة لأنظمة الدوار هو دراسة وتحديد انحراف الجسم الدوار نتيجة الاهتزاز وحساب الموضع والكتل الإضافية اللازمة لإزالة الاهتزاز عند الدوران بسرعات عالية.

لدى الرجوع إلى الأبحاث المنشورة في هذا المجال نجد أنه في البحث [1] قام الباحث بتطوير نموذج رياضي ومحاكاة من أجل تقييم عدم التوازن في الجزء الدوار للآلة كما هو موضح بالشكل (1). وقد تم التحقق من صحة سعة محاكاة عدم توازن الدوران باستخدام الطريقة العددية والتجريبية. وتم الاستناد على نتائج النموذج الرياضي من أجل اقتراح لتقليل عدم التوازن الدوراني من النتيجة على المحاكاة والتجريبية. نتيجة الدراسة مفيدة لأن المفهوم قابل للتطبيق في أي جزء دوار في المستقبل.



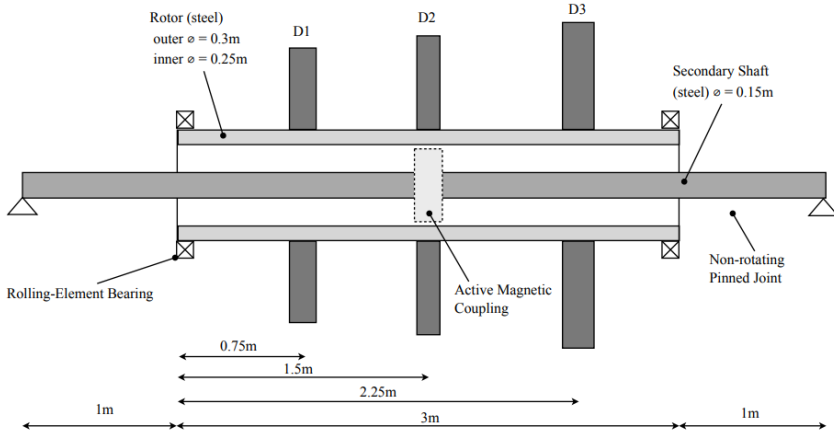
الشكل (2) نظام الدوار المرن [1]

في البحث [2] قام الباحث بتقديم نموذج محاكاة لنظام الدوار المرن الغير متوازن كما هو موضح بالشكل (2) حيث قام بدراسة وتحليل خصائص النظام غير المتوازن وتم تطوير طريقة تعتمد على للتجربة والخطأ لإيجاد طرق لموازنة نظام غير متوازن.



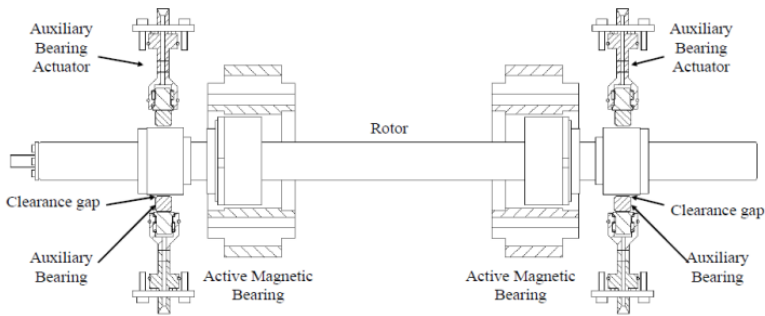
الشكل (3) نظام الدوار المرن [2]

أما البحث [3] فقد قام الباحث بالحد من اهتزاز الدوار عن طريق استخدام محامل مغناطيسية داخلية مثبتة بشكل مرن كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (3) نظام الدوار المرن [3]

أما البحث [4] فقد قام الباحث بتصميم المحمل المغناطيسي ودراسة ديناميات الجزء الدوار وإيجاد معاملات التشغيل المثالية للعضو الدوار المدعوم مغناطيسياً من خلال المحاكاة على ANSYS كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل (4) نظام الدوار المرن [4]

2- هدف البحث:

إيجاد نموذج رياضي لنظام الدوار المرن باستخدام الماتلاب سميولنك (Matlab/Simulink) بهدف دراسة السلوك الديناميكي للدوار والتنبؤ بقيم الاهتزازات عند السرعات العالية.

3- مواد وطرق البحث:

تم في هذا البحث إيجاد نموذج رياضي للدوار ذو المواصفات الموضحة بالجدول (1).

الجدول (1) مواصفات نظام الدوار المرن

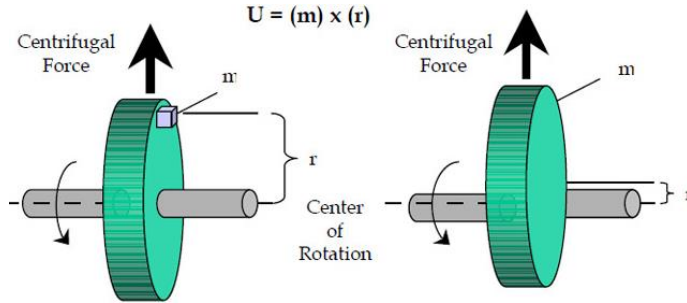
50	d [mm]	قطر الدوار
200	l [mm]	طول الدوار
240	ls [mm]	طول محور الدوار
10	ds [mm]	قطر محور الدوار
0	b [Nm/s]	ثابت التخميد
800	n [rev./min]	سرعة العمل للدوار
25	r [mm]	قطر مكان تثبيت كتلة عدم التوازن
20	md1 [g]	كتلة عدم التوازن في المستوى الأول
10	md2 [g]	كتلة عدم التوازن في المستوى الثاني
10	l1 [mm]	مسافة كتلة عدم التوازن في المستوى الأول مقاسة من الطرف اليساري
10	l2 [mm]	مسافة كتلة عدم التوازن في المستوى الثاني مقاسة من الطرف اليميني

تم بناء النموذج باستخدام برنامج الـ MATLAB/SIMULINK والحصول على مخططات تصف لنا ديناميكية الدوار.

4 النتائج والمناقشة:

1-4 نمذجة نظام الدوار الغير متوازن (unbalanced rotating system) (Modeling):

يعتمد التوازن أو عدم التوازن في أي نظام دوار على حالة القوى والعزوم العاملة أثناء حركة الجسم. حيث أن أي قوة أو عزم غير محسوب ينتج عنها خلل في حركة النظام. يرتبط التوازن في الجسم الدوار بمفاهيم مثل مركز الكتلة، ومركز الثقل، ومحور الدوران، والمحور الرئيسي للقصور الذاتي، وقوى الطرد المركزي. مركز الكتلة هو النقطة التي يتم فيها توزيع الكتلة الكلية لجسم صلب بالتساوي. متجه القوة الذي يعمل خلال هذه النقطة سيحرك الجسم في خط مستقيم وفقاً لقانون نيوتن الثاني للحركة مع عدم وجود دوران كما هو موضح في الشكل (5).

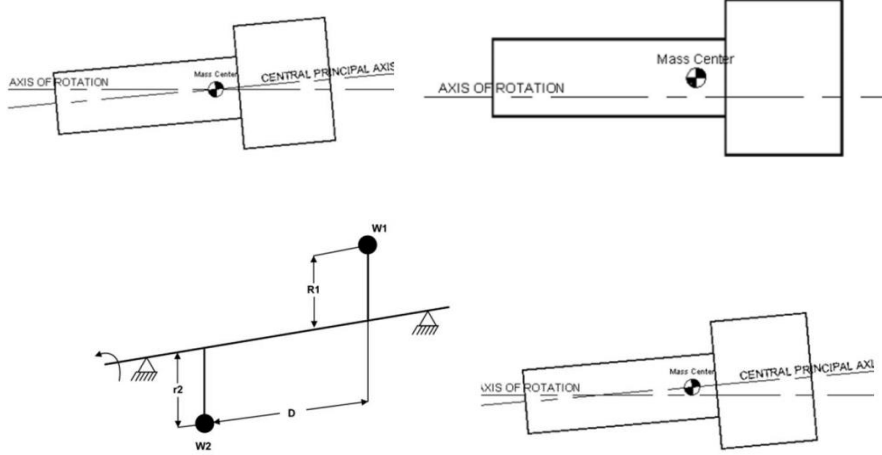


الشكل (5) القوى المحورية [2]

يتم تحديد موقع مركز الكتلة ومحاور القصور الذاتي الرئيسية من خلال توزيع الكتلة داخل الجزء الدوار. ويتم تحديد التوازن من عدمه من خلال التزامن بين محور الدوران مع محور القصور الذاتي الرئيسي، ويمكن تصنيف عدم التوازن الدوراني إلى أربع اقسام [2] كما هو موضح بالشكل (6):

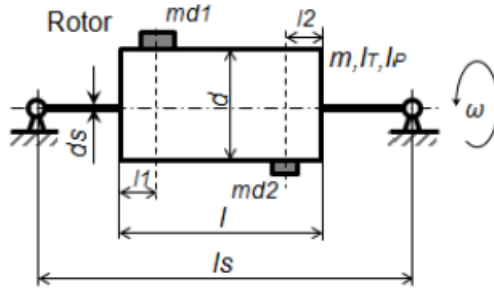
1. عدم التوازن الستاتيكي.

2. عدم التوازن الديناميكي.
3. عدم التوازن بين الزوجين.
4. شبه - خلل ثابت.



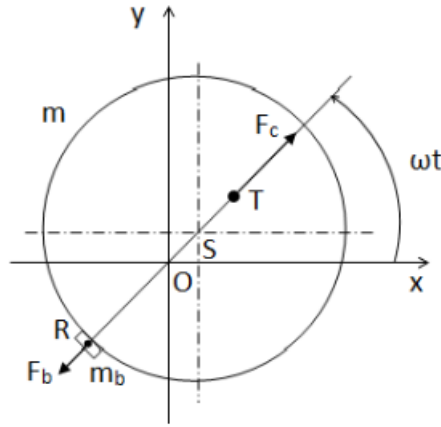
الشكل (6) حالات عدم التوازن الدوارني [2]

يبين الشكل (7) نظام الدوار المرن الذي يدور بسرعة (ω) قطره (d) وطوله (l) يثبت على الدوار كتل عدم توازن (md_1, md_2) في مستويات مختلفة على مسافات مختلفة (l_1, l_2) .



الشكل (7) نظام الدوار المرن المدروس [5]

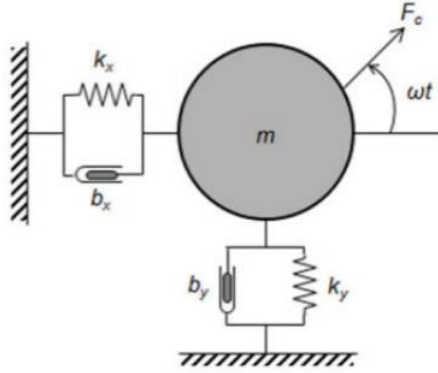
عند الحركة يمكن أن يتحرك الجسم الدوار غير المتوازن في اتجاه شعاعي أفقي ورأسي كما يمكنه الدوران حول المحاور x و y الموجودة في المستوى المتعامد مع محور الدوران z كما هو موضح في الشكل (8). حيث أنه في حالة التوازن ينطبق مركز الثقل على المركز الهندسي للدوار إلا أنه نتيجة لوجود الكتل وتوزعها بشكل غير متساو حول محور الدوران تتولد إزاحة بين مركز الثقل والمركز الهندسي مقدارها e بحيث أن قوة الطرد المركزي F_c تتسبب أثناء الدوران في انحراف الجزء المتحرك عن اتجاهه، مما يؤدي إلى زيادة المسافة بين مركز الثقل ومحور الدوران [5].



الشكل (8) نظام الدوار المرن المدروس [5]

من أجل التخلص من هذا الانحراف الناتج عن عدم توازن الكتل يجب وضع كتلة موازنة صغيرة في الاتجاه المعاكس بحيث تعمل قوة الطرد المركزي F_b المتولدة نتيجة إضافة هذه الكتلة ضد القوة F_c .

إن النموذج الحسابي للدوار مع المحامل يمكن مكافئته كما في الشكل (9) [6].



الشكل (9) نظام الدوار المرن المدروس [6]

تعطى المعادلة الرياضية للدوار عند الحركة وفي حالة عدم التوازن الستاتيكي على المحورين x و y بحسب نيوتن على الشكل التالي:

$$m_c \ddot{x} + b_x \dot{x} + k_x x = F_c \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$m_c \ddot{y} + b_y \dot{y} + k_y y = F_c \sin(\omega t) \quad (2)$$

يتم حساب قوة الطرد المركزي من خلال المعادلة التالية:

$$F_c = m_s (r + z) \omega^2 \quad (3)$$

حيث أن:

z: الانحراف الكلي المقابل لسعة الاهتزاز الكلية.

m_s: الكتلة التي تقود لعدم الاتزان الستاتيكي للجسم وهي عبارة عن الفرق بين كتلتي عدم التوازن.

ω: سرعة الدوران.

r: نصف قطر الدوار.

من أجل الموازنة يتم إضافة كتلة m_b تنتج قوة طاردة مركزية معاكسة للقوة F_c لتصبح معادلات الحركة بعد الاسقاط على المحاور:

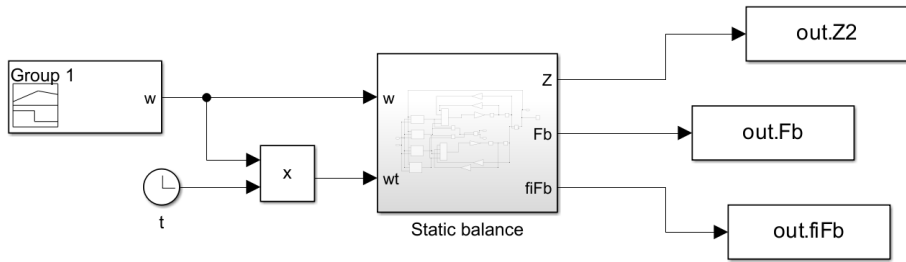
$$m_c \ddot{x} + b_x \dot{x} + k_x x = m_s (r + z) w^2 \cos(\omega t) + m_b (r_b - z) w^2 \cos(\omega t + \phi) \quad (4)$$

$$m_c \ddot{y} + b_y \dot{y} + k_y y = m_s (r + z) w^2 \sin(\omega t) + m_b (r_b - z) w^2 \sin(\omega t + \phi) \quad (5)$$

3-4 حل النموذج الرياضي:

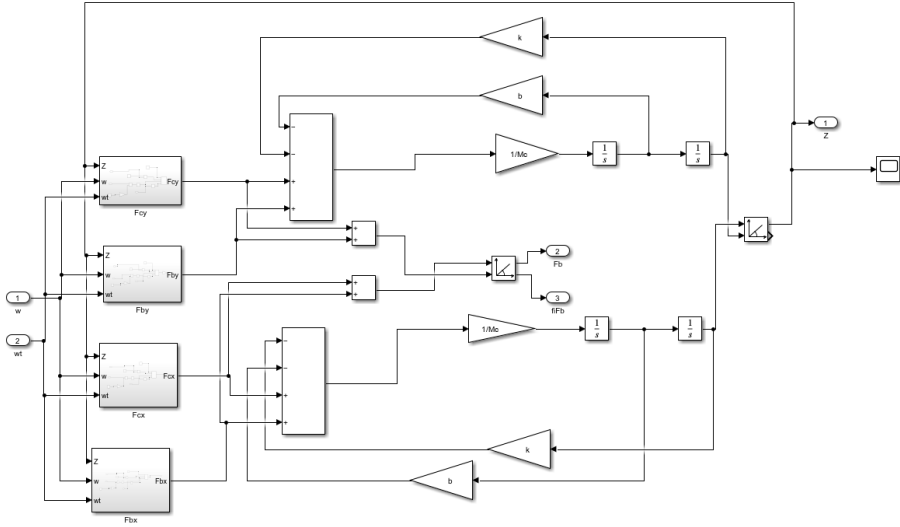
إن المعادلات الرياضية (1,2,3,4,5,6) تمثل النموذج الرياضي لنظام الدوار المرن، لحل هذا النموذج سنقوم باستخدام برنامج (MATLAB/SIMULINK) والذي يعد من البرامج المختصة بالنمذجة والحسابات العددية، كما يستخدم لنمذجة الأنظمة الديناميكية الخطية أو اللاخطية عن طريق رسم تمثيلي للنظام المراد نمذجته.

تم تمثيل النموذج الرياضي للمحرك باستخدام برنامج (MATLAB/SIMULINK) كما هو مبين في الشكل (10).



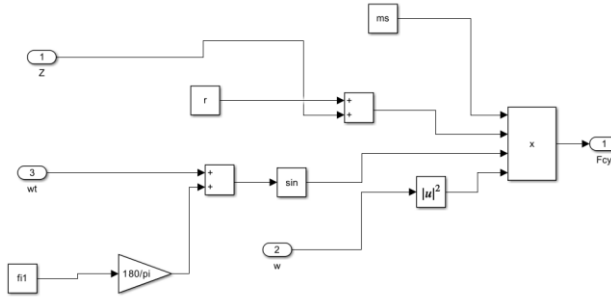
الشكل (10) تمثيل النموذج الرياضي لنظام الدوار المرن

يبين الشكل (11) تمثيل المعادلات الرياضية لنظام الدوار المرن المتوازن ستاتيكيًا.



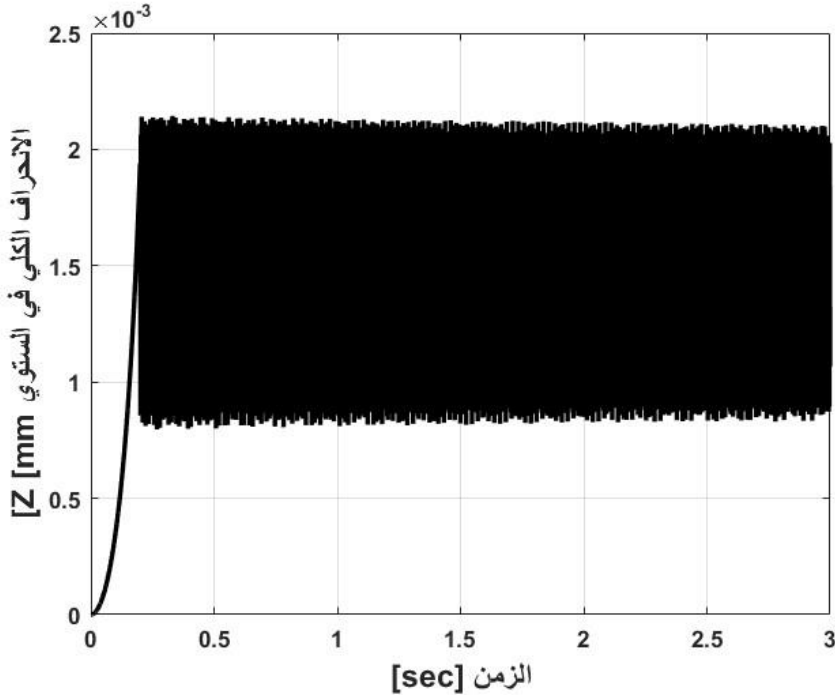
الشكل (11) تمثيل النموذج الرياضي لنظام التوازن الستاتيكي

أما الشكل (12) فيبين تمثيل المعادلات الرياضية لحساب قوة الطرد المركزي FC.



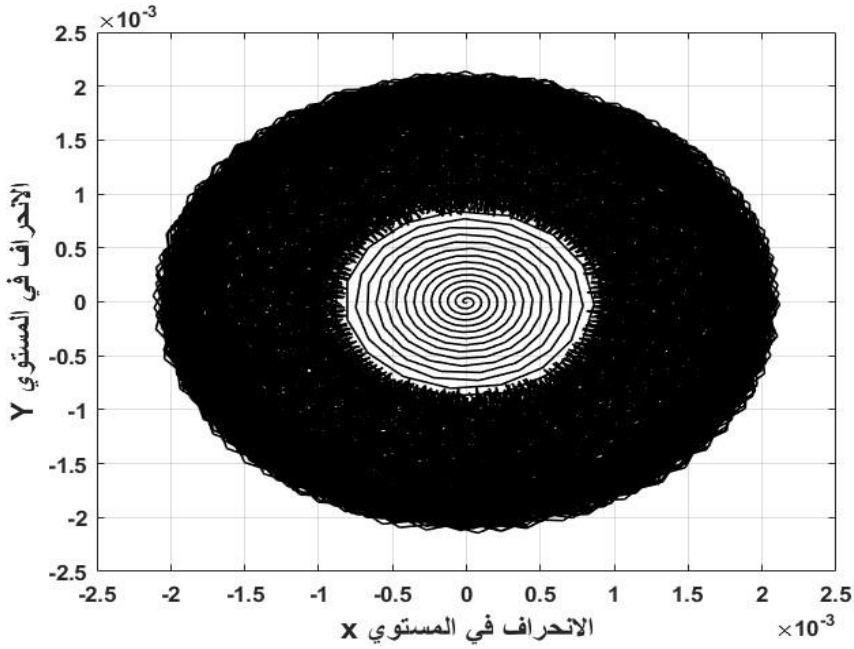
الشكل (12) تمثيل معادلة القوة الطاردة المركزية FC

يبين الشكل (13) الانحرافات الناتجة عن عدم التوازن الستاتيكي حيث أن هذه الاهتزازات الناتجة تكون دائمة وغير متخامدة.

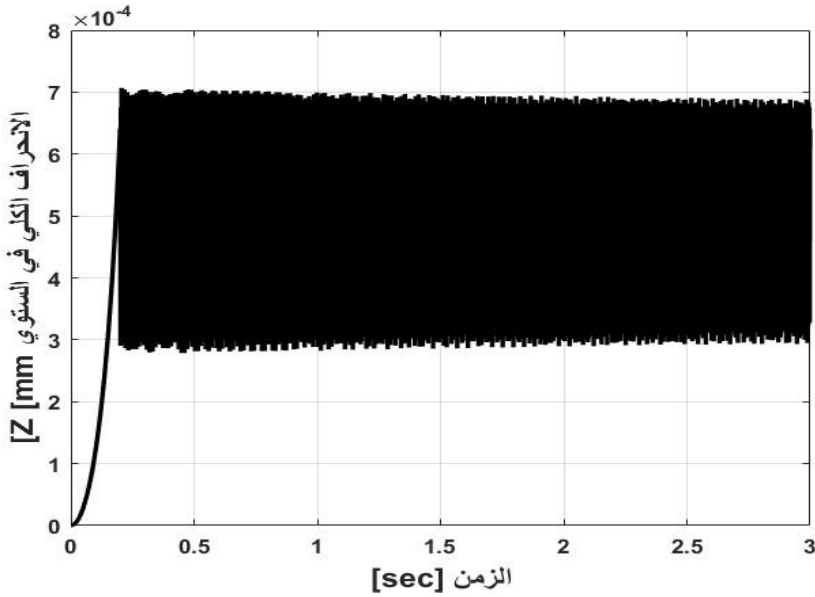


الشكل (13) انحراف الدوار في حالة عدم التوازن

يبين الشكل (14) مخططاً يوضح الانحرافات على المحور X وY. وكما هو موضح عند بدء التشغيل ، يزداد قطر المسار تدريجياً ويدور المدار الأخير له في نطاق معين. ونتيجة لعدم التوازن نجد أن الدورة الزمنية الناتجة تتكون من خط مسارين متناسقين من ترددات مختلفة بمعنى أخرى نلاحظ عدم انتظام في المدار الأخير للحركة.

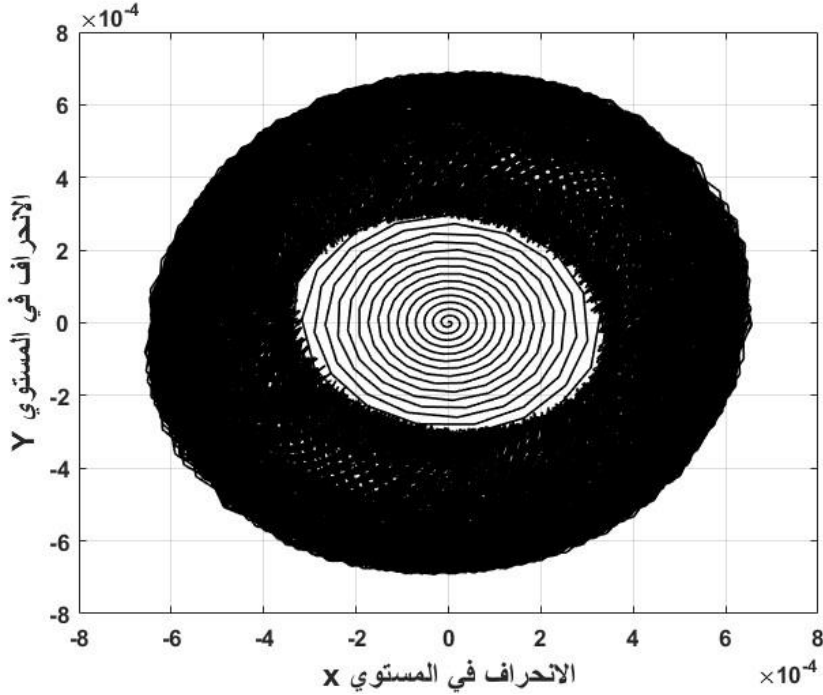


الشكل (14) الانحرافات على المحور الافقي والرأسي في حالة عدم التوازن
أما في حالة التوازن فنجد انخفاض في سعة الاهتزازات كما هو موضح في الشكل (15).



الشكل (15) انحراف الدوار في حالة التوازن

نلاحظ من الشكل (16) بعد الموازنة نلاحظ أن المسار المداري يدور حول قطر أقل بكثير من القطر الذي كان يدور فيه قبل الموازنة (لاحظ المقاييس المختلفة في المحاور y في الأشكال قبل الموازنة وبعدها).



الشكل (16) الانحرافات على المحور الافقي والرأسي في حالة عدم التوازن

5- الاستنتاجات والتوصيات:

النتائج :

- تم في هذا البحث تقديم نموذج رياضي من أجل محاكاة عمل نظام الدوار المرن أثناء الحركة وتحديد مقدار الانحرافات والاهتزازات الناتجة عن الكتل الغير متوازنة.
- هذا النموذج قادر على موازنة الدوار من خلال إضافة كتل بمواقع محددة وتحديد السلوك الديناميكي للدوار بعد إضافة هذه الكتل.

التوصيات:

- استخدام المحامل المغناطيسية النشطة وربطها مع النموذج الرياضي لنظام الدوار المرن للحد من الاهتزازات الناتجة أثناء الحركة.
- تصميم أنظمة تحكم متقدمة للمحامل المغناطيسية النشطة والتي تؤدي لتحسين أدائها في تقليل اهتزازات الدوار أثناء الحركة.

- [1] MOHD SHAFIQ SHARHAN BIN ZAINAL, 2020, **SIMULATION ANDEXPERIMENTAL STUDYFOR VIBRATION ANALYSIS ON ROTATINGMACHINERY**, Blekinge Institute of Technology, Sweden.
- [2] K. Pavan Kumar, Vinod Kumar, 2018– **Balancing of Rotating Masses using MATLAB Simulation**, IJRASET.
- [3] Firoozian, **Servo Motors and Industrial Control Theory**, "Mechanical EngineeringSeries". Springer, 236p.
- [4] Gerhard Henneberger, 2002– **Electrical Machines I**. Aachen University, 207p.
- [5] Gerhard Henneberger, 2002– **Electrical Machines II**. Aachen University, 133p.
- [6] Ogata, 1997–**Modern Control Engineering**."3rdedition",USA, 1013p.
- [7] Jantzen. 2007–**Foundations of Fuzzy Control**.Wiley, 220p.
- [8] Ross, 2004–**Fuzzy Logic with Engineering Applications**, Wiley, 625p.

[9]Umesh Kumar Bansal, Rakesh Narvey– **Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller. Advance in Electronic and Electric Engineering.**Research India Publications, ISSN 2231–1297, Volume 3, Number 9 (2013), pp. 1209–1220

مراقبة الشذوذ في شبكات الطاقة الكهربائية لمنع حالات الاسترجار غير الشرعي باستخدام Bi-LSTM, CNN

طالبة الدراسات العليا: جينا مهنا كلية الهمةك - جامعة تشرين
اشراف الدكتورة: مريم ساعي + د. ألفت جولحة + د. جورج اسبر

ملخص

يتزايد الطلب بصورة دائمة على الطاقة الكهربائية لكونها المصدر الأساس لتشغيل كل التجهيزات التي نقوم باستخدامها في حياتنا اليومية. هذا الاستخدام قد يستخدم بصورة صحيحة أو بصورة خاطئة، لذلك اتجهت العديد من الدراسات إلى مراقبة استهلاك الطاقة ومحاولة اكتشاف أي شذوذ ضمن النماذج المدروسة ومعدل تكرارها.

تتجه العديد من التقنيات الحديثة إلى ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية الأمر الذي تسبب بضرورة تطبيق نماذج من التقنين الكهربائي بهدف الحماية وتوفير الموارد. هذا الأمر دفع العديد من الأشخاص إلى القيام باسترجار الطاقة الكهربائية بصورة غير شرعية وتشغيل العديد من الأجهزة المنزلية عالية الاستطاعة الأمر الذي أدى إلى ارتفاع نسبة الاستهلاك للزبون المحدد.

تهدف الدراسة إلى مراقبة والنقاط حالات الشذوذ في استهلاك التيار الكهربائي بهدف النقاط حالات الاستهلاك غير الشرعي ضمن الشبكة الكهربائية باستخدام التعلم العميق. اتجهت الدراسة إلى استخدام نموذجين أساسيين من نماذج التعلم العميق وهما الشبكات

العصبونية الالتفافية (CNN (Conventional Neural Networks وشبكات النموذج التكراري (RNN (Recurrent Neural Networks حيث تم تصميم النظام من أجل التنبؤ بقيم الاستهلاك في مواقع متعددة في مدينة اللاذقية وفي حال ارتفاع حالة الاستهلاك عن الحد الطبيعي المسموح والمحدد للمنطقة، فإن النظام سيقوم بإعطاء إنذار عن هذه الحالة، وفي حال تكرار قيم الذروة تلك لعدة مرات، فإن النظام سيكون قادراً حتى على فصل التيار الكهربائي عن المنطقة.

سمحت الدراسة بتوضيح فعالية الشبكات العصبونية ونماذج التعلم العميق في كشف الحالات العشوائية - والتي تتمثل هنا بقيم ذروة قصوى واضحة للاستهلاك عن النموذج الطبيعي المعتاد- وذلك في الابنية أو الضواحي صغيرة الحجم. يسمح هذا النموذج أيضاً للمستخدمين بالتعرف على نماذج استهلاكهم الاسبوعية والشهرية والسنوية والتالي توجيههم إلى ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية.

الكلمات المفتاحية: التعلم العميق، كشف الشذوذ، تحليل السلاسل الزمنية.

Monitoring anomalies in electrical power networks to prevent cases of illegal drawing Using Bi-LSTM, CNN

Abstract

The demand for electrical energy is constantly increasing, as it is the main source for operating all the equipment that we use in our daily lives. This consumption of electricity may be used correctly or incorrectly causing illegal consumption of electrical power , so many studies tended to monitor energy consumption and try to discover any anomalies within the studied models and their frequency.

Many modern technologies tend to rationalize the consumption of electrical energy, which has caused the need to apply models of electrical rationing with the limit of protection and resource saving. This prompted many people to illegally extract electrical energy and operate many high-capacity household appliances, which led to a high consumption rate for the specified customer.

The study aims to monitor and capture cases of anomalies in the consumption of electric current in order to capture cases of illegal consumption within the electrical network using deep learning. The study tended to use two basic models of deep learning, which are the convolutional neural networks (CNN) and the iterative model networks (RNN) (Recurrent Neural Networks). The allowed natural limit specified for the area, the system will give an alarm about this case, and if those peak values are repeated for several times, the system will be able to even disconnect the electric current from the area.

The study allowed to clarify the effectiveness of neural networks and deep learning models in detecting random cases - which are represented here by clear peak values of consumption from the usual normal model - in small-sized buildings or suburbs. This form also allows users to identify their weekly, monthly and annual consumption patterns, thus directing them to the rationalization of electrical energy consumption.

Keywords: deep learning, anomaly detection, time series analysis.

1. مقدمة:

لا يمكن لأي منا أن ينكر أن الطاقة الكهربائية باتت تمثل محور الحياة وعمودها الفقري. وذلك نظراً لاعتماد أي شيء يخدمنا في منازلنا عليها. مع ازدياد التطور التقني والحاجة للمزيد من التجهيزات الكهربائية ارتفعت الحاجة إلى المزيد من المتطلبات من الطاقة الكهربائية.

تحتاج البنية السكنية والمواقع التجارية إلى القسم الأكبر من متطلبات الطاقة الكهربائية، إذ تتطلب البنية السكنية إلى نسبة لا تقل عن 40 بالمائة من إنتاج الطاقة الكهربائية تقريباً و 36 بالمائة من الطاقة للمنازل الخضراء بهدف توفير الانبعاثات الغازية. تعرف المنازل الخضراء على أنها تلك المنازل التي تعتمد على الطاقة النظيفة، أو الطاقة البديلة كطاقة الشمس والرياح من أجل تأمين تخفيض في استهلاك الوقود الأحفوري ومصادر أول أكسيد الكربون. كذلك، ومن هذه المتطلبات، فإننا بحاجة، على سبيل المثال إلى كميات كبيرة القدرة الكهربائية لتأمين للتدفئة، التبريد، وتسخين المياه. في حين تمثل المنازل السكنية المستهلك الأول للطاقة الكهربائية [1].

تمثل تلك المنازل السبب الرئيس الأول لانبعاثات غاز أول أكسيد الكربون. حيث يتم توفير الطاقة الكهربائية المطلوبة من خلال إحراق الفحم الحجري، الوقود، أو الغاز الطبيعي. ويسبب استخدام الكميات الإضافية من الوقود الأحفوري بزيادة انبعاثات أول أكسيد الكربون. الأمر الذي يتسبب بالمزيد من ظاهرة الاحتباس الحراري وبالتالي المزيد من التدهور في البيئة الطبيعية المحيطة. كل ذلك تسبب بظهور مصطلح ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية من أجل تخفيض هذه الانبعاثات. تم أخذ هذا الموضوع بعين الاعتبار في الجمهورية العربية السورية من خلال التعميم على استخدام الطاقة البديلة والتقليل من

كميات الوقود (الفيول) المطلوب من أجل توفير الطاقة الكهربائية وبالتالي التخفيض من انبعاثات أول أكسيد الكربون.

يرتبط الاستهلاك الكهربائي في المواقع السكنية والتجارية بصورة رئيسية بأنظمة التكييف وأنظمة الإضاءة، بالإضافة إلى بعض التطبيقات الرئيسية الأخرى. ومع ارتفاع مستويات المعيشة لدى الناس، ازدادت الحاجة إلى المتطلبات الكهربائية. على سبيل المثال، فقد ارتفع معدل الاستهلاك للطاقة الكهربائية في المنازل والأبنية السكنية في الصين من 118EJ في العام 2010 وحتى 130EJ في العام 2019 مع معدل نمو سنوي بقيمة 1% تقريباً. هذا التزايد في استهلاك الطاقة الكهربائية تسبب بزيادة مرافقة من كميات الوقود الاحفوري المستخدمة من أجل توليد تلك الطاقة الكهربائية حيث بلغت تلك الزيادة بمعدل نمو سنوي بلغ 0.7% منذ العام 2010 [2].

وبالتالي من الضروري أن يكون لدينا صورة عامة لفهم استهلاك الطاقة الكهربائية في المنازل من أجل تخفيض كميات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. من أجل تحقيق هذا الفهم، نحتاج بصورة رئيسية إلى توفير البيانات الكاملة عن استهلاك الطاقة الكهربائية في الموقع المحدد والتي يمكن الحصول عليها من خلال تركيب مجموعات من الحساسات في مواقع مختلفة من البنى السكنية، إلا أن هذه الطريقة تعاني من رفض المستخدمين لتركيب التجهيزات المختلفة والتي قد تهدد خصوصيتهم، فضلاً عن كونها ذات كلفة عالية، ولا تتيح للمراقبين بالوصول السهل والمبسط على البيانات التي نهدف إلى قراءتها وتحليلها.

تم الوصول إلى بناء المقاييس الذكية والتي تحتاج إلى عدد أقل من الحساسات قادرة على قراءة وتخزين بيانات الاستهلاك الكهربائي بفترات زمنية مختلفة (قد تصل إلى معدل ساعة أو أقل بين كل عینتين يتم قرائتها). بالإضافة إلى ذلك، تمتلك هذه المقاييس

القابلية للبرمجة بحيث يمكن برمجتها بأكثر من نمط نظام فوترة. يتم إرسال البيانات التي تم الحصول عليها من خلال شبكات الحساسات اللاسلكية إلى مواقع الإدارة والتي ستقوم بدورها بعمليات التحليل لبيانات الاستهلاك الكهربائي [3].

من أجل تأمين الفعالية في استخدام الطاقة الكهربائية ومنع الاسترجار غير الشرعي، يعتبر كشف الحالات الشاذة في نماذج استهلاك الطاقة الكهربائية مهمة عالية الأهمية، خصوصاً في حالات الاستهلاك المرتفع أو حالات ضياع الطاقة الكهربائية. وبالتالي فإن مراقبة حالات الشذوذ في استهلاك الطاقة الكهربائية لدى المستخدمين يسمح بإدارة وتحكم أكثر فعالية في مجال الطاقة الكهربائية [4,5].

تتعدد الأسباب التي تؤدي إلى الشذوذ في استهلاك الطاقة الكهربائية من قبل المستخدمين والزبائن. على سبيل المثال، ضرر الأجهزة، السلوك الاستهلاكي من قبل المستخدمين (عدم إطفاء التجهيزات بعد استخدامها أو الإعدادات الخاطئة لاستخدام التجهيزات)، حالات الاسترجار غير المشروع، وغيرها من الحالات التي قد تسبب المزيد من الشذوذ في سلوك الشبكة [6,7].

كنتيجة لما سبق، يمكن للمستخدمين مراقبة أداء التجهيزات المتواجدة لديهم في المنازل بالإضافة إلى اعتيادهم على سلوك جيد في استهلاك الطاقة المتوفرة. يشار إلى العمليات التي يتم ضمنها كشف الحالات غير الطبيعية أثناء استهلاك الطاقة الكهربائية بكشف الشذوذ. ويمكن أن تستخدم هذه الطريقة من أجل تحذير المستخدمين على ارتفاع معدلات استهلاكهم للطاقة الكهربائية ولمستويات عالية [8]. يمكن تقسيم طرق كشف الشذوذ في نماذج استهلاك الطاقة الكهربائية إلى الطرق المعتمدة على المسافة distance-based methods والطرق المعتمدة على الكثافة density-based methods وطرق تخفيض

الأبعاد dimensionality-reduction based والطرق القائمة على أنظمة التعلم العميق deep-learning based methods.

من ضمن الطرق القائمة على المسافة، تعتبر تقنية الجار الأقرب K-Nearest Neighbor(KNN) إحدى الطرق الأكثر فعالية واستخداماً حيث تقوم هذه الطريقة بحساب المسافة الاقليدية فيما بين كل نقطة محددة من النقاط الشاذة في العينات مع K نقطة من النقاط المجاورة وبالتالي حساب المسافة من أجل كشف الشذوذ في استهلاك الطاقة [9,10]. تعتبر هذه الطريقة من الطرق الفعالة في العديد من الحالات ويمكن رفع أدائها وفعاليتها عن توفر بيانات أولية (أو ماتسمى ببيانات التدريب وهي بيانات سابقة متوفرة لدينا) حول فترة الشذوذ وعدد حالات الشذوذ.

يتم كشف كثافة نموذج الاستهلاك بين مستهلك محدد وجواره في طريقة الكشف القائمة على الكثافة. ومن خلال هذه النماذج يتم الاعتماد على معيار قطاع الكثافة المحلي local density cluster-based outlier factor (LDCOF) والذي يسمح لنا بحساب حالات الشذوذ المختلفة. قام الباحثون في [11,12] باستخدام طريقة العنقدة المكانية density based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) من أجل كشف حالات الشذوذ في استهلاك القدرة في المواقع التي تعتمد على توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الرياح، تعاني هذه الطريقة من عدم قدرتها على أخذ الارتباط الزمني بعين الاعتبار وبالتالي عدم مناسبتها لبيانات السلاسل الزمنية المتغيرة.

تستخدم الطرق التي تعتمد على تخفيض الأبعاد dimensionality reduction في عمليات التصنيف والتي تقوم بإزالة نماذج الطاقة العرضية والحالات التكرارية مما يسمح بتخفيض الكلفة الحسابية لها [13]. يعتبر تحليل المكونات الرئيسية Principal

component analysis(PCA) نظام تحليل بيانات متعدد المتغيرات والذي يقوم بتخفيض الروابط بين البيانات المدروسة إلى أقل قدر ممكن وبالتالي تخفيض الأبعاد لحجم كبير من البيانات [14]. بكافة الأحوال، لا يمكن استخدام هذه الطريقة إلا في نماذج البيانات ذات الترابط العالي بالإضافة إلى ضرورة التوزع الغوسي للبيانات متعددة المتغيرات [15].

ازداد استخدام الطرق القائمة على نماذج التعلم العميق في السنوات الأخيرة من أجل كشف حالات الشذوذ في استهلاك القدرة الكهربائية ذات طابع السلاسل الزمنية [16]. في البدء، اثبتت الشبكات العصبونية الالتفافية convolutional neural networks (CNN's) فعاليتها في العديد من التطبيقات البحثية بالإضافة إلى تفوقها في كشف حالات الشذوذ في استهلاك الطاقة الكهربائية عبر السلاسل الزمنية مقارنة مع الشبكات العصبونية التقليدية artificial neural network (ANN) . على سبيل المثال، وفي الدراسة [17] قدم ائلباحثون طريقة جديدة لكشف الشذوذ في استهلاك القدرة الكهربائية FuseAD والتي تستخدم البرمجية الاحصائية autoregressive (ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average Model) بالإضافة للشبكات العصبونية الالتفافية CNN من أجل دمجها معاً بطريقة فعالة. بينت النتائج أن طريقة الدمج هذه تسمح بالوصول إلى النتائج بصورة أفضل من الطرق منفردة إذ تقوم بالحصول على قوة الطريقتين بالإضافة إلى تجنب جوانب ضعفها. بالإضافة لذلك، يمكن لشبكات CNN العميقة تمييز حالات الاسترجار غير الشرعي ضمن الشروط غير اللحظية بالإضافة إلى مراقبة النموذج اللحظي لاستهلاك القدرة الكهربائية اعتماداً على نموذج بيانات استهلاك ثنائي البعد. وبالتالي بات بالإمكان الرفع من دقة النظام عند اكتشاف حالات الاسترجار غير الشرعي [18]. بين الباحثون في [19] طريقة استخدام الشبكات الالتفافية من أجل استخلاص السمات ومن ثم استخدام الغابات العشوائية لاكتشاف حالات الاسترجار غير

الشرعي مما يساعد في عمليات كشف مشاكل الطاقة غير المناسبة والاستهلاك غير المنتظم للقدرة الكهربائية، وصلت هذه الطريقة إلى دقة 98% عند استخدام CNN-SVM و 99% عند استخدام CNN-RF.

من ناحية أخرى، وضح الاعتماد على الشبكات العصبونية التكرارية Recurrent Neural Networks (RNN) الأداء الممتاز لهذه الشبكات في التنبؤ بالسلاسل الزمنية، وفي الخصوص تميز استخدام شبكات LSTM (Long Short-Term Memory). تم تبيان ذلك بصورة واضحة في الدراسة المقدمة من قبل الباحثين في [20] حيث تم استخدام خوارزميات التعلم العميق من أجل إزالة الحالات الفصلية من البيانات من أجل كشف أفضل لحالات الشذوذ مما يسمح بتقليل التأثير الذي تسببت به الأخطاء التي لم يتم التقاطها خلال العمل اليومي، اعتمدت هذه الطريقة على استخدام خوارزمية ARIMA التي تقوم بوضع إشارات على البيانات التي تتجاوز أو تنخفض عن مجال محدد، مع الدمج مع شبكات LSTM حيث بلغت دقة التنبؤ باستخدام هذا الدمج بين الطريقتين 92%. في حين وضح الباحث في [21] نموذجاً للتنبؤ باستهلاك القدرة الكهربائية وكشف الشذوذ اعتماداً على شبكات LSTM العصبونية والتي تعتمد على التسلسل الفصلي والشهري للبيانات مما يسمح بفعالية أعلى لكشف حالات الاستمرار غير الشرعي للطاقة الكهربائية، بينت الطريقة أن التركيز على نموذج البيانات وكيفية توزيعها يلعب دوراً هاماً في الحصول على دقة التنبؤ والتي بلغت 99% وفقاً لهذه الطريقة. قام الباحثون في [22] بالتنبؤ باستهلاك القدرة في النظام باستخدام تحليل النمط pattern decomposition اعتماداً على شبكات LSTM وتم اكتشاف طاقة النظام الشاذة اعتماداً على اختبار Grubbs من خلال كشف الفارق بين القيم الفعلية والقيم المنتبأ بها مما سمح بتخفيض كبير لضیاعات القدرة الكهربائية في النظام المدروس. عانت هذه الطريقة من اضطراب

الخرج مع حدوث أي تغيير على بيانات الدخل حيث وضح الباحثون أن الدقة تراوحت ما بين 96% و 99.45%.

في [23]، قام الباحث باستخدام نموذج يعتمد على الدمج بين one OC-SVM (one class-support vector machine و SVDD (support vector data description) اعتماداً على النموذج القياسي لشبكات LSTM مع صيغ محسنة للوصول إلى كشف أعلى لحالات الشذوذ، وبحالة خاصة من أجل البيانات ذات طابع السلاسل الزمنية، مع القدرة على التعامل مع نماذج سلاسل بيانات ذات أطوال مختلفة.

في [24] قام الباحثون باستخدام عدة خوارزميات من أجل التنبؤ اللحظي بالدقائق والتنبؤ بالساعات لاسترجار القدرة الكهربائية، حيث اعتمدت الدراسة على أربعة خوارزميات وهي Linear Regression, LSTM, CNN-LSTM, EECF-CBL حيث بينت النتائج أهمية استخدام نماذج الشبكات العصبية من أجل الحصول على الدقة الأعلى. وصلت الدراسة إلى قيم $MAE=0.526$ و $MAPE=44.37$ بزمن تدريب قدره 2281.5 ثانية في حال استخدام LSTM و قيم $MAE=0.332$ و $MAPE=32.83$ بزمن تدريب قدره 820.7 ثانية في حال استخدام CNN-LSTM.

في حالة نظم تعلم الآلة التي والتي لا تعتمد بصورة رئيسية على تعدد المتحولات، سنكون بحاجة إلى توفر معلومات مسبقة عن حالة عمل النظام وطرق الاستهلاك المعتمدة ضمنه، كما يجب أن تتبع هذه البيانات نموذج التوزع الطبيعي (أو التوزع الغاوسي) بحيث يمكن الوصول إلى نماذج ذات فعالية عالية من خلال الدمج بين شبكات (Bidirectional Long Short Term Memory) CNN,Bi-LSTM . يمكن للشبكات الالتفافية CNN أن تستخلص سمات ذات درجة أعلى من بيانات الدخل. في حين تتمثل الميزة الرئيسية لشبكات Bi-LSTM بقدرتها على الحصول على المعلومات

السياقية لبيانات السلاسل الزمنية مقارنة مع الشبكات من نمط LSTM التقليدية، حيث تقوم هذه الشبكات بدمج البيانات في كلا الاتجاهين الأمني والخلفي. بالإضافة إلى ذلك، تميزت تقنيات الملاحظة attention mechanisms بنجاحها في مجال ترجمة الآلة وتوليد توصيف الصور. نقوم باستخدام هذه الطريقة من أجل إسناد قيم أوزان مختلفة إلى عدة وحدات خفية في الشبكة العصبونية وبالتالي ستقوم هذه الطبقة الخفية بالتركيز على البيانات المفتاحية ضمن بيانات تسلسل الدخل.

تعتمد الطريقة المقترحة على استخدام شبكات CNN, Bi-LSTM بالإضافة إلى خوارزميات attention mechanism إلى النموذج التنبؤي لتقليل البيانات الوصفية لبيانات استهلاك القدرة الكهربائية عالية الأبعاد وتأثير أبعاد السمات المختلفة على نتائج التنبؤ ومن ثم استخدام معايير الاختبار من أجل تقييم النموذج المصمم.

يمكن لهذه الطريقة أن تحدد سلوك الاستهلاك الشاذ. تتضمن البيانات التطبيقية بيانات الاستهلاك الكهربائي بالإضافة إلى العديد من المحددات المحيطة والتي يمكن لها أن تؤثر على استهلاك الطاقة الكهربائية. الهدف الرئيس هنا هو معرفة المستهلك ذو الاستهلاك غير الطبيعي في الوقت الحقيقي اعتماداً على بيانات الاستهلاك الكهربائي متعددة الأبعاد. لذلك، تمثل نتائج هذا البحث أهمية ضرورية ومرتفعة في نظم إدارة الطاقة والتي تعتمد عليها منظومات انترنت الأشياء.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى بناء نموذج من أجل تحليل نماذج استهلاك الطاقة الكهربائية والتنبؤ بالقيم المستقبلية لهذا الاستهلاك بالإضافة إلى كشف حالات الاسترجار غير الشرعي. بعد بناء النموذج المقترح، فإن النظام يمر بمرحلتين رئيسيتين: الأولى: مرحلة التنبؤ، حيث يتم التنبؤ بالاستهلاك في اللحظة التالية اعتماداً على اللحظة السابقة من البيانات

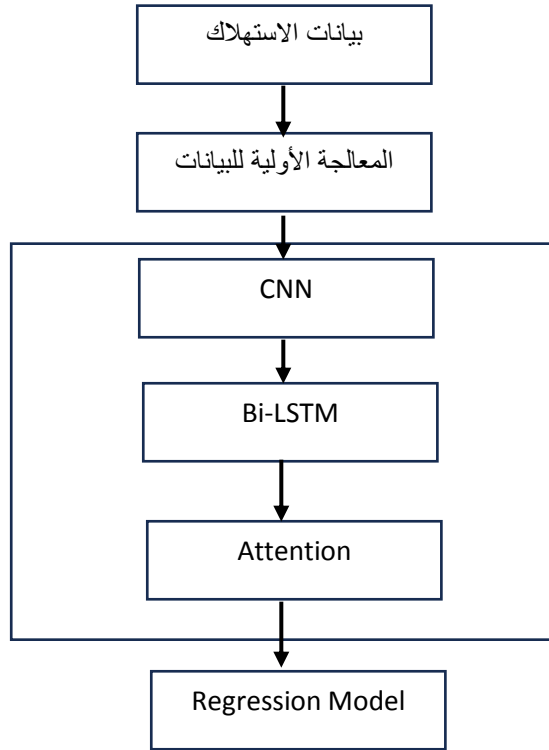
التي تم الحصول عليها في الزمن الحقيقي. في حين تتضمن المرحلة الثانية مرحلة كشف نموذج الشذوذ حيث يتم مقارنة النتائج المتنبأ بها مع القيم الحقيقية الموجودة لدينا ومن ثم حساب خطأ التنبؤ ومن ثم تحديد الاستهلاك غير الشرعي عندما يتجاوز هذا الاستهلاك نسبة الانحراف المعياري المسموحة. سيكون النظام قادراً على تحديد حالات الاستهلاك غير الطبيعي من قبل المستخدمين، بالإضافة إلى قدرته على الكشف الفوري لحالات الاسترجار غير الشرعي وبناء توصيف كامل من قبل الإدارة لسلوك المستخدمين اليومي وبالتالي تحديد قيمة التغذية الضرورية المطلوبة، كما تسمح للمستخدمين بتحديد الاستهلاك وبالتالي الكلفة التي يقومون بدفعها وبالتالي التوجه إلى تخفيض الاستهلاك والضيعات في القدرة الكهربائية.

3. مواد وطرق البحث:

يعتمد البحث المقترح على بيئة Python البرمجية واستخدام مكتبة Keras للتعلم العميق والتي تعمل على بيئة [25] Google tensorflow framework. يوضح الشكل (1) مخطط النظام المقترح.

يتضمن النظام نموذج تنبؤي يستخدم بيانات متعددة الأبعاد (السمات) لاستهلاك الطاقة الكهربائية لمجموعة من المباني السكنية عددها 144 بناءً بفارق زمني حسابي لاستهلاك القدرة مقداره عشر دقائق بين قرائتين متتاليتين وذلك للتنبؤ بالاستهلاك الكهربائي في اللحظة التالية. ومن ثم تم تقييم أداء النظام اعتماداً على معيار MAPE (Mean Absolute Percentage Error) و خطأ MAE (Mean Absolute Error) وبالتالي الحصول على دقة النظام الكلية. تم الحصول على بيانات الاستهلاك للقدرة الكهربائية من موقع Kaggle حيث تم تجميع بيانات الاستهلاك في ضاحية سكنية باستخدام مجموعة من الحسابات الرقمية تقوم بالتسجيل الدائم لقيم الاستهلاك. تساعد الحسابات الرقمية على الحصول على بيانات دقيقة لكل من استهلاك التيار والاستطاعة وتحديد تغيرات الجهد وإمكانية تعرضه للهبوط في فترات محددة.

يمكن بعد ذلك تحديد سلوك استهلاك القدرة من خلال مراقبة الفارق بين الاستهلاك الحقيقي والاستهلاك المتوقع به وإذا كان أعلى من ثلاثة أضعاف الانحراف المعياري للاستهلاك الطبيعي ولفترة مقدرة ب 144 دورة زمنية عندها يعتبر الاستمرار غير شرعي والفترات القادمة المقابلة لها في التنبؤ تحدد على أنها حالة استهلاك غير شرعي.



الشكل (1) مخطط نموذج مراقبة حالات الاستمرار غير الشرعي للطاقة الكهربائية

بعد جمع البيانات، ستتم عملية المعالجة الأولية لهذه البيانات والتي تتضمن عملية حذف البيانات الصفرية والتي يمكن أن تنتج عن خطأ محتمل بقراءة الحساسات (إذا لا يمكن أن يكون الاستهلاك صفري). ومن ثم سيتم تعديل البيانات لكي تأخذ شكل التوزيع الغوسي الطبيعي المناسب لعمليات التصنيف وشبكات الذكاء الاصطناعي.

يلي ذلك استخدام نموذج شبكات CNN، يهدف هذا النموذج إلى إيجاد السمات الأساسية والطابع العام للاستهلاك وتحديد القيم الحدية الدنيا والقصى حيث يعطي قيمة خرج لكل مجموعة من بيانات الدخل - قيم الدخل ستكون البيانات المحددة لكل عشر دقائق بصورة متسلسلة - حيث تقوم هذه الشبكة بإخراج مجموعة بيانات طابع الاستهلاك خلال الزمن.

تم بعد ذلك تمرير خرج شبكة CNN إلى شبكة تكرارية RNN من النمط Bi-LSTM. بما أن البيانات تأخذ شكل التسلسل الزمني فإن هذه الشبكات قادرة على التنبؤ بالقيم اللاحقة اعتماداً على البيانات السابقة. تم استخدام النموذج ثنائي الاتجاه لهذه الشبكات من أجل تأمين التغذية الخلفية وتخفيض قيمة الخطأ إلى أقل قدر ممكن. من ثم تم تمرير الخرج إلى شبكة من نمط Attention حيث تقوم هذه الشبكة بالتعديل على قيم عصبوناتها وضبطها من أجل كشف والتقاط قيم الشذوذ في الاستهلاك الزمني. ليتم في النهاية تمرير الخرج النهائي إلى نموذج انحداري قادر على تحديد القيم المحتملة زمنياً للشذوذ في استهلاك القدرة الكهربائية.

4. الطبقات الالتفافية والشبكات العصبونية:

تعتبر الشبكات العصبونية ذات الطبقات الالتفافية نماذج من الشبكات العصبونية ذات القدرة العالية على التعلم بالإضافة إلى قدرتها على استخلاص السمات ذات المراتب الأعلى من بيانات الدخل المتاحة. تتضمن الطبقة الملتفة العديد من مرشحات استخلاص السمات والتي يتم استخدامها من أجل حساب خرائط سمات مختلفة.

تتألف هذه الشبكات من مجموعة من العصبونات والتي تتصل ببعضها البعض وفقاً لروابط محددة وفقاً لما هو مطلوب من الشبكة العصبونية أن تقوم به، ومن ثم يتم الحصول على النتيجة الالتفافية من خلال جمع سمات الدخل عن طريق الجداء المصفوفي لعناصر المصفوفات واستخلاص معدلات الانحراف.

تعتمد هذ الشبكات على تابع التفعيل من نمط ReLU والذي يتم تطبيقه على خرج الطبقة الالتفافية. يتم حساب خرج الطبقة الالتفافية من خلال العلاقة الرياضية التالية:

$$y_{conv}(X_l^{f1}) = \delta \left(\sum_{fl=1}^{Fl} W_l^{f1} * X_l^{f1} + b_l^{f1} \right) \quad (1)$$

حيث تمثل δ تابع التفعيل و $*$ العملية الالتفافية ، في حين تمثل X_l^{f1} دخل مرشح السمات ذو الدليل f . يمثل الوزن والأنحياز لتلك الطبقة بالقيم W_l^{f1} و b_l^{f1} وهي المحددات القابلة للتعميم ضمن الشبكة.

1.4 طبقة Dropout:

تعاني الشبكات العصبونية من مشكلة رئيسية وهي مشكلة ارتفاع معدل الضبط overfitting والتي تحدث عند امتلاك بيانات الدخل للعديد من البارامترات التي يمكن التحكم بها. تحدث هذه المشكلة على مجال واسع في مجال التعلم العميق. بسبب الدقة العالية الناتجة في عملية التنبؤ من بيانات التدريب والدقة المنخفضة التي تسببها الشبكة على بيانات الاختبار، فإن الهدف الرئيسي من طبقة dropout هو الحفاظ على عمل العصبونات خلال عملية التدريب ضمن احتمالية p وبالتالي التوقف عن العمل خلال الفترة $1 - p$. بالإضافة إلى ذلك فإن كل عملية تمرير أمامي تعمل على عصبونات مختلفة وبالتالي يصبح النموذج المدروس أقل اعتماداً على سمات محلية محددة وبالتالي أداء معمم أكثر فعالية من أجل تدريب الشبكة المقترحة.

خلال مرحلة الاختبار، يتم جداء كل محدد بالقيمة p لضمان الحصول على نفس الخرج المتوقع.

5. شبكات Bi-LSTM:

تفترض الشبكات العصبونية التقليدية ذات التغذية الأمامية أن البيانات مستقلة عن الزمن. هذا الافتراض في الواقع، غير صحيح بالنسبة للبيانات ذات السلاسل الزمنية المستمرة. ولذلك، من أجل البيانات التي تتمتع بالتسلسل الزمني يفضل استخدام الشبكات العصبونية ذات النمط التكراري (Recurrent Neural Networks) RNN والتي تمثل ذلك النموذج من الشبكات العصبونية التي تقوم بقبول تسلسل من البيانات كدخل ومن ثم تحقيق عوديتها باتجاه التطور الزمني لهذه السلسلة.

تتصل جميع العقد في هذه السلاسل بصورة متسلسلة، إلا أن بعض نماذج هذه السلاسل تتعرض لحالة تلاشي التدرج ولذلك نستخدم نمط من نوع الذاكرة طويلة -قصيرة الأمد لحل هذه المشكلة. تتألف الشبكات التكرارية في بنيتها العامة من دخل x_t في اللحظة t وحالة خلية ct والحالة المؤقتة للخلية \tilde{ct} والحالة الخفية ht بالإضافة إلى بوابة النسيان ft وبوابة الذاكرة it ، بالإضافة إلى بوابة الخرج ot .

يتلخص عمل هذه الشبكة الحسابي بصورة رئيسية بنسيان المعلومات الموجودة في حالة الخلية وتذكر المعلومات الجديدة بحيث يتم تمرير المعلومات المهمة للعمليات الحسابية في فترات محددة وتجاهل المعلومات الأقل أهمية. تقوم الحالة الخفية بإخراج البيانات في كل لحظة زمنية محددة، في حين تقوم بوابة النسيان ft بالتحكم بالنسيان والذاكرة والخرج على العموم.

يتم حساب بيانات بوابة الذاكرة it وبوابة الخرج ot من الحالة h_{t-1} السابقة والدخل الحالي x_t . يتم حساب البيانات الخاصة بالشبكة من العلاقات:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (3)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C) \quad (4)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad (5)$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (6)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (7)$$

تمثل القيم it, ft, ot, ct, ht في المعادلات السابقة برابات الدخل، النسيان، الخرج، التخزين، والحالة الخفية. وتمثل * عمليات الجداء فيما بينها. في حين تمثل W الأوزان التي يجب على الشبكة أن تتعلمها والتي يتم مشاركتها فيما بين جميع اللحظات الزمنية.

يمكن لشبكات LSTM أن تقوم بالتقاط حالات استقلال البيانات عبر فترات أطول، إلا أنها غير قادرة على مكاملة المعلومات اللحظية حول القيم المستقبلية وبالتالي يتم اختيار شبكات Bi-LSTM ثنائية الاتجاه لحل هذه المشكلة. تتضمن شبكات Bi-LSTM شبكتي LSTM إحداهما أمامية والأخرى خلفية حيث يتم تزويد تسلسل الدخل إلى كلا الشبكتين بمسار أمامي وخلفي من أجل استخلاص السمات ويتم دمج شعاعي الخرج الناتجين من أجل تمثيل السمات المستقبلية النهائي. تسمح هذه الشبكات بالحصول على السمات بلحظة ما t بين الماضي والمستقبل بنفس الوقت.

6. آلية الملاحظة Attention:

تسمح هذه الآلية بالحصول على البيانات بصورة أفضل حول كامل التسلسل مع التركيز بصورة انتقائية على حالة الأشعة المتصلة. يقوم نموذج الملاحظة بأخذ خرج شبكة Bi-LSTM كدخل ومن ثم إضافة وزن ما α_{ts} في كل لحظة حيث يتم حسابها اعتماداً على درجة التشابه بين حالة الشعاع الحالي ht وجميع حالات الأشعة $h_t = (h_1, h_2, \dots, h_s)$ ومن ثم اخراج تسلسل من الأشعة السياقية ct من نفس الطول [27]. يتم حساب هذه الأشعة اعتماداً على العلاقة:

$$\alpha_{ts} = \frac{\exp(\text{score}(h_t, \bar{h}_s))}{\sum_{s'=1}^S \exp(\text{score}(h_t, \bar{h}_{s'}))} \quad (9)$$

$$c_t = \sum_s \alpha_{ts} \bar{h}_s \quad (10)$$

حيث تمثل α_{ts} الوزن في كل لحظة زمنية، و c_t سلسلة من الأشعة السياقية، h_t حالة الشعاع الحالية و \bar{h} حالات جميع الأشعة.

7. طبقات التسطيح والطبقات الكثيفة Flatten , Dense Layers:

تقوم طبقة التسطيح Flatten من أجل تسطيح الدخل، أي تحويل شعاع الدخل متعدد الأبعاد إلى شعاع أحادي البعد من أجل تمريره إلى الطبقة كاملة الارتباط حيث لا يؤثر على حجم القطاع batch. وفي النهاية، تقوم الطبقة كاملة الارتباط باستخدام تابع تفعيل من نمط Sigmoid بنتيجة خرج ذات بعد واحد.

8. كشف حالات الشذوذ:

نقوم بعمليات تقييم استهلاك القدرة الكهربائية عن طريق استخدام الانحراف المعياري. نقوم بتحديد العتبة إلى قيمة 3σ فوق القيمة المنتبأ بها وهي القيمة التي تسمح في مجال الانحراف المعياري بتضمين 99% من كامل مجال البيانات المدروسة والمحيطة بالنقطة الشاذة والتي ستمثل مركز الانحراف المعياري، حيث تمثل σ الانحراف المعياري لاستهلاك الطاقة الكهربائية في اللحظة قبل اللحظة الحالية [28]. وبالتالي فإن أي قيمة أعلى من العتبة من القيم المنتبأ بها ستمثل حالة شاذة وغير طبيعية في اللحظة الحالية. يتم حساب كل من قيم الانحراف والخرج اعتماداً على العلاقات التالية:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (11)$$

$$Y_{threshold} = \bar{Y} + 3\sigma \quad (12)$$

حيث يمثل σ قيمة الانحراف المعياري، $Y_{threshold}$ قيمة العتبة، \bar{Y} القيمة المتنبأ بها. x_i قيمة الاستهلاك الكهربائي و \bar{x} متوسط استهلاك القدرة الكهربائية. وتمثل n عدد العينات.

9. النتائج:

1.9. مجموعة البيانات والمعالجة الأولية [26]:

في هذه الدراسة تم استخدام مجموعة البيانات في UCI (University of California, Irvine, CA, USA) والتي تخزن كميات استهلاك الطاقة الكهربائية [26]. تتضمن هذه البيانات تسجيل استهلاك الطاقة من الساعة الخامسة ظهراً بتاريخ 11 كانون الثاني 2016 وحتى الساعة السادسة مساءً بتاريخ 27 أيار 2016. الفارق الزمني بين القراءات كان 10 دقائق، وعدد العينات الكلي كان 19735 عينة. تم ضبط ظروف الحرارة والرطوبة في المواقع باستخدام بروتوكول Zigbee لمجموعة من شبكات الحساسات اللاسلكية. كل عقدة من عقد هذه الحساسات تقوم بإرسال ظروف الحرارة والرطوبة ولمدة 3.3 دقيقة. تفيد هذه الحساسات بربط الظروف الجوية المحيطة في الموقع المحدد مع قيمة الاستهلاك الكهربائي وبالتالي إضافة المزيد من السمات من أجل رفع دقة النموذج المقترح.

تم تحميل بيانات الطقس المتاحة وهي بيانات محطة مطار شيفرز في بلجيكا Chievres Airport,Belgium ومن ثم تم دمجها مع مجموعات البيانات الموجودة لدينا. حيث اشتركت البيانات بمحدد التاريخ والوقت. تم إضافة متحولين عشوائيين في مجموعة البيانات من أجل اختبار نماذج الانحدار الخطي وترشيح مجموعة المحددات غير القابلة للتنبؤ. تم الدمج مع بيانات الطقس لإضافة المزيد من السمات والتي تتضمن سرعة الرياح، معدل الأمطار، حالة الجو (غائم أو صحو) ، وغيرها من العوامل التي قد تؤثر في عملية استهلاك القدرة الكهربائية.

تم اختيار ثمانية سمات رئيسية من أجل عمليات المعالجة الأولية، هذه السمات هي: استخدام الطاقة، الطاقة المستخدمة في الإضاءة العامة، الحرارة، الضغط، الرطوبة، سرعة الرياح، مجال الرؤية، ونقطة التجمد. تم تجميع هذه البيانات إلى نمط RAW DATA.

تم تقسيم البيانات إلى مجموعة اختبار بحجم 80 بالمئة ومجموعة تدريب بحجم 20 بالمئة حيث سمح هذا التقسيم بجعل قيم MAE,MAPE أصغر. بعد ذلك تم إعادة تطبيع البيانات normalization وتحويل أنماط البيانات إلى نفس الخصائص مما يسمح برفع سرعة وفعالية النموذج المدروس. تمت عملية الضبط من خلال مركزة البيانات حول القيمة الدنيا في مجموعة البيانات ومن ثم ضبطها جميعاً ضمن المجال المحدد بالفارق بين القيمة العظمى والقيمة الصغرى حيث تم ضبط مجال البيانات بين الصفر والواحد. كما تم اختيار عرض النافذة بمقدار $k=144$ وهذا يعني أننا نحتاج إلى 144 لحظة زمنية من أجل توليد العينة. في حين يوضح طول العينة $S=1$ بأن النافذة تتحرك بمقدار إزاحة واحدة من أجل توليد العينة.

من أجل تحديد البنى التصميمية للشبكات المستخدمة فقد تم اختيار حجم القطاع Batch Size = 64، ولضمان العمل مع بيانات استهلاك القدرة الكهربائية عالية المستوى في

هذه التجربة فقد تم اختيار Adam optimizer والذي يقوم بالعمل بفعالية أكبر وبسرعة عالية بالإضافة لاستقرار الخرج أيضاً. معدل التعليم كان 0.01، تضمنت شبكة CNN مامجموعه 128 وحدة وشبكة Bi-LSTM أيضاً نفس العدد من الوحدات (128) ولكنها مقسمة إلى 64 وحدة للشبكة الأمامية و64 للشبكة الخلفية.

قد نعاني في الحالات التطبيقية من عدم قيام الحساسات بالنقاط البيانات في فترات زمنية محددة، ولحل هذه المشكلة، ولضمان عدم وجود أسطر ذات بيانات صفرية قد تؤثر على دقة عملية التدريب في الخرج، يمكن استبدال القيم الصفرية بمتوسط القيم المجاورة ضمن مجال محدد. تعتمد الشبكات العصبونية على حجم مجموعة التدريب بصورة رئيسية وبالتالي كلما ازداد حجم المجموعة، سوف تزداد دقة دراسة سلوك المستهلك بصورة أفضل، إلا أن ذلك يؤدي بالضرورة إلى رفع الزمن المطلوب للقيام بعملية التدريب. يوضح الجدول (1) أداء النموذج مع معدلات تقسيم مختلفة لقاعدة البيانات اعتماداً على شبكة عصبية ذات عدد وحدات 64 وعدد دورات 20.

الجدول (1) أداء النموذج مع معدلات تقسيم مختلفة لقاعدة البيانات اعتماداً على شبكة عصبية ذات عدد وحدات 64 وعدد دورات 20.

معدل تقسيم البيانات (تدريب- اختبار)	MAE	MAPE	زمن التدريب
9:1	25.40	18.83%	2250s
8:2	23.10	18.55%	2008s
7:3	24.59	21.77%	1697s
6:4	28.22	22.08%	1474s

مراقبة الشذوذ في شبكات الطاقة الكهربائية لمنع حالات الاستمرار غير الشرعي باستخدام
Bi-LSTM,CNN

في حين يوضح الجدول رقم 2 نفس معايير الاداء مع عدد دورات يساوي عشر دورات:

الجدول (2) أداء النموذج مع معدلات تقسيم مختلفة لقاعدة البيانات اعتماداً على شبكة عصبية ذات عدد وحدات 64 وعدد دورات 10.

معدل تقسيم البيانات (تدريب- اختبار)	MAE	MAPE	زمن التدريب
9:1	25.08	19.40%	1234s
8:2	24.55	19.93%	1048s
7:3	25.25	20.55%	991s
6:4	25.89	20.56%	815s

يوضح الجدول رقم 3 معايير التقييم لشبكة مؤلفة من 128 عنصر وعدد دورات مساوٍ
:20

الجدول (3) أداء النموذج مع معدلات تقسيم مختلفة لقاعدة البيانات اعتماداً على شبكة عصبية ذات عدد وحدات 128 وعدد دورات 20.

معدل تقسيم البيانات (تدريب- اختبار)	MAE	MAPE	زمن التدريب
9:1	27.42	19.83%	4680s
8:2	24.64	19.66%	3915s
7:3	27.34	21.63%	3930s
6:4	28.75	21.35%	3391s

نفس النموذج السابق مع عدد دورات مساوية 10:

الجدول (4) أداء النموذج مع معدلات تقسيم مختلفة لقاعدة البيانات اعتماداً على شبكة عصبية ذات عدد وحدات 128 وعدد دورات 10.

معدل تقسيم البيانات (تدريب- اختبار)	MAE	MAPE	زمن التدريب
9:1	28.31	23.63%	2610s
8:2	26.23	24.02%	2310s
7:3	25.88	22.61%	2009s
6:4	30.37	23.25%	1711s

الجدول (5) أداء النموذج مع معدلات تقسيم مختلفة لقاعدة البيانات اعتماداً على شبكة عصبية ذات عدد وحدات 32 وعدد دورات 20.

معدل تقسيم البيانات (تدريب- اختبار)	MAE	MAPE	زمن التدريب
9:1	26.62	21.01%	1713s
8:2	23.99	18.77%	1413s
7:3	23.91	19.63%	1298s
6:4	26.67	20.90%	1098s

مراقبة الشذوذ في شبكات الطاقة الكهربائية لمنع حالات الاستمرار غير الشرعي باستخدام
Bi-LSTM,CNN

الجدول (6) أداء النموذج مع معدلات تقسيم مختلفة لقاعدة البيانات اعتماداً على شبكة عصبية ذات عدد وحدات 32 وعدد دورات 10.

معدل تقسيم البيانات (تدريب- اختبار)	MAE	MAPE	زمن التدريب
9:1	28.22	20.56%	748s
8:2	24.19	20.35%	749s
7:3	24.71	20.65%	690s
6:4	26.52	22.77%	579s

بينت الدراسة الاداء الافضل لاستخدام شبكات CNN,Bi-LSTM and attention مقارنة مع CNN,LSTM كما هو موضح في الجدول (7) ، حيث انخفض معدل MAE من 28.31 في الحالة الأولى إلى 23.1 في الحالة الثانية. كما انخفض خطأ MAPE من 22.23% في الحالة الأولى إلى 18.55% في الحالة الثانية. وهي قيم أفضل من القيم الناتجة في الدراسات السابقة [24][23] كما أن زمن التدريب والاختبار كان قريباً من المحددات الزمنية في تلك الدراسات.

كذلك أوضحت الطريقة أهمية استخدام تقنية الانتباه Attention والتي أدت إلى انخفاض نسبة الخطأ بصورة كبيرة مقارنة مع الطريقة التقليدية كما يوضح الجدول (7):

الجدول (7) أهمية استخدام تقنية الانتباه Attention والتي أدت إلى انخفاض نسبة الخطأ بصورة كبيرة مقارنة مع الطريقة التقليدية

النموذج المستخدم	MAE	MAPE
CNN , Bi-LSTM	28.31	22.23%
Bi-LSTM with attention	26.22	20.49%
CNN, Bi-LSTM and attention	23.10	18.55%

يوضح الشكلين (2) و (3) أمثلة عن طابع الاستهلاك للطاقة الكهربائية والتي تم التنبؤ بها حيث نلاحظ ملاحقة نماذج الاستجابة والتنبؤ لقيم الاستهلاك الشاذة. كما أن نموذج التنبؤ الناتج يلاحق بصورة دقيقة نموذج الاستهلاك الخاص بالمستخدم على فترات طويلة ولا يتجاوز قيمة العتبة وبالتالي يحدد نموذج وفترات الاستهلاك الطبيعية للطاقة الكهربائية.

كما يوضح الشكل (4) منحنيات تسلسل الخرج لمجموعة من حالات الاسترجار غير الشرعي للطاقة الكهربائية وكما نلاحظ فإن النموذج المدرب قد تمكن من ملاحقة وتحديد حالات الاستهلاك غير الشرعي ذات القيم العظمى اعتماداً على بيانات التدريب السابقة، كما أن النموذج قد تمكن من التمييز بنجاح بين حالات الاستهلاك الطبيعي وحالات الاستهلاك غير الطبيعي.

تمكنت الشبكة العصبونية المقترحة من التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية وتحديد سلوك المستخدمين اعتماداً على البيانات العامة للشبكة العصبونية ومن دون الحاجة إلى أي معرفة مسبقة وذلك في الزمن الحقيقي. في حين اعتمدت العديد من التقنيات الأخرى على

مراقبة الشذوذ في شبكات الطاقة الكهربائية لمنع حالات الاسترجار غير الشرعي باستخدام
Bi-LSTM,CNN

شبكات من نمط LSTM، تمكن الدمج بين شبكات CNN, Bi-LSTM ومع الاعتماد على تقنية Attention Mechanisme حيث تتمكن الطريقة من الحصول على البيانات المترابطة للسلاسل الزمنية. كما تأخذ الطريقة بعين الاعتبار الأبعاد الزمنية المختلفة في تسلسل الدخل وتأثيرها على استهلاك الطاقة الكهربائية وبالتالي جعل الطبقات الخفية أكثر فعالية في التركيز على المعلومات المفتاحية ضمن تسلسل الدخل.

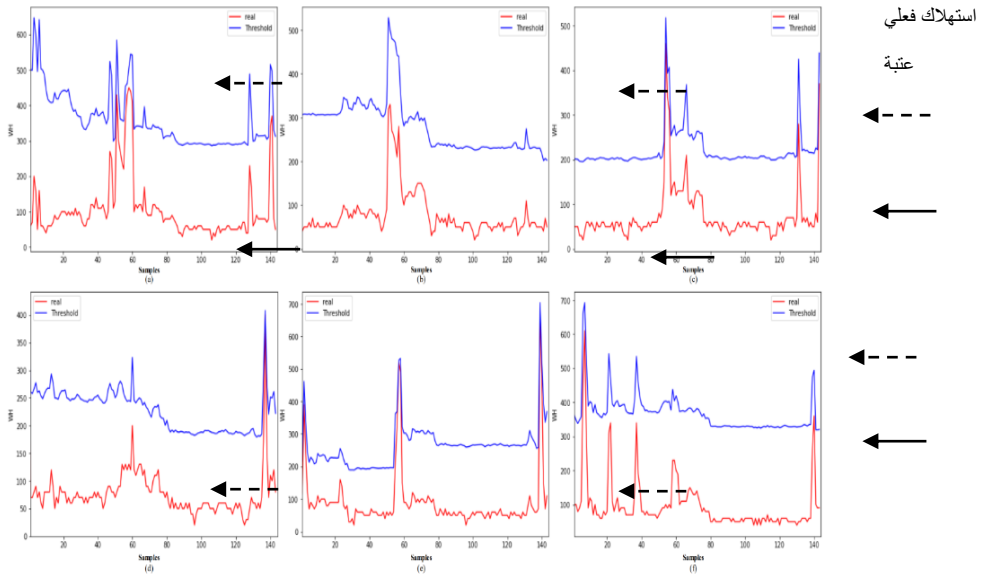
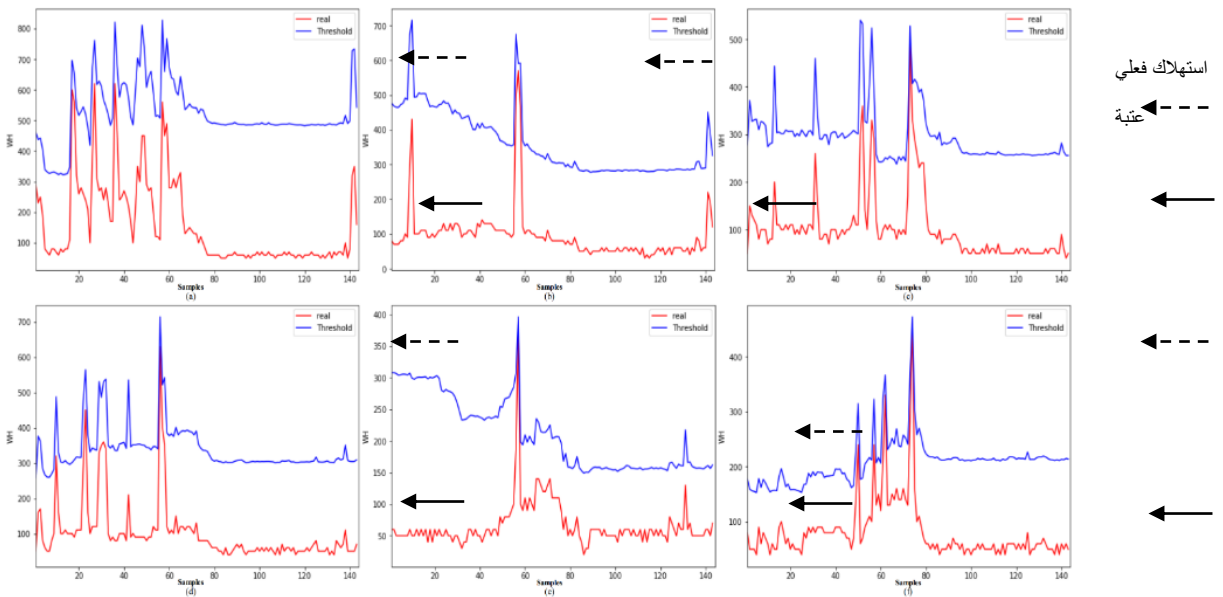


Figure 3. Example of the first group of normal energy consumption behavior: (a) electricity consumption on 1 May; (b) electricity consumption on 2 May; (c) electricity consumption on 3 May; (d) electricity consumption on 4 May; (e) electricity consumption on 5 May; (f) electricity consumption on 6 May; (g) electricity consumption on 8 May; (h) electricity consumption on 9 May; (i) electricity consumption on 10 May.

الشكل (2) يوضح المخطط البياني لمجموعة الأولى للاستهلاك الطبيعي، يمثل المحور الأفقي عدد العينات في حين يمثل المحور الشاقولي الاستهلاك بالواط الساعي. يمثل المنحني الأدنى قيمة الاستهلاك الفعلي والمنحني الأعلى قيمة العتبة المحددة: (a) الاستهلاك الكهربائي في 1 أيار، (b) الاستهلاك الكهربائي في 2 أيار، (c) الاستهلاك الكهربائي في 3 أيار، (d) الاستهلاك الكهربائي في 4 أيار، (e) الاستهلاك الكهربائي في 5 أيار، (f) الاستهلاك الكهربائي في 6 أيار

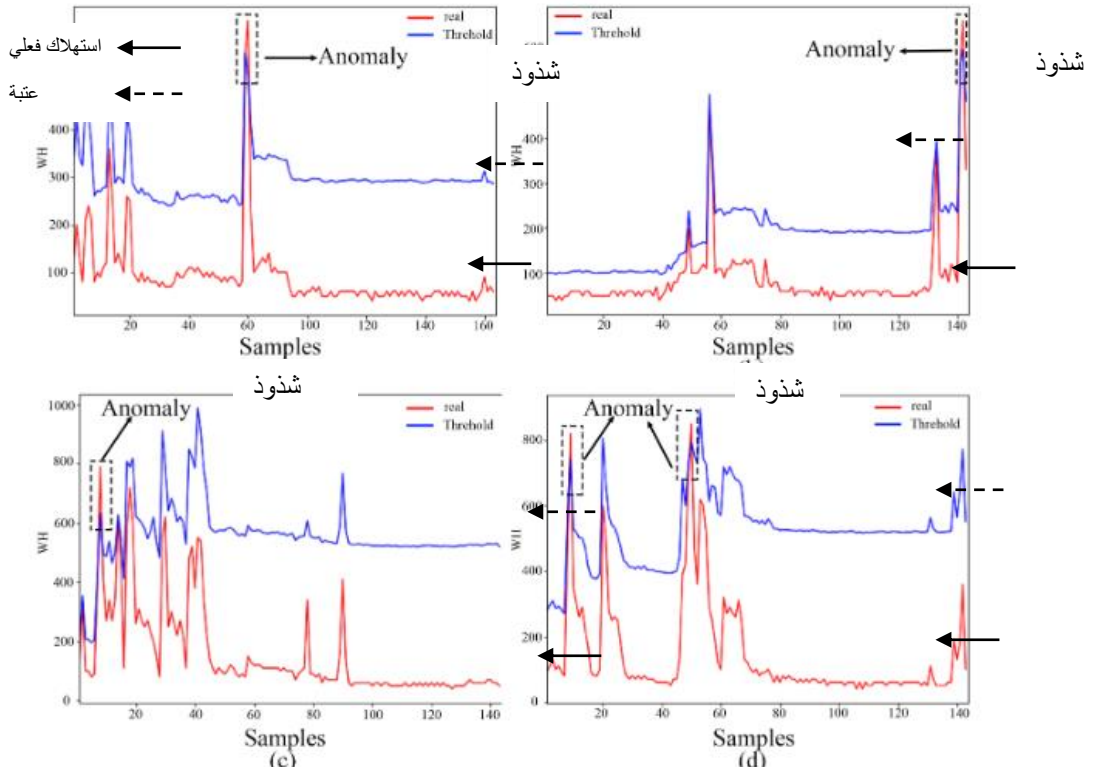
بعد بناء النموذج وتدريبه واستخدامه، فإن توزيع البيانات سوف يتغير للعديد من الأسباب وبالتالي فإنه بحاجة للتعديل. إلا أنه بمقدورنا استخدام النموذج السابق كبنية قاعدية للعمل اللاحق. حيث يتم الدمج بين البيانات السابقة والبيانات الجديدة وإعادة تدريب النموذج. عملياً نحتاج إلى إعادة تدريب النموذج كل ثلاثة أو ستة أشهر في حال توافر البيانات الخاصة باستهلاك القدرة الكهربائية.

الهدف الرئيس من استخدام بيانات القدرة الكهربائية متعددة الأبعاد هو اكتشاف السلوك الشاذ وغير الطبيعي لاستهلاك المستخدمين. إلا أن هذا مضبوط ببعض الحدود والتي تتضمن الحاجة للحصول على البيانات السابقة للمستخدمين بصورة متسلسلة وتدريب النموذج عليها.



الشكل (3) يوضح المخطط البياني المجموعة الثانية للاستهلاك الطبيعي، يمثل المحور الأفقي عدد العينات في حين يمثل المحور الشاقولي الاستهلاك بالواط الساعي. يمثل المنحني الأدنى قيمة الاستهلاك الفعلي والمنحني الأعلى قيمة العتبة المحددة: (a) الاستهلاك الكهربائي في 13 أيار، (b) الاستهلاك الكهربائي في 14 أيار، (c) الاستهلاك الكهربائي في 15 أيار، (d) الاستهلاك الكهربائي في 16 أيار، (e) الاستهلاك الكهربائي في 17 أيار، (f) الاستهلاك الكهربائي في 18 أيار

مراقبة الشذوذ في شبكات الطاقة الكهربائية لمنع حالات الاسترجار غير الشرعي باستخدام
Bi-LSTM,CNN



الشكل (4) يوضح المخطط البياني حالة الاستهلاك غير الطبيعي: (a) الاستهلاك الكهربائي في 7 أيار ، (b) الاستهلاك الكهربائي في 12 أيار ، (c) الاستهلاك الكهربائي في 21 أيار ، (d) الاستهلاك الكهربائي في 26 أيار.

10. النتائج والمقترحات:

يبين النموذج المصمم قدرته على التنبؤ بدقة مقبولة بسلوك المستخدمين للطاقة الكهربائية اعتماداً على البيانات السابقة متعددة الأبعاد لاستهلاك الطاقة الكهربائية، تمثل الأبعاد المتعددة مجموعة السمات الرئيسية والتي يتم تدريب الشبكة عليها حيث تتضمن الحرارة، الرطوبة، المنطقة، حالة الجو، التاريخ، وهي مجموعة من السمات التي يمكن أن تؤثر بصورة واضحة على استهلاك القدرة الكهربائية. كما بينت الدراسة المقدمة الفعالية العالية

لنموذج استخدام شبكات CNN,Bi-LSTM مع تقنية الملاحظة Attention Method والتي ترتفع بشكل واضح مقارنة مع النماذج المفردة. تم تدريب النموذج من أجل التنبؤ بالأسهلاك غير الطبيعي للطاقة الكهربائية في الزمن الحقيقي. بلغت دقة التنبؤ وفقاً لمجموعة البيانات المستخدمة والمقدمة من Kaggle قيمة 99.62% وهي دقة جيدة مقارنة مع الدراسات السابقة.

بما أن النموذج المقترح قادر على التحسس بقيمة استهلاك القدرة الكهربائية في الزمن الحقيقي لمجموعة من الأبنية، فإنه بالإمكان استخدام هذا النظام من قبل المدراء لمراقبة الاستهلاك بصورة دورية وبالتالي توفير استهلاك القدرة الكهربائية. يمكن الحصول على البيانات التي يتم التدريب عليها في النموذج المقترح من خلال شبكات من مجموعات من الحساسات التي يمكن لها الاتصال مع شبكة عبر الانترنت لإرسال البيانات بخدمة انترنت الأشياء IoT ومنها إلى مجال خاص للحفاظ والتخزين Claude. إذا أردنا أن نأخذ معيار الكلفة فقط بعين الاعتبار، فإن الكلفة الأساسية تكمن في شراء وتركيب تجهيزات IoT وذلك لأن البحث المقدم هو بحث مفتوح المصدر وليس بحاجة إلى أي تكاليف إضافية مرتفعة.

يمكن أن يتم التطوير المستقبلي لهذا البحث باتجاهين رئيسيين. الأول، استمرار إضافة التطويرات إلى النموذج المدروس والمقترح بحيث يمكن تخفيض معدل الخطأ ضمنه، والثاني محاولة مراقبة والتقاط سلوك المستخدمين بحيث يمكن التنبؤ بتغير سلوك المستخدم ضمن فترات زمنية محددة بحيث يمكن لنا توقع التصرفات التي يمكن له أن يقوم بها خلال الفترات المدروسة واعتماداً على كميات بيانات التدريب.

1. Energy Performance of Buildings Directive. https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (accessed on 15 December 2021).
2. IEA. Tracking Buildings 2021. Available online: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021> (accessed on 30 November 2021).
3. Depuru, S.S.S.R.; Wang, L.; Devabhaktuni, V.; Gudi, N. Smart meters for power grid Challenges, issues, advantages and status. In Proceedings of the IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, Phoenix, AZ, USA, 20–23 March 2011.
4. Himeur, Y.; Alsalemi, A.; Bensaali, F.; Amira, A. Robust event-based non-intrusive appliance recognition using multi-scale wavelet packet tree and ensemble bagging tree. *Appl. Energy* 2020, 267, 114877. [CrossRef]
5. Rashid, H.; Singh, P.; Stankovic, V.; Stankovic, L. Can non-intrusive load monitoring be used for identifying an appliance's anomalous behavior? *Appl. Energy* 2019, 238, 796–805. [CrossRef]
6. Rashid, H.; Singh, P. Monitor: An abnormality detection approach in buildings energyconsumption. In Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC), Philadelphia, PA, USA, 18–20 October 2018.
7. Himeur, Y.; Alsalemi, A.; Bensaali, F.; Amira, A. A novel approach for detecting anomalous energy consumption based on micro-moments and deep neural networks. *Cogn. Comput.* 2020, 12, 1381–1401. [CrossRef]
8. Fenza, G.; Gallo, M.; Loia, V. Drift-aware methodology for anomaly detection in smart grid. *IEEE Access* 2019, 7, 9645–9657.
9. Sial, A.; Singh, A.; Mahanti, A. Detecting anomalous energy consumption using contextual analysis of smart meter data. *Wireless network*, 2021.

10. Ghanbari, M.; Kinsner, W.; Ferens, K. Anomaly detection in a smart grid using wavelet transform, variance fractal dimension and an artificial neural network. In Proceedings of the 2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Ottawa, ON, Canada, 12–14 October 2016.
11. Giannoni, F.; Mancini, M.; Marinelli, F. Anomaly detection models for IoT time series data. arXiv 2018, arXiv:1812.00890.
12. Zhou, Y.; Hu, W.; Min, Y.; Zheng, L.; Liu, B.; Yu, R.; Dong, Y. A semi-supervised anomaly detection method for wind farm power data preprocessing. In Proceedings of the 2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Chicago, IL, USA, 16–20 July 2017.
13. Huang, T.; Sethu, H.; Kandasamy, N. A new approach to dimensionality reduction for anomaly detection in data traffic. IEEE Trans. Netw. Serv. Manag. 2016, 13, 651–665.
14. Kudo, T.; Morita, T.; Matsuda, T.; Takine, T. PCA-based robust anomaly detection using periodic traffic behavior. In Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), Budapest, Hungary, 9–13 June 2013.
15. Dai, X.; Gao, Z. From model, signal to knowledge: A data-driven perspective of fault detection and diagnosis. IEEE Trans. Ind. Inform. 2013, 9, 2226–2238. [CrossRef]
16. Pereira, J.; Silveira, M. Unsupervised anomaly detection in energy time series data using variational recurrent autoencoders with attention. In Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Orlando, FL, USA, 17–20 December 2018.
17. Munir, M.; Siddiqui, S.A.; Chattha, M.A.; Dengel, A.; Ahmed, S. Fusead: Unsupervised anomaly detection in streaming sensors data by fusing statistical and deep learning models. Sensors 2019, 19, 2451. [CrossRef]
18. Zheng, Z.; Yang, Y.; Niu, X.; Dai, H.N.; Zhou, Y. Wide and deep convolutional neural networks for electricity-theft

detection to secure smart grids. IEEE Trans. Ind. Inform. 2017, 14, 1606–1615.

19. Li, S.; Han, Y.; Yao, X.; Yingchen, S.; Wang, J.; Zhao, Q. Electricity theft detection in power grids with deep learning and random forests. J. Electr. Comput. Eng. 2019, 2019, 4136874. [CrossRef]

20. Hollingsworth, K.; Rouse, K.; Cho, J.; Harris, A.; Sartipi, M.; Sozer, S.; Enevoldson, B. Energy anomaly detection with forecasting and deep learning. In Proceedings of the IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Seattle, WA, USA, 10–13 December 2018. [CrossRef]

21. Wang, X.; Zhao, T.; Liu, H.; He, R. Power consumption predicting and anomaly detection based on long short-term memory neural network. In Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA), Chengdu, China, 12–15 April 2019. [CrossRef]

22. Xu, C.; Chen, H. Abnormal energy consumption detection for GSHP system based on ensemble deep learning and statistical modeling method. Int. J. Refrig. 2020, 114, 106–117.

23. Ergen, T.; Kozat, S.S. Unsupervised anomaly detection with LSTM neural networks. IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. 2019, 31, 3127–3141.

24. Tuong Le, Minh Thanh Vo, Bay Vo, Eenjun Hwang, Seungmin Rho, Sung Wook Baik, Improving Electric Energy Consumption Prediction Using CNN and Bi-LSTM, MDPI Applied science institute, <https://doi.org/10.3390/app9204237>, 2019.

25. <https://www.tensorflow.org/>, [available], accessed 8/11/2022.

26. UCI dataset, <https://archive.ics.uci.edu/dataset/235/individual+household+electric+power+consumption>, [available], accessed 13/5/2022.

دراسة تجريبية لتقييم تأثير نوع المادة المجففة

على أداء الدولاب المجفف في نزع رطوبة الهواء

الدكتور عدنان عمران*

الدكتور فادي علي**

المهندس عزيز الحزوري***

ملخص

اكتسبت أنظمة التبريد التي تستخدم الدولاب المجفف اهتمامًا متزايدًا كتقنية بديلة لتكييف الهواء، وتلعب مادة التجفيف دورًا مهمًا في الأداء العام للنظام بأكمله، لا سيما من حيث قدرة إزالة الرطوبة والتجديد.

من هنا كان لابد من البحث عن مادة مجففة تمتلك قدرة عالية على امتصاص الرطوبة وقدرة جيدة على تجديد الهواء. تم في هذه الدراسة تقييم فعالية مواد ومركبات مختلفة مزيلة للرطوبة مثل السيليكا جلّ والبولي فنيل الكحولي والبولي أكريليك أسيد ومواد مركبة هجينة من هذه المكونات، كما تم دراسة تأثير سرعة دوران الدولاب المجفف على فعاليته بإزالة الرطوبة. أنجزت هذه الدراسة داخل غرفة في مدينة طرطوس على دولاب مجفف معدل مصنع محلياً يتكون من قطاعي تجديد متقابلين وقطاعين لمعالجة الهواء الداخل، حيث أنه في جميع الدراسات السابقة تم استخدام دولاب مكون من قطاعين فقط للتجديد والمعالجة.

بينت النتائج أن أعلى أداء للدولاب المجفف تم الحصول عليه باستخدام (السيليكا جل+ بولي إيثيلين غليكول+ البولوي أكريليك أسيد) كمادة مركبة هجينة مزيلة للرطوبة بحيث

وصل المعامل الكلي لأداء الدولاب المجفف إلى ($COP_{Total} = 2.8$) ووصلت كمية الرطوبة المزالة إلى (9g/Kg) عند درجة حرارة تجديد للهواء (100°C) ونسبة رطوبة داخلية (18g/Kg) عند سرعة دوران للدولاب المجفف (25rph)، بحيث تأخذ فعالية إزالة الرطوبة الترتيب التالي (سيلكا جل + بولي إيثيلين غليكول + بولي أكريليك أسيد) < سيلكا جل < (PVA + جل) < بولي فنيل الكحولي ، بينما لوحظ انخفاض معامل الأداء الكلي للدولاب المجفف (COP_{Total}) من (4.2) إلى (2.5) مع زيادة درجة حرارة هواء إعادة التنشيط ضمن المجال ($60-110^\circ\text{C}$).

كلمات مفتاحية: نظام تكييف، دولاب مجفف، إزالة الرطوبة، سرعة الدولاب المجفف، مواد مزيلة للرطوبة.

* أستاذ- قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية
** أستاذ مساعد- قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية
*** طالب دراسات عليا. قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية

An experimental study to evaluate the effect of the type of desiccant on the performance of the desiccant wheel in dehumidifying the air

Prof. Adnan Omran

D. Fadi Ali**

En. Azez Al-hazzori ***

Abstract

Solid desiccant refrigeration systems have gained increasing attention as an alternative air conditioning technology. Desiccant performance plays an important role in the overall performance of the entire system, particularly in terms of dehumidification and regeneration capacity. Hence, it was necessary to search for a desiccant that has a high absorption capacity and a good regeneration capacity. In this study, the effectiveness of different dehumidifying materials and compounds, such as silica gel, polyvinyl alcohol, polyacrylic acid, and hybrid composites of these components, was evaluated. The effect of rotational speed of the desiccant wheel on its dehumidification efficiency was also studied. This study was carried out inside a room in the city of Tartous on a locally modified desiccant wheel consisting of two opposite sectors for regeneration and two sectors for process the incoming air, as in all previous studies a wheel consisting of only two sectors was used for regeneration and process.

The results showed that the highest performance of the desiccant wheel was obtained using (silica gel + polyethylene glycol +

polyacrylic acid) as a hybrid dehumidifying material, so that the Total Coefficient of Performance (COP_{Total}) reached (2.8), while the moisture removal efficiency reached (9 g/Kg) at inlet regeneration temperature ($100^{\circ}C$) and process inlet humidity ratio (18g/Kg) at a rotational speed of rotational speed of the desiccant Wheel ranging within the range (25-30RPH). So the effectiveness of moisture removal of materials takes the following order (silica gel + PAAC + PEG) > (silica gel) > (silica gel+ PVA) > (PVA). While it was observed that the coefficient of overall performance of the desiccant wheel (COP_{Total}) decreased from (4.2) to (2.5) with an increase in the regeneration air temperature within the range (60- $100^{\circ}C$).

Keywords: Conditioning System, Desiccant Wheel, wheel speed , Moisture Removal, dehumidifying materials

Professor, Department of Renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartrous University, Syria.

Assistant professor, Department of Renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartrous University, Syria.

Graduate student, Department of Renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartrous University, Syria.

أدى التطور السريع للاقتصاد والمجتمع إلى ازدياد استهلاك الطاقة في أنظمة التكييف والتبريد التقليدية. يتمثل التحدي الأبرز لدى الباحثين في مجال أنظمة التبريد بتعديل أو استبدال أنظمة التبريد التقليدية القائمة على ضغط البخار بأنظمة حديثة أكثر كفاءة وأقل استهلاكاً للطاقة تكون صديقة للبيئة، ومن بين الأنظمة الحديثة تعتبر أنظمة التبريد التي تحتوي على دولا ب مجفف من الأنظمة الواعدة في هذا المجال، ليس فقط بسبب الفعالية الكبيرة والتوفير الكبير في الطاقة وحسب، بل لسهولة التحكم برطوبة الهواء داخل المكان المكيف، وإمكانية التحكم بشكل منفصل بالأحمال المحسوسة والكامنة، وبالتالي حل لمشكلة تبريد هواء العملية لأقل من درجة حرارة نقطة الندى لمعالجة الحرارة الكامنة وإعادة التسخين اللاحقة، وبالتالي زيادة معامل الأداء (COP) [1,2].

كما أن استخدام نظام التبريد التجفيفي في المصانع والصيدليات والمختبرات وأماكن حفظ الأغذية يؤمن بيئة منخفضة الرطوبة ويمنع نمو الملوثات الحيوية كالفطور والبكتيريا من خلال توفير الشروط الصحية المناسبة للإنسان الذي يقضي حوالي (80-90%) من وقته في أماكن مغلقة [3,4].

المكوّن الأهم في الدولا ب الدوّار هو المادة المجففة، فشكل بنيتها، وسعتها الحرارية، وقدرتها على إزالة الرطوبة (الامتزاز) والتجديد يتحكم بشكل كبير بفعالية واقتصادية نظام التكييف ككل [5].

يجب أن تتميز مادة التجفيف (the desiccant) بكتلة صغيرة للغاية، ومساحة سطحية كبيرة، واستقرار طويل الأمد لتخفيض الضياعات الحرارية أثناء تسخين وتبريد المجفف والمساحة السطحية الكبيرة لزيادة التفاعل والتأثير المتبادل بين المادة المجففة والهواء المحيط. لا توجد مادة متاحة حالياً يمكنها تلبية جميع المتطلبات المطلوبة تماماً. بالتالي لا تزال هناك حاجة لمزيد من الأبحاث المكثفة في مجال تطوير وتقييم المواد المتقدمة.

في الآونة الأخيرة ، مع تطور علم المواد ، تم تطوير عدة أنواع جديدة من المجففات الصلبة بحيث وصلت للجيل الرابع في عام (2008) ويتم الآن استخدام الغربال الجزيئي (molecular sieve) وجلّ السيلكا والكربون الفعال والهياكل (العضوية - المعدنية) ومواد أخرى مزيلة للرطوبة، وقد استخدم جلّ السيلكا على نطاق واسع نظرا لكلفته المنخفضة، وثبات عملية تشغيله، ومجال الرطوبة الواسع الذي يزيله.

قام الباحث (Zeang et al) بتصنيف المواد المجففة إلى ثلاثة أصناف رئيسية: المواد المجففة البوليميرية، والمواد غير العضوية ذات المسام النانوية والمواد المجففة المركبة، وأوجز العوامل التي تؤثر بفعالية المواد المجففة بإزالة الرطوبة بالنقاط التالية: البنية والتركيب، الهيدروفيلية أو الهيدروفوبية والمسامية، ودرجة حرارة إعادة تجديد الهواء [6].

وقد درس الباحث (Bu et al) تأثير حجم المسام على أداء المادة المجففة ، ولاحظ الباحث أن المسام ذات الحجم المنتظم والتوزيع المتجانس تعطي أعلى فعالية إزالة للرطوبة، وأن أفضل قطر للمسام يتراوح ضمن المجال (10-50nm) [7].

وقد طور الباحث (Ge et al) مادة مجففة مركبة من فورمات البوتاسيوم والسيلكا جل والتي حسنت سعة امتصاص الرطوبة بمقدار (20%) مقارنة بالسيلكا جل النقي [8].

كما قام الباحث (Entezari et al) بدراسة مادة مركبة من السيلكا جل مع الأملاح (LiBr) و (LiCl) ووجد أن إضافة كمية بسيطة من أحد الملح إلى السيلكا جل يرفع سعة إزالة الرطوبة بمقدار (5.5%)، وأرجع ذلك إلى أن استخدام الملح (LiCl) يخفض حجم الشبكات البلورية ويخفض حجم الفراغ ضمن الشبكات [9].

وقد تم تطوير مواد مركبة هجينة (عضوي - لا عضوي) مزيلة للرطوبة مكونة من السيلكا جل والملح (LiCl) والبولي فنيل الكحولي، وقد أدى استخدام البولي فنيل الكحولي إلى رفع الخصائص الميكانيكية وقدرة تحمل المادة المركبة وعزز امتزازها للرطوبة حيث ينتشر (PVA) و (LiCl) على مسام السيلكا جل من خلال قوى فاندرالس والروابط

الهيدروجينية. وقد تميزت المادة الهجينة بامتصاص رطوبة أعلى بمقدار الضعف مقارنة من السيلكا جلّ النقي، كما تحسنت الحرارة الكامنة والمحسوسة بحوالي (12%) [10]. كما طوّرت (Jia Chunxia) مزيج رطوبة مكوّن من جلّ السيليكا وكلوريد الليثيوم، وبيّنت نتائج الدراسة أن فعالية جلّ السيليكا في إزالة الرطوبة تتعزز باستخدام نسبة مناسبة من المكونين كما يؤدي ذلك لتخفيض درجة حرارة تجديد الهواء [11].

كما تم تطوير مادة هجينة مزيّلة للرطوبة من قبل الباحث (Chen) بتحضير مادة مركبة مزيّلة للرطوبة مكونة من (80%) سيلكا جل مع (10% polyacrylic acid) و (10% polyacrylic sodium) لتقييم أداء الدولاب المجفف وقد أظهرت المادة المركبة معدل امتصاص أعلى للرطوبة وسعة تجديد أعلى للهواء وبخاصة عند الرطوبة النسبية العالية كما انخفضت درجة حرارة الهواء الخارج بشكل بسيط [12].

2- أهمية البحث وأهدافه:

يتمتع نظام تكييف الهواء بالدولاب المجفف بالمقارنة مع أنظمة التبريد بضغط البخار التقليدية بمزايا متعددة (على سبيل المثال، عدم استخدام وسائط تبريد مستنفذة للأوزون، والتحكم في الرطوبة بكفاءة عالية، والتكامل التجديدي السهل) وبالتالي جذب المزيد من الاهتمام البحثي بشكل متزايد.

تقدم هذه الورقة دراسة عن أهمية استخدام مكيفات الهواء المجففة وعملياتها، ومؤشرات الأداء.

نظراً لقدرة المواد المجففة على امتصاص بخار الماء، يتم استخدامها على نطاق واسع في العديد من التطبيقات مثل المستشفيات والأدوية والتطبيقات الصناعية وتجفيف الطعام والتخزين.

تهدف هذه الدراسة في المقام الأول إلى دراسة تأثير خصائص المادة المجففة المستخدمة على سلوك مكيفات الهواء المجففة من خلال مقارنة عدة مواد مجففة جديدة، وابتكار

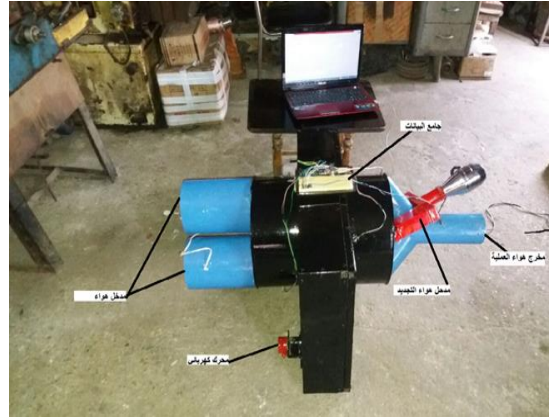
تكوينات جديدة للنظام وتحسين تصميمات وضوابط النظام. يتم تقييم أداء دولاب التجفيف من خلال قياس عوامل نسبة رطوبة الهواء، ودرجات الحرارة للهواء، ومعدلات تدفق الكتلة، وسرعة دوران الدولاب.

3- مواد وطرائق البحث (Materials and Methods):

من أجل تحقيق هدف البحث تم إجراء التجارب على جهاز إزالة الرطوبة المصنع محلياً، والمبين بالشكل (1) يعمل بالطاقة الشمسية ويمكن استخدامه في المناخات الساحلية الرطبة، ويتكون من دولاب مجفّف صلب ومدخل ومخرج هواء العملية ومدخل ومخرج هواء التجديد وسخان كهربائي ووحدة تحكم.



الشكل (2) الدولاب المجفف المصمم لإزالة الرطوبة



الشكل (1) جهاز إزالة الرطوبة

يتكون الدولاب المجفف من صفائح ألمنيوم مغطاة بالمادة المزيلّة للرطوبة كما يظهر في الشكل (2) يمر هواء العملية الرطب من خلال مقطع إزالة الرطوبة الذي يشكل (3:2) من المساحة الوجهية للدولاب المجفف، وقد استخدمت مواد مختلفة قادرة على امتصاص جزيئات الماء والرطوبة ضمن الدولاب الدوار مثل السليكا جلّ (silica gel) والبولي فنيّل الكحولي (PVA) والبولي أكريليك أسيد (PAA) لتجفيف وإزالة رطوبة الهواء بعد عبوره

الدولاب المجفف، وبالتزامن يسخن هواء إعادة التنشيط (التجديد) reactivation air قبل عبوره مقطع التنشيط الذي يشكل حوالي (1:3) من مساحة سطح الدولاب الدوار، حيث تقوم المادة المزيل للطوبة كالسيلكا جلّ أو البولي فنييل الكحولي بالتخلي عن الرطوبة لتتار الهواء الساخن كنتيجة لتبخّر جزيئات الماء، بعد ذلك يخرج الهواء الجاف والحر كهواء عادم من الدولاب المجفف. يبين الجدول (1) مواصفات المواد المزيل للطوبة المستخدمة في الدولاب المجفف.

الجدول (1) المواد المستخدمة في البحث وهي من شركة (Loba Chemie) في مومباي بالهند

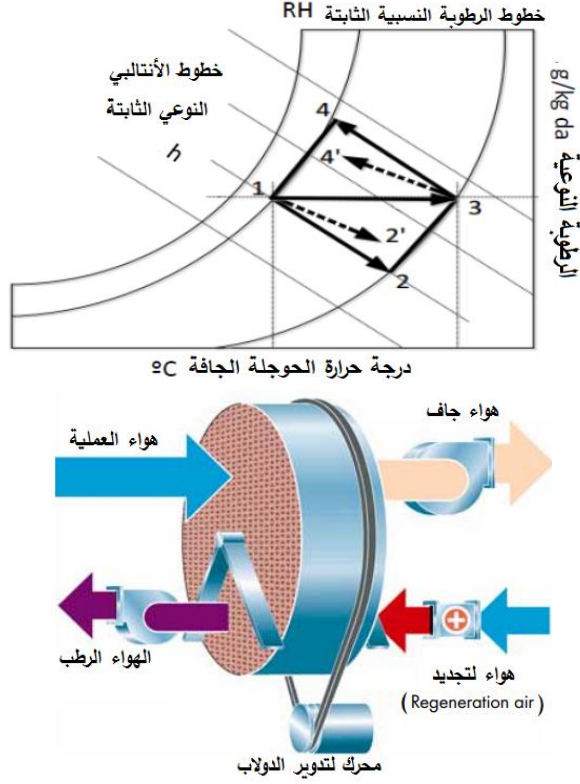
نوع المادة	مواصفات المادة
البولي فينيل الكحولي (PVA)	درجة البلمرة: (1700-1800) الوزن الجزيئي (M_n): 1.15.000 درجة الحلمهة (mol%): 98-99 اللزوجة: (32) سنتي بواز. دليل شوارد الهيدروجين لمحلولة المائي (pH): 5-7
حمض الأكريليك (AAc)	درجة النقاء: 99% الكثافة عند الدرجتين ($20C^\circ/4C^\circ$): 1.049/1.051
البولي إيتيلين غليكول (PEG)	الوزن الجزيئي (M.W): 4000 قيمة الهيدروكسيل (Hydroxyl Value): 30-36 دليل شوارد الهيدروجين (pH) لمحلولة المائي: 4.5-7.5

وبهذا السلوك فإن الدولاب المجفف يجدد قدرته على امتصاص جزيئات الماء من هواء العملية الداخل، وكذلك الحفاظ على أداء الدولاب من خلال هواء إعادة التنشيط (التجديد) الذي يقوم بغسل سطح الدولاب وإزالة جميع الدقائق المعلقة فيه، ويؤدي دوران الدولاب المستمر للحفاظ على عمليتين هامتين هما الامتزاز (adsorption) وإعادة التنشيط

(reactivation) ، ويعمل هيكل الدولاب الحامل من جهتي الدولاب على منع اختلاط تيارَي الهواء ، ويمكن شرح عملية إزالة رطوبة الدولاب المجفف كما في الشكل (3) :

يتم تدوير الدولاب المجفف بسرعة (10-35) بواسطة محرك كهربائي. حيث يشار لتياري الهواء العملية وإعادة التجديد الداخلة والخارجة من الدولاب بالأرقام (1,2',3,4') على التوالي، تمثل العملية من 1 إلى 2' الممر الفعلي (actual path) لهواء العملية (the process air) بينما يمثل الممر 3 إلى 4' العملية الحقيقية (the real process) لهواء إعادة التجديد (reactivation air) ، ويمكن تمثيل العملية المثالية (The ideal process) لتياري هواء العملية وإعادة التجديد كعمليات أنتالبية، وكما يظهر من الشكل فإن الخطوط من 1 إلى 2 إلى 3 إلى 4 على التوالي، يدخل هواء العملية الرطب قطاع إزالة الرطوبة عند 1 وبعد أن يعبر الدولاب المجفف يصل الحالة 2' تزداد درجة حرارته بينما تنخفض الرطوبة النوعية لكون المادة المجففة تقوم بسحب جزيئات الماء من الهواء حتى الوصول لحالة الإشباع، وفي تيار هواء مختلف فإن هواء إعادة التجديد الساخن يدخل قطاع إعادة التجديد عند النقطة 3 حيث يسخن مادة التجفيف المشبعة وبالتالي تطلق الرطوبة من خلال تبخر جزيئات الماء حيث يعود الهواء الحار والرطب من الدولاب عند النقطة 4' .

يتم قياس درجة الحرارة الجافة والرطوبة باستخدام حساسات من نوع DHT22 بمجال $(120^{\circ}\text{C} \pm 0.5) \div (-40)$. تم وضع مستشعر مقياس سرعة الهواء عند مدخل هواء العملية لقياس سرعة الهواء. تم توصيل جميع الحساسات بمسجل بيانات (Arduino). كما يحتوي النظام على مسخنات كهربائية، ومراوح، يستخدم المسخن لضبط درجة حرارة الهواء الداخل عند (35°C) ، بينما يقوم المبرد التبخيري بالتحكم بنسبة الرطوبة بين $(10-20\text{g/kg})$ وتثبيت درجة الحرارة عند (32°C) عندما تتراوح درجة حرارة هواء التجديد بين $(60-110^{\circ}\text{C})$ ، بينما معدل التدفق الكتلي للهواء المستخدم (0.4 kg/s) .



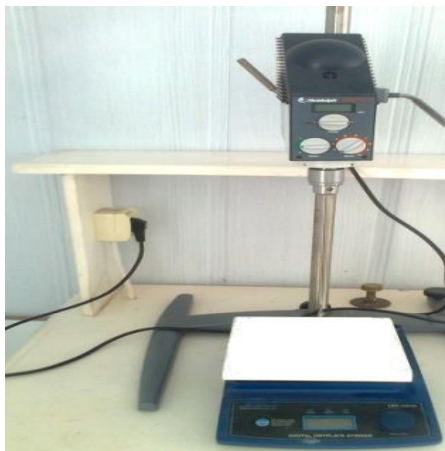
الشكل (3) المخطط البسايكومتري لعملية إزالة الرطوبة والتجديد في الدولاب المجفف

4- تحضير المواد المجففة:

يتم حل (10g) من البولي فينيل الكحولي في (100mL) من الماء المقطر من خلال التحريك بالمزج الحراري المبين بالشكل (4) عند درجة الحرارة (90°C) وبسرعة دوران (200rpm) لرأس المازج، لمدة 4 ساعات، وبعد ذلك يصب المحلول المحضّر على لوح زجاجي نظيف بمساعدة مديّة صبّ كما هو موضّح بالشكل (5)، ويترك ضمن المجفف عند درجة حرارة (60°C) حتى تبخر المذيب (الماء) وتتمام التصلب.



الشكل (5) صبّ المحلول على لوح زجاجي بمساعدة مديّة الصب



الشكل (4) المازج الحراري المستخدم

بعد ذلك يوضع ضمن جهاز التشعيع الضوئي الذي يحتوي على ستة مصابيح زئبقية ويترك لمدة ساعتين بحيث تحدث عملية تشابك للبنية الجزيئية للبوليمير (PVA)، ويتحول إلى هيدروجل غير ذواب في الماء، وبنفس الطريقة يتم تحضير الهيدروجل (PEG+PAA) حيث يوضع 5g من البولي إيثيلين غليكول في الماء المقطر ويتم التحريك عند درجة الحرارة (90°C) حتى تمام الذوبان بسرعة تحريك (200rpm) ويترك المحلول حتى يبرد من ثم يضاف إليه حيث يضاف (5g) من حمض الأكرليك أسيد (AAc) ويتم المزج حتى تمام التجانس، ويترك المحلول لمدة (24) ساعة لتختفي كافة الفقاعات، ومن ثم يتم صبه على لوح زجاجي للحصول على الفلم المطلوب، ومن ثم يعرض بنفس الطريقة السابقة للأشعة (UV) ضمن جهاز التشعيع، ونتيجة لذلك تحصل بلمرة حمض الأكرليك ويتشكل البولي أكرليك أسيد (PAAC) ويحصل ما يسمى تداخل الشبكات البوليميرية للبوليميرين (PEG+PAA).

الجهاز المصدر للأشعة فوق البنفسجية الموضح بالشكل (6)، وهو عبارة عن حجرة من الخشب مغلقة من الداخل برقائيق من الألمنيوم تحتوي على ستة مصابيح زئبقية من النوع (Philips TUV).

من ثم يتم تقطيع الهيدروجلات الناتجة بأبعاد (2×2mm) كمادة مجففة مزيلة للرطوبة توضع ضمن الحامل المخصص لها في الدولاب المجفف لدراسة فعاليتها في إزالة الرطوبة ومقارنتها مع السيليكا جل.



الشكل (6) الجهاز المصدر للأشعة فوق البنفسجية

مؤشرات الأداء لتقييم المواد الصلبة المجففة:

يجب أن تمتلك المواد المجففة المناسبة قدرة امتزاز وتجديد جيدة عند درجات حرارة منخفضة، أيضاً خصائص أخرى مثل الاستقرار على المدى الطويل وعدم السمية والتكلفة المناسبة وما إلى ذلك. يركز هذا البحث بشكل أساسي على دراسة بارامترين أساسيين يعكسان فعلياً كفاءة وأداء الدولاب المجفف ومنظومة التبريد ككل وهما: سعة إزالة الرطوبة (Moisture Removal Capacity in process (MRC) والتي تشير إلى قدرة امتزاز الدولاب المجفف للرطوبة، وتعبر عن كمية الرطوبة التي يمكن إزالتها من الهواء الرطب.

أما البارامتر الثاني وهو المعامل الكلي للأداء Total Coefficient of Performance (COP_{Total}) وهو نسبة تغير أنتالبي هواء العملية (process air) (with إلى الأنتالبي المصروف على عملية تجديد الهواء (regeneration process)).

البارامتر المدروس	العلاقة الرياضية المحددة له
(MRC)	$m (w_1 - w_2)$
(COP _{Total})	$(m \text{ process air} / m \text{ regeneration air}) (h_1 - h_2) / (h_4 - h_5)$
حيث m : معدل التدفق الكتلي (Mass flow rate) و W : نسبة الرطوبة (Humidity) Ratio h : الأنتالبي (Enthalpy)	

5- النتائج والمناقشة:

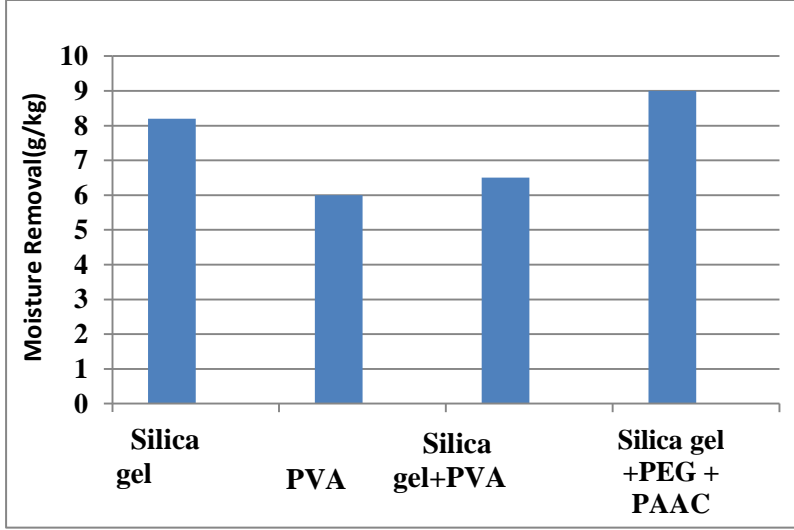
5-1- تأثير نوع المادة المجففة المستخدمة على أداء الدوالب المجفف:

تستخدم السيلكا جل على نطاق واسع كمادة مزيللة للرطوبة في الدوالب المجفف نظراً لسعرها المنخفض، كما أنها تعمل ضمن مجال واسع من الرطوبة النسبية، غير أن المادة المجففة المزيللة للرطوبة المفردة محدودة الفعالية، بحيث يمكنها إزالة الرطوبة بمرود مرتفع ضمن شروط خاصة ومحدودة، إذ تتميز السيلكا جل مثلاً بأداء ضعيف عندما يكون الهواء منخفض الرطوبة، وبالتالي تم الاتجاه لاستخدام مركبات هجينة مختلفة مزيللة للرطوبة تتميز بزمر وظيفية هيدروفيلية محبة للرطوبة والماء وهو ما يعزز الفعالية في إزالة الرطوبة.

تختلف قدرة المواد المستخدمة في إزالة الرطوبة بالآلية التي تعمل بها: فالسيلكا جل تعمل بالامتزاز الفيزيائي للرطوبة (physical adsorbers) فهو مادة ذات سطوح عالية المسامية تعمل على التقاط بخار الماء. من المهم جدا أن تتميز أي مادة مجففة بسعة امتزاز مرتفعة للماء عند مستويات رطوبة منخفضة في مجال واسع من درجات حرارة الهواء، غير ان اداء السيلكا جل في امتصاص الرطوبة يقل عند درجات حرارة مرتفعة، بينما المواد المركبة الهجينة اكثر قدرة على امتزاز الرطوبة وبالتالي أكثر فعالية في تجفيف الهواء والحصول على مستويات الرطوبة المطلوبة، من المعروف أيضاً أن الماء يشكل فيلماً على سطح السيلكا جل يحجب المواقع الفعالة على السطح المسامي له مما يخفض فعاليته بإزالة الرطوبة.

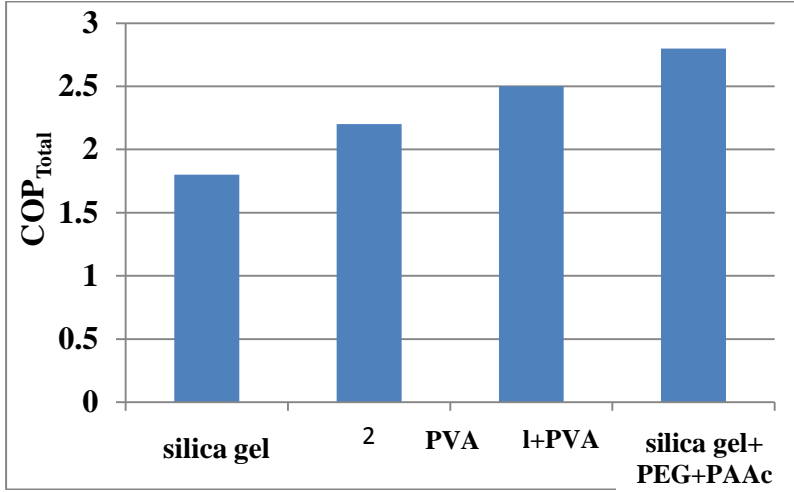
من ناحية أخرى يتميز السيلكا جلّ ببنية قوية مستقرة مما يضمن شروط تجفيف مثالية، بينما يسهم الهيدروجلّ PVA بإزالة المركبات العضوية الطيارة إضافة للرطوبة من الهواء، وهذه المادة المجففة تتميز بتوفير كبير في الطاقة وذات كلفة منخفضة، ويشكل استخدامها حلاً لمشكلة تلوث الهواء، كما أنها مقاومة للمواد الكيميائية كالحموض والأسس.

يوضح الشكل (7) فعالية إزالة الرطوبة باستخدام مواد مختلفة مزیلة للرطوبة ومواد مركبة منها، حيث يتبين من خلال الشكل أن قدرة إزالة الرطوبة للمواد المركبة (سيلكا جل + بولي إيثيلين غليكول + بولي أكريليك أسيد) بلغت 9g/kg وهي أعلى قيمة مقارنة بقدرة إزالة الرطوبة dehumidification للسيلكا جلّ النقي 8.2g/kg.



الشكل (7) فعالية إزالة الرطوبة باستخدام مواد مختلفة مزيله للرطوبة عند سرعة دوران 25rph ودرجة حرارة تجديد (100°C)

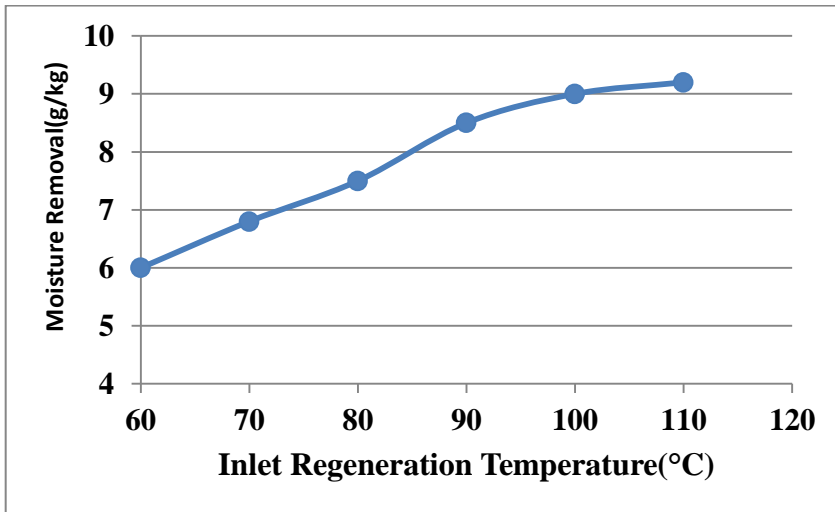
يزداد معامل الأداء الكلي للدوالب المجفف COP_{Total} مع استخدام مادة مركبة من السيليكا جل و PVA مقارنة بالسيليكا جلّ النقي ، حيث يتبين من خلال الشكل (8) بأن معامل الأداء الكلي للمادة المركبة (silica gel + PAAc + PEG) أعلى مقارنة بالسيليكا جل النقي عند نسبة رطوبة (18g/Kg) وسرعة دوران الدوالب المجفف (25rph)، حيث بلغت قيمة معامل الأداء الكلي للمادة المركبة 2.8 بينما للسيليكا جل النقي 1.8.



الشكل (8) المعامل الكلي للأداء COP_{Total} باستخدام مواد مختلفة مزيلة للرطوبة عند سرعة دوران 25rph ودرجة حرارة تجديد ($100^{\circ}C$)

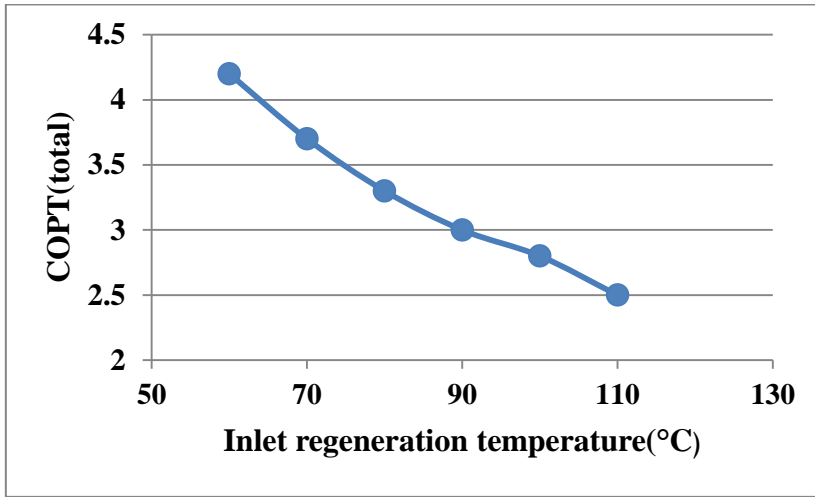
5-2- تأثير درجة حرارة هواء التجديد على أداء الدوالب المجفف:

يؤدي ارتفاع درجة حرارة هواء التجديد (regeneration temperature) إلى امتصاص كمية أكبر من الرطوبة من قبل المادة المجففة، وبالتالي ترتفع سعة إزالة الرطوبة من هواء العملية كما يتبين ذلك من الشكل (9).



الشكل (9) تأثير درجة حرارة تجديد الهواء على سعة إزالة الرطوبة للدوالب المجفف

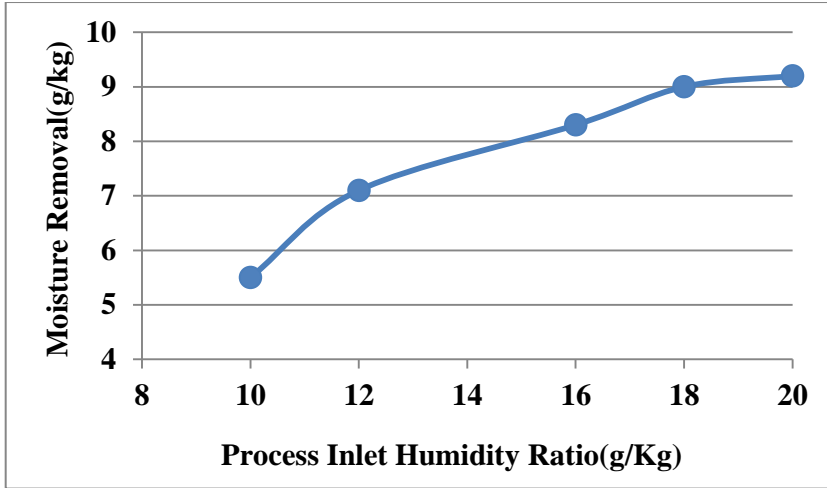
حيث تؤدي زيادة درجة حرارة التجديد إلى زيادة ضغط بخار الماء في الهواء (air vapor pressure) مما يؤدي لتخفيض جهد الامتزاز (adsorption potential) والذي يتأثر إيجاباً بفرق الضغط بين سطح المجفف وضغط بخار الماء في الهواء، وبالتالي مع زيادة درجة حرارة هواء التجديد ينخفض معامل الأداء الكلي للدوالب المجفف (COP_{Total}) كما يتضح ذلك من الشكل (10):



الشكل (10) تأثير تجديد درجة حرارة الهواء على معامل الأداء الكلي للدوالب المجفف

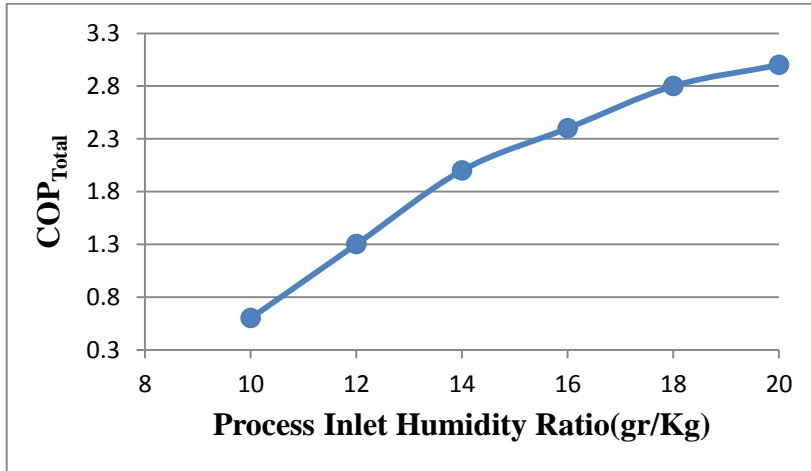
5-3- تأثير رطوبة هواء العملية على أداء الدوالب المجفف:

يوضح الشكل (11) تأثير رطوبة هواء العملية (Process air humidity) على سعة إزالة الرطوبة (MRC) للدوالب المجفف باستخدام المادة الهجينة المجففة (silica gel+PVA+PAAc) ، ويتبين من خلال الشكل أن زيادة رطوبة الهواء تؤدي لزيادة ضغط بخار الماء في الهواء وزيادة فرق الضغط بين سطح المادة المجففة وهواء العملية ويؤدي ذلك بالنتيجة لزيادة سعة إزالة الرطوبة (MRC) :



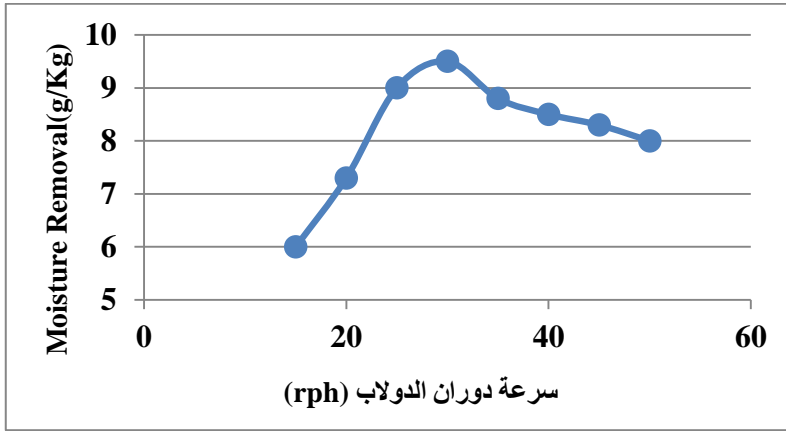
الشكل (11) تأثير رطوبة هواء العملية على سعة إزالة الرطوبة للدولاب المجفف

كما يلاحظ أنه مع زيادة رطوبة الهواء تزداد كتلة البخار ويصبح ضغط بخار الماء في الهواء أعلى، كما أن أنتالبي هواء العملية الداخل إلى الدولاب يصبح أكبر، وبالتالي يزداد معامل الأداء الكلي للدولاب المجفف (COP_{Total}) كما يتضح من الشكل (12).

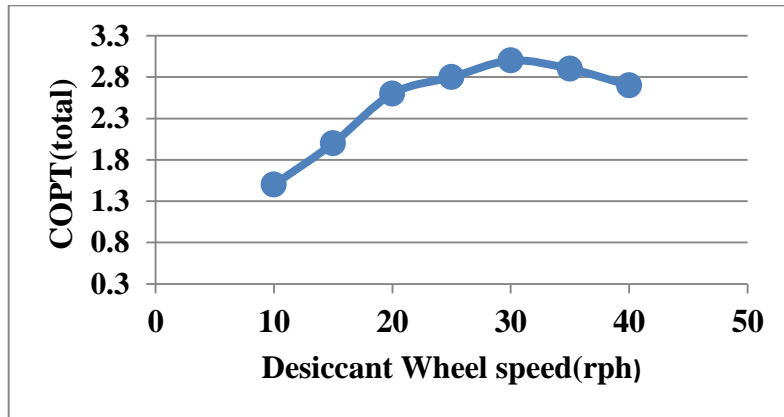


الشكل (12) تأثير رطوبة هواء العملية على معامل الأداء الكلي للدولاب المجفف

4-5- تأثير سرعة دوران الدوالب المجفف: Desiccant Wheel Speed (rph)
مع زيادة سرعة دوران الدوالب المجفف تزداد المؤشرات (نسبة إزالة الرطوبة (g/Kg) و COP) بشكل ملحوظ خاصة ضمن المجال (20-30PRH) ، بينما يخف التأثير الإيجابي مع تجاوز سرعة الدوالب (30RPH) حيث يحصل استقرار في سعة إزالة الدوالب المجفف للرطوبة كما هو موضح بالشكل (13)، (14).



الشكل (13) تأثير سرعة دوران الدوالب المجفف على سعة إزالة الرطوبة للدوالب المجفف باستخدام المادة المجففة (PVA+ PAAc+PEG)



الشكل (14) تأثير سرعة دوران الدوالب المجفف على معامل الأداء الكلي للدوالب المجفف باستخدام المادة المجففة (PVA+ PAAc+PEG)

6- الاستنتاجات:

1- تم تحضير مواد مختلفة مزيلة للرطوبة من مواد بوليميرية هيدروفيلية ومن مزيج منها وتعرضها للأشعة (UV) للحصول على هيدروجلات مزيلة للرطوبة غير ذوابة في الماء والرطوبة.

2- تم الحصول على أعلى أداء للدولاب المجفف باستخدام المادة المجففة الهجينة (سيلكا جل+ بولي أكريليك أسيد+ بولي إيثيلين غليكول) يليها (silica gel+) PVA ثم PVA فالسيلكا جلّ.

3- تم الحصول على أعلى أداء للدولاب المجفف بما يخص سعة إزالة للرطوبة والمعامل الكلي للأداء ($MRCp= 9g/kg$) و ($COP_{Total}=2.8$) عند درجة حرارة تجديد هواء (Inlet regeneration temperature) للهواء ($100^{\circ}C$) ونسبة رطوبة ($18g/kg$) عند سرعة دوران للدولاب المجفف (25-30rph).

4- ينخفض معامل الأداء الكلي للدولاب المجفف (COP_{Total}) من (4.2) إلى (2.5) مع زيادة درجة حرارة هواء إعادة التنشيط من ($60-110^{\circ}C$).

7- التوصيات:

- 1- دراسة نسب مختلفة لقطاعي العملية وتجديد الهواء ومقارنتها بالدولاب المجفف قبل عملية التعديل.
- 2- دراسة فعالية مواد مجففة أخرى غير السيليكا جِلّ مثل المواد النانوية.
- 3- دراسة تأثير شروط تشغيلية أخرى على أداء التكييف كمعدل تدفق هواء العملية والتجديد ، ونسبة توفير الطاقة مقارنة بالأنظمة التقليدية.
- 4- القيام بعملية نمذجة رياضية لبارامترات التشغيل لأمتلة شروط التكييف، والوصول بعملية التكييف إلى أعلى مردود ممكن.

المراجع العلمية: REFERENCES

- 1- Abdelgaied M, Saber M, Bassuoni M, Khaira A, 2023- **Adsorption air conditioning: a comprehensive review in desiccant materials, system progress, and recent studies on different configurations of hybrid solid desiccant air conditioning systems**, Environmental Science and Pollution Research, 30:28344–28372.
- 2- Rafique M, Gandhidasan P, Bahaidarah H, 2016- **Liquid desiccant materials and dehumidifiers – a review**, Renew. Sustain. Energy Rev. 56, 179–195.
- 3- Rao Z, Wang S, Zhang Z, 2012- **Energy saving latent heat storage and environmental friendly humidity-controlled materials for indoor climate**, Renew. Sustain. Energy Rev. 16, 3136–3145.
- 4- Sahlot M, Riffat S, 2016- **Desiccant cooling systems: a review, Int. J. Low-Carbon Technol.** 11, 489–505.
- 5- Luis G, and Javier U, 2022- **A Novel Polygeneration System Based on a Solar-Assisted Desiccant Cooling System for Residential Buildings: An Energy and Environmental Analysis**, Sustainability, 14, 3449.
- 6- Zheng X, Ge S, Wang Z, 2014- **Recent progress on desiccant materials for solid desiccant cooling systems**, Energy 74, 280–294.
- 7- Bu X, Wang L, Huang Y, 2013- **Effect of pore size on the performance of composite adsorbent**, Adsorption, 19, 929–935.
- 8- Ge S, Zhang Y, Dai J, Wang Z, 2017- **Experimental study on performance of silica gel and potassium formate composite desiccant coated heat exchanger**, Energy 141, 149–158.

- 9- Entezari A, Ge S, Wang Z, 2018- **Water adsorption on the coated aluminum sheets by composite materials (LiCl + LiBr)/silica gel**, Energy 160, 64–71.
- 10- Fu X, Zhang Z, Xu C, Cai R, 2016- **A dual-scale analysis of a desiccant wheel with a novel organic–inorganic hybrid adsorbent for energy recovery**, Appl. Energy 163, 167–179.
- 11- Jia C X, 2007- **Use of compound desiccant to develop high performance desiccant cooling system**, International Journal of Refrigeration, 30:345-353.
- 12- Chen H, Hsu Y, Chen C, Chiang C, Chen L, 2016- **Silica gel/polymer composite desiccant wheel combined with heat pump for air-conditioning systems**, Energy 94, 87–99.
- 13- Yao Y, 2016- **Enhancement of mass transfer by ultrasound: application to adsorbent regeneration and food drying dehydration**, Ultrasonics Sonochemistry, 31: 512-531.

دراسة رياضية لروبوت بثلاث درجات حرية قابل للتنفيذ في معمل الشركة الدولية لدرفلة الحديد في حسياء

طالب الدراسات العليا: محمد طوقان كلية الهندسة - جامعة البعث

إشراف الدكتور: توفيق المسعود + د. المهندس مكي

ملخص:

الروبوتات دخلت في المجال الصناعي بسبب أهميتها المتمثلة بإمكانية تنفيذ مهمات يصعب على البشر تنفيذها بسبب المخاطر المترتبة على ذلك في تلك البيئات وإمكانية تكرار العمليات.

في هذا البحث قمنا بدراسة روبوت بثلاث درجات حرية حيث تم دراسة معادلات الحركة الأمامية والعكسية للروبوت، بالطريقتين الهندسية والرياضية التحليلية بطريقة نيوتن - رافسن واستخدام منشور تايلور، ومن ثم باستخدام برنامج MATLAB تم وضع المعدلات في FUNCTION والمقارنة بين الطريقتين من حيث سرعة الوصول لقيم زوايا المفاصل، تم أخذ 5 قيم عشوائية من فضاء عمل الروبوت، وضمن فرضيات البحث تبين بأن الطريقة الهندسية أسرع من الطريقة الرياضية.

كلمات مفتاحية:

الروبوتات - الحركة العكسية - الحركة الأمامية - الحل العددي - ماتلاب

A mathematical study of an executable three- degrees-of-freedom robot at the International Company for Steel Rolling in Hassia

Abstract :

Robots entered the industrial field because of its importance in the possibility of carrying out tasks that are difficult for humans to implement due to the risks involved in those environments and the possibility of recurrence operations. In this research, we studied a robot with three degrees of freedom, where the equations of the forward and Inverse Kinematics of the robot were studied, using the Geometrical and mathematical analytical methods using the Newton-Raphson method and using the Taylor prism, and then using the MATLAB program, the equation were put in the FUNCTION and then compared between the two methods in terms of the speed of reaching values joint angles ,5 random values were taken from the robot's workspace, and within the study hypotheses

It turns out that the Geometrical method is faster than the mathematical method.

Key Words :

Robotics - Forward Kinematics - Inverse Kinematics -
Numerical Kinematics – MATLAB

1.1. مقدمة:

يتم استخدام الروبوتات الصناعية في جميع أنحاء العالم وقد زاد الاهتمام بها بشكل كبير ومتسارع، يتم استخدام هذه في الغالب لمناولة المواد، وعمليات اللحام، والطلاء، وتجميع الأجزاء، والتعبئة، والتعامل مع المواد الخطرة، والعمل في البيئات الخطرة، والعمليات تحت سطح البحر، ونزع المتفجرات والمجال الإشعاعي، والمجال الطبي وما إلى ذلك.

يمكن اعتبار الروبوت جهاز كهروميكانيكي يتطلب مهارة بشرية لأداء مجموعة متنوعة من المهام بالنظر الى هيكلها، فهو ملقم متعدد الوظائف وقابل لإعادة البرمجة والمصمم لتحريك مواد، أجزاء، أدوات، أو وسائل متخصصة من خلال حركات متنوعة مبرمجة من أجل انجاز مهام متنوعة. إن العنصر الأساسي في التعريف هو قابلية إعادة البرمجة، من ناحية أخرى، هناك روبوتات مستقلة وشبه مستقلة لديها مجموعة واسعة من التطبيقات مثل استكشاف الفضاء، والروبوتات الجراحية، والتطبيقات المنزلية. [1]

وأصبحت الروبوتات جزءاً من حياة الإنسان من خلال مساعدته في الحياة المهنية والشخصية وكذلك إبعاد العنصر البشري عن المواقف التي تنطوي على المخاطر والعمليات المتكررة والمتعبة وما إلى ذلك. يتم توسيع المهام والقدرات التي تؤديها الروبوتات للقيام بمهام مرهقة وخطيرة على حد سواء. من أجل إنجاز المهام بطرق شبيهة بالبشر ولتحقيق تعاون سليم وآمن بين البشر والروبوتات، يجب التفكير في أن تتمتع روبوتات المستقبل بالتميز البشري من حيث بنيتها وذكاؤها وردود أفعالها. لذلك، يمكن أن يكون الروبوت الذي يعمل تحت درجة معينة من الاستقلالية أنظمة كهروميكانيكية معقدة للغاية يتطلب وصفها التحليلي طرقاً متقدمة. [2]

يمكن اعتبار الروبوتات الصناعية على أنها آليات سلسلة مفتوحة وهي عبارة عن أنظمة أجسام صلبة متصلة بمفاصل مختلفة. تسمح المفاصل بأنواع معينة من الحركات النسبية بين الأجسام المتصلة

يسمى نظام الأجسام الصلبة المترابطة ببعضها البعض بالسلسلة الحركية. تسمى الأجسام الصلبة الفردية داخل السلسلة الحركية الروابط. يمكن أن تكون السلسلة الحركية

متسلسلة أو متوازية أو متسلسلة ومتوازية، أي يمكن أن تكون السلسلة الحركية مفتوحة أو مغلقة أو متفرعة. مطلوب حساب جميع النقاط الضرورية في الإحداثيات الديكارتية لأداء العملية بسلاسة. يشار إلى تحويل الإحداثيات الديكارتية إلى قيم زوايا المفاصل باسم الحركة العكسية.[3]

بعد الزيارة الميدانية لمعمل الشركة الدولية لدرفلة الحديد في حسياء منطقة أفران الصهر والوقوف على المشاكل التي تعرض لها العمال من حالات احتراق عديدة وحالات اختناق وللأسف بعض حالات الوفاة. لذلك تم اقتراح استخدام روبوت صناعي يحل مكان العامل البشري في تلك المنطقة الخطرة وذلك لأن العامل يتعرض لدرجات حرارة مرتفعة ناتجة عن الفرن التحريضي الذي يقوم بصهر المعادن وكمية كبيرة من الغازات السامة أخطرها اول أكسيد الكربون وغاز الكبريت ومن منطلق الحفاظ على أمن وسلامة العمال وتطبيق مبادا الامن الصناعي في المنشآت تم اختيار روبوت يقوم بمهام العمال في تلك المنطقة.

الروبوت المدروس روبوت صناعي يصنف كروبوت متمفصل، ويستخدم في تطبيقات منصات التحميل لتكوينه المتميز في الوصلات الرباعية فهي تشكل ميكانيزم يساعد في بقاء النهاية المؤثرة للروبوت موازية لسطح الأرض "أفقية" ويقوم بزيادة قدرة الروبوت على تحمل الحمولات بسبب توضع المحركات في القاعدة مما يخفف من عزوم العطالة ووزن الوصلات.

فهو شبيه من حيث البنية بروبوت شركة (ABB IRB 460) [4]

1.2. الروبوتات وإدارة السلامة : ROBOTICS AND SAFETY

يتولى البشر إدارة السلامة في الروبوتات. فيما يتعلق بسلامة الروبوت، يجب أن تأتي سلامة الإنسان أولاً، ثم سلامة الروبوت، وأخيراً سلامة المعدات الأخرى ذات الصلة. إن أخطر المواقف التي يجب على الإنسان أن يعمل فيها مع الروبوت هو عند إصلاحه. الموقف التالي الأكثر خطورة الذي يجب أن يعمل فيه الإنسان مع الروبوت هو أثناء تدريب الروبوت أو برمجته. أقل المواقف خطورة التي يجب أن يعمل فيها البشر مع الروبوت هي أثناء التشغيل العادي للروبوت. يحتاج العمال إلى الحماية من الروبوتات. يمكن أن تصيب الروبوتات العمال بعدة طرق، يجب تثقيف جميع العمال حول قضايا السلامة التي ينطوي عليها العمل مع الروبوتات أو غيرها من المعدات. فمثلاً عند استخدام روبوتات اللحام بالقوس، يجب وضع الدروع أو الستائر حول منطقة اللحام للحماية من الضوء الساطع للقوس [5].

1.3. مزايا الروبوتات ADVANTAGES OF ROBOTS

1. زيادة إنتاجية وسلامة وكفاءة وجودة واتساق المنتجات باستخدام الروبوتات.
2. يمكن أن تعمل الروبوتات في بيئات خطيرة دون الحاجة إلى الراحة أو القلق بشأن السلامة.
3. لا تحتاج الروبوتات إلى الراحة البيئية مثل الإضاءة وتكييف الهواء والتهوية وحماية الضوضاء.
4. يمكن أن تعمل الروبوتات بشكل مستمر دون التعرض للإرهاق أو الملل، وليس لديها مخلفات، ولا تحتاج إلى تأمين طبي أو إجازة.
5. تتمتع الروبوتات بدقة متكررة في جميع الأوقات، ما لم يحدث لها شيء وتخرج خارج الخدمة.
6. يمكن أن تكون الروبوتات أكثر دقة من البشر [6].

2. هدف البحث ومبرراته:

دراسة معادلات الحركة العكسية بالطريقة الهندسية وبالطريقة الرياضية ومقارنة زمن الحل بين الطريقتين من خلال حساب الزمن اللازم لتنفيذ المعادلات وذلك عن طريق إعطاء قيم احداثيات لعدة نقاط ضمن فضاء العمل وبالتالي معرفة قيم زوايا الدوران وذلك عبر برنامج (MATLAB) للتوصل الى الطريقة الأسرع في الحل العكسي وبالتالي تقليل الزمن الناتج عن مختلف العمليات الحسابية وخاصة عند تحديد المسار والذي يؤدي الى سرعة في الأداء المطلوب.

3.1. مواد وطرق البحث:

1. تم رسم 11 جزء من الروبوت كملف (Part) ومن ثم تجميع أجزائه في ملف (Assemble)، تم أخذ الأبعاد الاسمية للوصلات من موقع شركة ABB للروبوت IRB460 وذلك ضمن برنامج SOLIDWORKS 2020

2. بعد دراسة معادلات الحركة الأمامية والحركة العكسية للروبوت ونمذجتها ضمن MATLAB

a. تم كتابة ثلاثة (Function) وهي (Forword Kinematic) و (Invers Kinematic) والمقارنة بالزمن عن طريق تعليمة (Tic Toc) وذلك باستخدام برنامج MATLAB R2021b

3.2. فرضيات البحث

- 1- جميع احداثيات النقاط تم اختيارها بشكل عشوائي وضمن فضاء عمل الروبوت.
- 2- لم يأخذ بالاعتبار تعدد الحلول في المسئلة العكسية تم أخذ حل واحد بحيث يكون الحل محقق رياضيا وفيزيائيا.

3- قيم انحرافات الزوايا كانت ضمن مقدار الخطأ 0.001 راديان، ضمن القيم المسموح بها.

4- الدقة بين الطريقتين لم تكن معيارا للاختبار إنما السرعة في الأداء كون نمتلك تسامحات كبيرة ويمكن زيادة الدقة ولكن على حساب زمن المعالجة بتقليل مقدار قيمة الخطأ.

5- القيم المأخوذة في الطريقتين هي نفس الحداثيات (X, Y, Z)

6- تمت المقارنة بواسطة جهاز حاسب محمول (acer - NITRO 5) يحمل المواصفات التالية:

E-store
Nitro AN515-55

Rename this PC

i Device specifications

Copy ^

Device name	E-store
Processor	Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU @ 2.50GHz 2.50 GHz
Installed RAM	8.00 GB (7.83 GB usable)
Device ID	6D42A7AF-0FF1-44C4-95E4-3A4A80E10FBD
Product ID	00325-97279-48982-AAOEM
System type	64-bit operating system, x64-based processor
Pen and touch	No pen or touch input is available for this display

الشكل 1: مواصفات الجهاز المستخدم

3.3 الحركة الأمامية Forward Kinematics

تهتم الحركة الأمامية بإيجاد العلاقة بين متغيرات مفاصل الروبوت وموضع وتوجيه الأداة أو النهاية المؤثرة، أي أن هدف المسألة الأمامية هو إيجاد موضع وتوجيه الأداة بناءً على قيم متغيرات المفاصل.

3.3.1 السلاسل الحركية Kinematic Chains:

كما عرفنا سابقاً الروبوت على أنه مكون من مجموعة من الوصلات الصلبة التي تربط بينها مفاصل متنوعة ضمن سلسلة حركية مفتوحة. هذه المفاصل قد تكون بسيطة التركيب مثل المفاصل الدوارة أو الخطية ويمكن أن تكون أكثر تعقيداً مثل المفاصل الكروية، وغالباً ما تستخدم المفاصل الدورانية أو الانسحابية في أنشاء الروبوتات.

يكون للمفصل درجة حرية واحدة إما زاوية الدوران في حال المفاصل الدوارة أو الإزاحة في حال المفاصل الخطية. إذا يمكن ان يوصف عمل كل مفصل بعدد حقيقي واحد (إما إزاحة أو زاوية).

من أجل هذا نفرض أنه لدينا روبوت مكون من $(n + 1)$ وصلة مرقمة من $(n \leftarrow 0)$ مبتدئين من قاعدة الروبوت والتي تأخذ الرقم (0) ، اما المفاصل فإنها ترقم من $(n \leftarrow 1)$ والمفصل (i^{th}) ذي الترتيب (i) هو نقطة من الفراغ حيث تتصل الوصلات $(i - 1)$ و (i) . أما متحول هذا المفصل يدعى ب (q_i) ، هذا المتحول يكون مساوياً ل (θ_i) في حال كان هذا المفصل دوارةً ومساوياً ل (d_i) في حال كان المفصل انسحابياً وفق التالي:

$$q_i = \begin{cases} \theta_i, & \text{joint } i \text{ revolute} \\ d_i, & \text{joint } i \text{ prismatic} \end{cases} \quad (1-1)$$

لإجراء التحليل الحركي سنقوم بتثبيت جملة إحداثية على كل وصلة. بشكل عملي نقوم بتثبيت الجملة $O_i X_i Y_i Z_i$ على الوصلة i . مما يعني أنه بغض النظر عن الحركة التي سينفذها الروبوت فإن إحداثيات كل نقطة من الوصلة ذات الترقيم i ستبقى ثابتة نسبة للإطار $O_i X_i Y_i Z_i$.

بعد ذلك نعتبر A_i مصفوفة التحويل المتجانس والتي تعبر موضع وتوجيه الجملة $O_i X_i Y_i Z_i$ نسبة للجملة $O_{i-1} X_{i-1} Y_{i-1} Z_{i-1}$. هذه المصفوفة A_i ليست مقداراً ثابتاً، وإنما تتغير تبعاً لتغير وضعية الروبوت. على أي حال، فإن اعتبار كافة المفاصل سواء كانت انسحابية أو دورانية يعني أن المصفوفة A_i تابعة لتغير المفصل الوحيد والمسمى q_i أي:

$$A_i = A_i(q_i) \quad (2-1)$$

إن مصفوفة التحويل المتجانس التي تعبر عن موضع واتجاه الجملة $O_j X_j Y_j Z_j$ نسبة للإطار $O_i X_i Y_i Z_i$ تدعى بمصفوفة التحويل تسمى T_j^i وتعطى بالعلاقة التالية:

$$T_j^i = A_{i+1} A_{i+2} \dots A_{j-1} A_j \quad \text{if } i < j$$

$$T_j^i = I \quad \text{if } i = j \quad (3-1)$$

$$T_j^i = (T_i^j)^{-1} \quad \text{if } i > j$$

باستخدام نفس الأسلوب الذي ربطنا الاطر المختلفة مع الوصلات الموافقة، فإن موضع أي نقطة على الن هاية المؤثرة عندما يعبر عنه في الإطار (n) يكون ثابت ومستقل عن شكل الربوت. نرمز لموضوع واتجاه الن هاية المؤثرة بالنسبة للإطار القاعدي (الداخلي) بشعاع ثلاثي d_n^0 ومصفوفة دوران R_n^0 ذات الأبعاد 3×3 ونعرف بالتالي المصفوفة المتجانسة:

$$H = \begin{bmatrix} R_n^0 & d_n^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

وبالتالي فإن موضع واتجاه النهاية المؤثرة بالنسبة للإطار القاعدي يعطوا بالعلاقة:

$$H = T_n^0 = A_1(q_1) \dots \dots \dots A_n(q_n) \quad (5-1)$$

وكل تحويل متجانس A_i هو من الشكل:

$$A_i = \begin{bmatrix} R_i^{i-1} & d_i^{i-1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6-1)$$

وبالتالي:

$$T_j^i = A_{i+1}A_{i+2} \dots \dots A_{j-1}A_j = \begin{bmatrix} R_j^i & d_j^i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7-1)$$

في المعادلة السابقة المصفوفة R_j^i تعبر عن توجيه الإطار j نسبةً للإطار i وتعطى حسب مكونات التدوير للمصفوفات A بالعلاقة التالية:

$$R_j^i = R_{i+1}^i R_{i+2}^{i+1} \dots \dots \dots R_j^{j-1} \quad (8-1)$$

أما الأشعة d_j^i فتعطى بالعلاقة:

$$d_j^i = d_{j-1}^i + R_{j-1}^i \times d_j^{i-1} \quad (9-1)$$

إذا لتحديد الحركة المباشرة يجب تحديد التوابع $A_i(q_i)$ وضربهم معاً.

3.3.2. تمثيل دينايفيت هارتنبرغ Denavit Hartenberg Representation :

على الرغم أنه من يمكننا أن نجري كل عمليات التحليل في هذه الدراسة مستخدمين إطار عشوائي مرتبط مع كل وصلة، فإنه من الأفضل أن نتبع طريقة منظمة في اختيار هذه الأطر. بشكل عام يوجد طريقة لاختيار الأطر في دراسة الروبوت تعرف بطريقة دينايفيت هارتنبرغ ($D-H$). في هذه الطريقة نمثل كل تحويل متجانس $A_i(q_i)$ على أنه ناتج لأربع تحويلات متجانسة رئيسية وهي:

- التدوير حول المحور Z_i بزاوية θ_i .

- الإزاحة على المحور z_i بمقدار d_i .
- الإزاحة على المحور x_i بمقدار a_i .
- التدوير حول المحور x_i بزواوية α_i .

ويعبر عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$A_i = Rot_{z,\theta_i} Trans_{z,d_i} Trans_{x,a_i} Rot_{x,\alpha_i}$$

$$= \begin{bmatrix} C_{\theta_i} & -S_{\theta_i} & 0 & 0 \\ S_{\theta_i} & C_{\theta_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{\alpha_i} & -S_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & S_{\alpha_i} & C_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i * \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i * \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C_{\theta_i} & -S_{\theta_i}C_{\alpha_i} & S_{\theta_i}S_{\alpha_i} & a_iC_{\theta_i} \\ S_{\theta_i} & C_{\theta_i}C_{\alpha_i} & -C_{\theta_i}S_{\alpha_i} & a_iS_{\theta_i} \\ 0 & S_{\alpha_i} & C_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10-1)$$

حيث تمثل $(\theta_i, a_i, d_i, \alpha_i)$ بارامترات الوصلة i . هذه البارامترات تدعى بمايلي:

- a_i تدعى بالطول *Length*.
- α_i تدعى بالفتل *twist*.
- d_i تدعى بالإزاحة *offset*.
- θ_i تدعى بالزواوية *Angle*.

وبما أن المصفوفة هي تابع لمتحول واحد فإن ثلاث من البارامترات السابقة تكون ثابتة بالنسبة للوصلة المعطاة. بينما البارامتر الرابع θ_i للمفصل الدوار و d_i للمفصل الخطي

هو متحول المفصل. أي أنه يلزم في تمثيل دينايفيت هارتتبرغ 4 بارامترات فقط لتحديد التحويل المتجانس.

3.4. تصميم الروبوت باستخدام برنامج SolidWork:

تم اختيار الروبوت مشابه لروبوت (ABB IRB460) تم رسم الروبوت بالكامل على برنامج Solidwork، الروبوت ثلاثي درجة الحرية متمفصل ويحوي سلسلة مغلقة.

يوضح الشكل (2,3) مساقط مختلفة للروبوت المدروس.

النهاية المؤثرة (Gripper) يمكن استبدالها بأي أداة تبعا لنوع المهمة المطلوبة.

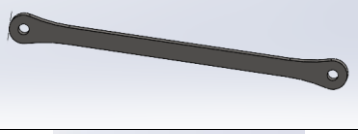
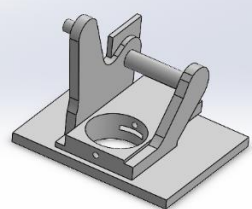
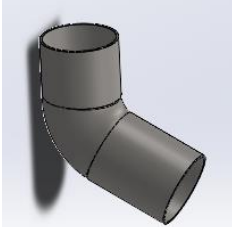
تم رسم 11 قطعة بصيغة part وباستخدام تعليمة Mate واستخدام امرين

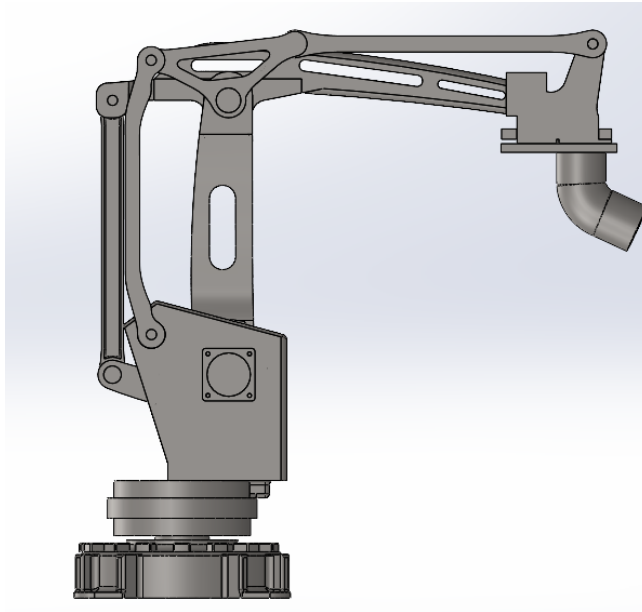
Concentric – Coincident ثم تجميعهم في ملف Assemble

الجدول 1: أجزاء الروبوت

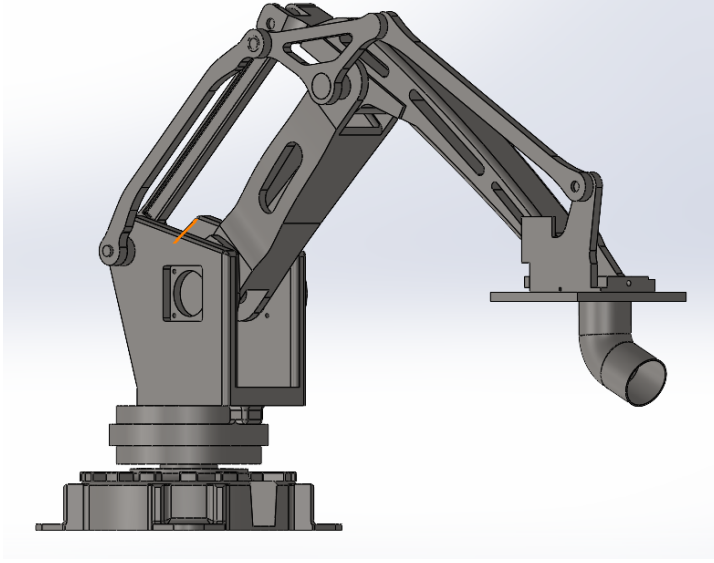
#	اسم القطعة	الشكل
1	Base	
2	Swing Base	

	Arm-P	3
	Link-P	4
	Lower Link	5
	Lower Arm	6
	Link Plate	7
	Upper Arm	8

	Upper Link	9
	Holder Grepper	10
	Cone	11



الشكل 2: مسقط أمامي للروبوت



الشكل 3: منظور للروبوت

3.5. النموذج الأمامي لذراع تحريك 3R متمفصل ذو سلسلة مغلقة:

إن أبسط طريقة لإيجاد العلاقة بين متغيرات المفاصل وإحداثيات وتوجيه النهاية المؤثرة لذراع التحريك هي طريقة (Denavit–Hartenberg) لأنها تعتمد على استخدام 4 متغيرات فقط من أصل 6 متغيرات لإيجاد مصفوفة التحويل المتجانس التي تربط القاعدة بالنهاية المؤثرة، وفيما يلي:

الجدول 2: DH الخاص بالروبوت المدروس

#	i	α_i	a_i	d_i	θ_i	
0-1	1	$\pi/2$	-L1	L0	θ_1^*	Active
1' - 4'	2	0	L2	0	θ_2^*	Active
1-2	3	0	L3	0	θ_3^*	Active
2-3	4	0	L2	0	θ_4^*	Passive
3-4	5	0	L3	0	θ_5^*	Passive
4-5	6	0	L4	0	0	Tcp

$$\theta_4 = \theta_2 - \theta_3 \quad (11-1)$$

$$\theta_5 = \pi - \theta_2 + \theta_3 \quad (12-1)$$

$$T_{tcp}^0 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_6$$

$$T_{tcp}^0 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & x \\ s_1 & 0 & -c_1 & y \\ 0 & 1 & 0 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13-1)$$

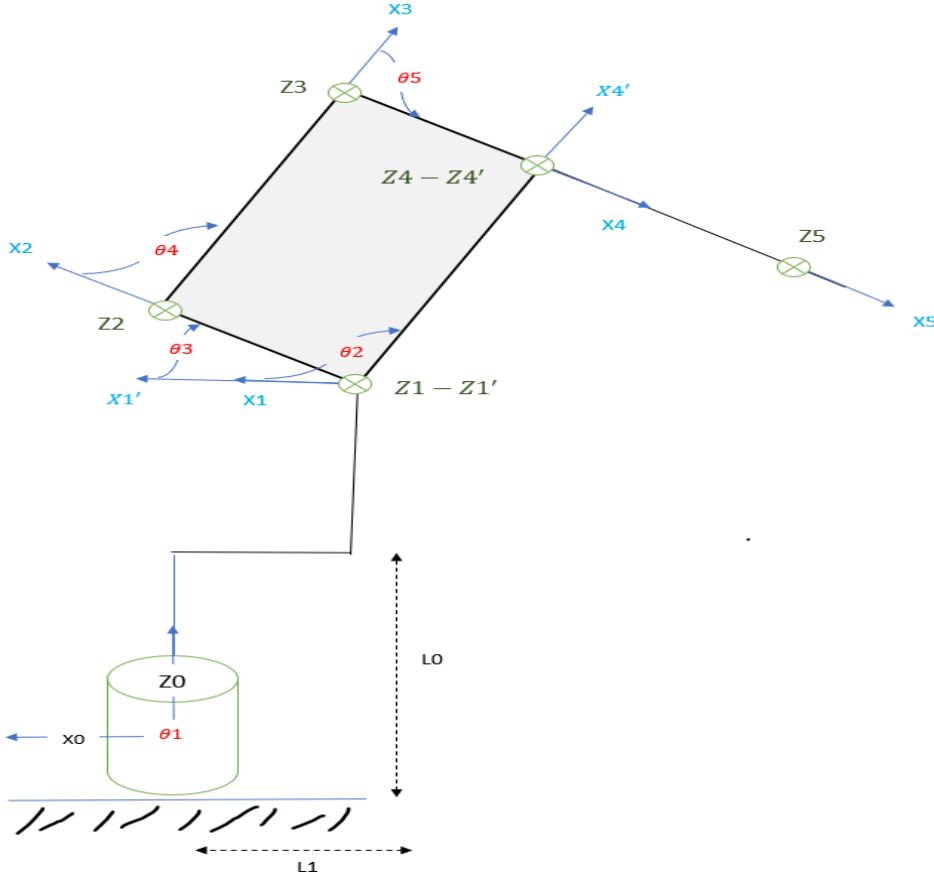
$$x = -c_1(l_0 - l_3 c_3 + l_4 c_2) \quad (14-1)$$

$$y = -s_1(l_0 - l_2 c_3 + l_4 c_2) \quad (15-1)$$

$$z = (l_0 - l_2 s_3 + l_4 s_2) \quad (16-1)$$

الجدول 3: أطوال الوصلات

	#
770 mm	L0
160 mm	L1
945 mm	L2
300 mm	L3
1025 mm	L4
اتجاه المحور نحو الداخل 	Z



الشكل 4: تحديد المحاور الاحداثية والأبعاد للمفاصل والوصلات النموذج الأمامي

3.6. الحركة العكسية Inverse Kinematics:

يهتم هذا الجزء بمشكلات إيجاد متغيرات المفاصل بدلالة كل من موضع واتجاه النهاية المؤثرة، وهذه هي مشكلة الحركات العكسية والتي هي أكثر صعوبة من مشكلة الحركات الأمامية.

حل مشكلة الحركة العكسية والتي تبدأ من حل المسألة انطلاقاً من معرفة معادلات الحركة الأمامية ومن أشهر هذه الطرق هي طريقة نيوتن رافسون التكرارية كما يوجد طرق أخرى مثل تطبيقات الذكاء الاصطناعي في حل هذه المشكلة ومن أبرز هذه

التطبيقات تعتبر الشبكات العصبونية وتعليم الآلة الذي يستخدم لتوقع قيم متغيرات المفاصل من أجل أي نقطة معطاة تقع ضمن فضاء عمل الروبوت وتستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي بكثرة في حل المشكلة العكسية للروبوتات فائقة المتانة.

3.6.1. المشكلة الرئيسية للحركة العكسية

:The General Inverse Kinematics Problem

تحدد المشكلة الرئيسية للحركات العكسية بإعطاء مصفوفة التحويل المتجانس والتي أبعادها 4×4 كالتالي:

$$H = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in SE(3) \quad (1-2)$$

وبما أن $R \in SO(3)$ فإنه يتوجب علينا إيجاد حل أو كافة حلول المعادلة التالية:

$$T_n^0(q_1, \dots, q_n) = H \quad (2-2)$$

حيث أن:

$$T_n^0(q_1, \dots, q_n) = A_1(q_1) \dots A_n(q_n) \quad (3-2)$$

تمثل H هنا الموضع والاتجاه المرغوبين للنهاية المؤثرة، وبما أن مهمتنا هي إيجاد قيم

$$T_n^0(q_1, \dots, q_n) = H \quad \text{لذلك فإن } (q_1, \dots, q_n) \text{ متغيرات المفاصل}$$

ينتج عن المعادلة (2-2) اثنتا عشر معادلة غير خطية ب n متغير غير معلوم والتي يمكن أن نكتبها كما يلي:

$$T_{ij}(q_1, \dots, q_n) = h_{ij}, \quad i = 1,2,3, \quad j = 1, \dots, 4 \quad (4-2)$$

حيث أن T_{ij}, h_{ij} تشيران إلى العناصر الأثني عشر للمصفوفات H و T_n^0 على التوالي وباعتبار أن السطر السفلي في كلا المصفوفتين ثابت ويساوي $(0,0,0,1)$ ، فإن أربعة من المعادلات الستة عشر تكون بديهية. إن المعادلات الناتجة من المعادلة (2-4) صعبة كثيراً ليتم حلها مباشرة بصيغة محددة وهذه هي حالة معظم أذرع الروبوتات، ولذلك فإننا نحتاج إلى تطوير التقنيات المنظمة والفعالة التي تستخدم البنية الحركية المستقلة لأذرع التحريك.

تمتلك دائماً مشكلة الحركة الأمامية حلاً وحيداً يمكن الحصول عليه ببساطة بتقدير معادلات الحركة الأمامية، في حين أنه قد لا يمكن حل مشكلات الحركات العكسية، وحتى لو تم إيجاد الحل فإنه قد لا يكون وحيداً. ومن ناحية أخرى ولأن معادلات الحركة الأمامية تمثل بصورة عامة توابع معقدة وغير خطية لمتغيرات المفصل فقد يكون من الصعب الحصول على الحلول حتى ولو كانت موجودة. تتعدد أساليب الحصول على الحركة العكسية فمنها ما يتم عبر إيجاد معادلات مقيدة ومن ثم التعويض فيها وغالباً ما تستنتج هذه المعادلات باستخدام الأسلوب الهندسي لحل المسألة العكسية وزوايا أو يُلر لحل مشكلة التوجيه العكسي، ومنها ما يتم عبر الحل العددي وخاصةً عندما تكون معادلات الحركة الأمامية معقدة جداً، ومنها ما يتم عبر تطبيق بعض خوارزميات الذكاء الصناعي.

تتميز الحلول ذات الشكل المقيد بشيئين: أولاً، في تطبيقات معينة كاتباع شق اللحم والذي يتم تزويد موقعه بجهاز بصري فإنه من الممكن حل معادلات الحركة العكسية لهل بمعدل سريع حوالي كل 20 جزء من الثانية ولا نحتاج هنا الى بحث متكرر وإنما يكون وجود عبارات جبرية مقيدة الشكل هو ضرورة فعلية. ثانياً، إن المعادلات الحركية تمتلك بشكل عام حلولاً متعددة، وإن وجود حلول مقيدة الشكل يسمح بتطوير أسس اختيار حل دقيق.

يعتمد السؤال العملي عن وجود حلول لمشكلات الحركة العكسية في الهندسة على اعتبارات رياضية. فعلى سبيل المثال قد تكون حركة المفاصل الملتفة محدودة بأقل من 360 درجة عند الدوران ولذلك من الممكن ألا تتوافق جميع الحول الرياضية مع الأشكال الفيزيائية القابلة للتحقيق بالنسبة لأذرع التحريك. ما أن يتم تحديد المعادلات الرياضية فيجب أن يتم التأكد منه بدقة لنرى فيما إذا كان يحقق جميع القيود في حدود الحركات الممكنة للمفصل.

3.6.2. الموضوع العكسي الأسلوب الهندسي

(Inverse position: Geometric Approach)

نستطيع أن نستخدم أسلوباً هندسياً بالنسبة للتنظيمات الحركية الشائعة التي درست لإيجاد المتغيرات q_3 و q_2 و q_1 بشكل مماثل ل o_c المعطاة بالمعادلة (2-3)، ونحصر اهتمامنا بالأسلوب الهندسي لسببين: أولاً، لقد قلنا إن معظم تصميمات أذرع التحريك الحالية بسيطة من الناحية الحركية وتتألف عادةً من خمسة أشكال أساسية وهذا ناشئ جزئياً عن صعوبة مشكلات الحركة العكسية العامة حتى تطورت تصاميم أذرع التحريك إلى حالتها الحالية. ثانياً، هناك بعض التقنيات التي تستطيع أن تعالج مشكلات الحركة العكسية للأشكال الاختيارية وبما أن الدارس يواجه غالباً أشكال الروبوت من الأنواع المدروسة هنا وبالتالي يمكن الاستدلال على التعقيد الإضافي في معالجة الحالة العامة. وبشكل عام يزداد تعقيد مشكلات المسألة العكسية مع قيم لبارامترات تمثيل دينايفيت هارتبرغ غير الصفرية. ومن أجل معظم أذرع التحريك فإن a_i, d_i هي صفر، و α_i هي صفر أو $\pm\pi/2$ ، ويكون الأسلوب الهندسي في هذه الحالات بشكل خاص هو الأكثر بساطة. إن الفكرة العامة للأسلوب الهندسي لإيجاد حل متغير المفصل q_i هي تصميم أذرع التحريك على المستوي (x_{i-1}, y_{i-1}) وحل مسائل علم المتثلثات البسيطة.

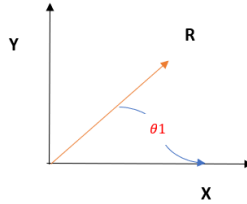
فمثلا لإيجاد θ_1 فإننا نصمم الذراع على المستوي (x_0, y_0) ونستخدم علم المتثلثات لإيجاد θ_1 . وفيما يلي إيجاد قيم متغيرات المفاصل الثلاث الأولى لذراع R3 المدروس في بحثنا هذا.

$$x = -c_1(l_0 - l_3c_3 + l_4c_2) \quad (5-2)$$

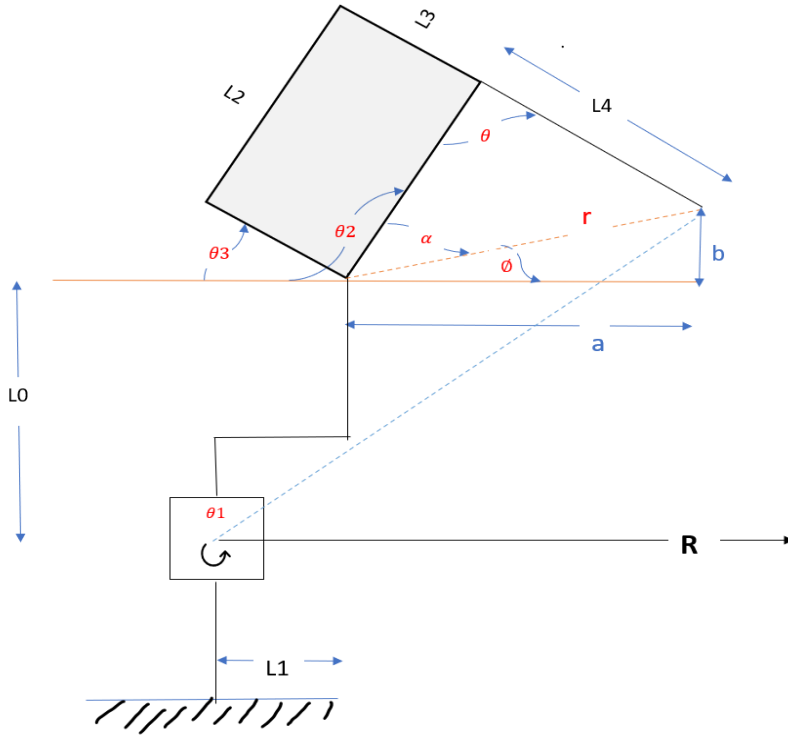
$$y = -s_1(l_0 - l_2c_3 + l_4c_2) \quad (6-2)$$

$$z = (l_0 - l_2s_3 + l_4s_2) \quad (7-2)$$

إن المعادلات تم الحصول عليها من خلال مصفوفة التحويل المتجانس الناتجة عن تطبيق قواعد (Denavit-Hartenberg) من أجل الحصول على النموذج الأمامي للروبوت.



الشكل 5: المسقط الأفقي للروبوت XY



الشكل 6: تمثيل الحل العكسي وقيم الزوايا

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (8-2)$$

$$\sqrt{x^2 + y^2} = l_0 - l_3 c_3 + l_4 c_2 \quad (9-2)$$

$$a = \sqrt{x^2 + y^2} - l_1 = -l_2 c_3 + l_4 c_2 \quad (10-2)$$

$$b = z - l_0 = -l_2 s_3 + l_4 s_2 \quad (11-2)$$

$$r^2 = a^2 + b^2 \quad (12-2)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (13-2)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{+l_2^2 - l_4^2 + r^2}{2l_2r}\right) \quad (14-2)$$

$$\theta_2 = \pi - \alpha - \varphi \quad (15-2)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{+l_2^2 + l_4^2 - r^2}{2l_2l_4}\right) \quad (16-2)$$

$$\theta_3 = \theta_2 - \theta \quad (17-2)$$

بعد إيجاد قيم الزوايا $(\theta_2, \theta_3, \theta_1)$ باستخدام الطريقة الهندسية عن طريق استخدام

المسقطين الأفقي (XY) والأمامي (RZ) تمت إضافة المعادلات على شكل

(Function) في MATLAB

وتم تحديد 5 نقاط ضمن فضاء عمل الروبوت وتم حساب الزمن اللازم لإيجاد قيم زوايا

الدوران التي عندها تتحقق النقطة المطلوبة والجدول التالي يبين القيم:

الجدول 4: يبين قيم الاحداثيات والزوايا والزمن بالطريقة الهندسية

#	X	Y	Z	θ_1	θ_2	θ_3	T(Sec)
1	-1185	0	1715	0	90	0	0.000011
2	-1553	0	713	0	135.02	45.02	0.000370
3	0	-1853	1438	90	134.98	0.02	0.000562
4	0	-828	413	90	135.02	90.024	0.000679
5	359	359	413	45	44.98	89.96	0.00026

3.7. الحل العددي للمسألة العكسية: Numerical Inverse Kinematics

يمكن استخدام الخوارزميات العددية التكرارية من أجل إيجاد المسألة العكسية في حال عدم توفر الحلول التحليلية. حتى في حال توافر الحلول التحليلية، فإن الخوارزميات العددية تستخدم لتحسين دقة الحلول.

كمثال، في روبوت PUMA قد تكون المحاور الثلاث الأخيرة غير متقاطعة في نقطة مشتركة مما يجعل من المستحيل تطبيق مبدأ الاستقلال الحركي لتبسيط المسألة، أو أن مفصل الكتف غير متعامد. في هذه الحالات، بدلاً من البحث عن المعادلات التي تعطي الحل التحليلي، فإننا نستخدم الطرق العددية في حساب هذه الحلول.

يوجد العديد من الطرق العددية التكرارية التي تستخدم في إيجاد جذور نظام معادلات لاخطي. وسنقوم بهذا البحث باعتماد خوارزمية نيوتن رافسون التكرارية. أيضاً، فإن طرق الأمثلة تكون مطلوبة في الحالات حيث يكون الحل غير موجود ويتوجب علينا عندها البحث عن الحل الأكثر قرباً. وسناقش فيما يلي خوارزمية نيوتن رافسون التكرارية لإيجاد جذور نظام لاخطي من المعادلات.

3.7.1. طريقة نيوتن رافسون Newton-Raphson Method:

لحل المعادلة $g(\theta) = 0$ بشكل عددي من أجل تابع معطى وقابل للاشتقاق $g: R \rightarrow R$ ، فإننا نفترض بأن θ_0 هو التخمين الابتدائي للحل. فننشر التابع $g(\theta)$ وفق منشور التaylor كالتالي:

$$g(\theta) = g(\theta_0) + \frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta_0)(\theta - \theta_0) + \text{higher - order terms}$$

(1-3)

$g(\theta)$: رياضي تابع

θ_0 : هو التخمين الابتدائي للحل

$$\theta_0) : \frac{\partial g}{\partial \theta} (\theta_0) \text{ مشتق التابع } g \text{ نسبة لـ } (\theta) \text{ والتعويض بـ } \theta_0$$

higher – order terms: الحدود العليا من منشور تايلور

k : رقم التكرار

وبإهمال جميع الحدود الأعلى من المرتبة الأولى وبمساواة قيمة التابع بالصفر أي

$$g(\theta) = 0 \text{ يصبح لدينا:}$$

$$\theta = \theta_0 - \left(\frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta_0)\right)^{-1} g(\theta_0) \quad (2-3)$$

وباستخدام القيم الناتجة للمتغير θ كتخمين للجاء وبتكرار تنفيذ المعادلات (18-5)

و(19-5) ينتج لدينا الحل العددي التكراري وفق التالي:

$$\theta_{k+1} = \theta_k - \left(\frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta_k)\right)^{-1} g(\theta_k) \quad (3-3)$$

تكرر العلاقة السابقة حتى الوصول إلى معيار الوقف والذي غالباً ما يعرف بدقة الحل

بحيث يعطى بالعلاقة:

$$\frac{|g(\theta_{k+1}) - g(\theta_k)|}{|g(\theta_k)|} \leq \varepsilon \quad (4-3)$$

حيث ε هو مقدار الخطأ المسموح به ويقوم المستخدم بتحديد هذا العامل.

إن المناقشة السابقة كانت في حال المعادلة المطلوب حلها أحادية البعد أما إذا

كانت متعددة الأبعاد أي أن $g: R^n \rightarrow R^n$ فنستخدم نفس الأسلوب ولكن مع الأخذ

بعين الاعتبار بأن المشتق عبارة عن مصفوفة تعطى بالعلاقة:

$$\frac{\partial g}{\partial \theta}(\theta) = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial \theta_1}(\theta) & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial \theta_n}(\theta) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial g_n}{\partial \theta_1}(\theta) & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial \theta_n}(\theta) \end{bmatrix} \in R^{n \times n} \quad (5-3)$$

وفي الفقر التالية سنناقش حالة المصفوفة غير القابلة للقلب.

3.8.1. خوارزمية الحل العددي للمسألة العكسية

:Numerical Inverse Kinematics Algorithm

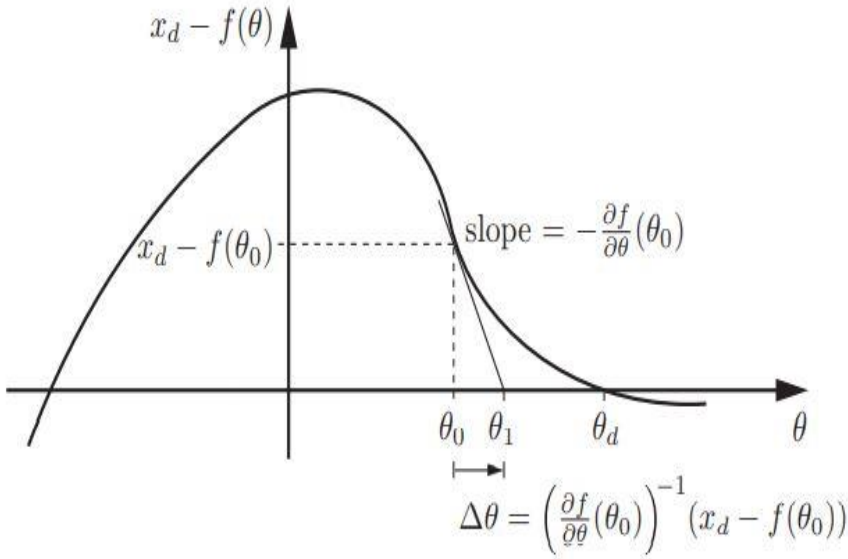
لنفترض بأنه تم التعبير عن موضع واتجاه النهاية المؤثرة لروبوت مكون من n وصلة نسبة للإطار القاعدي بالشعاع x والذي ينتج من إيجاد المسألة الأمامية لهذا الروبوت أي:

$$x = f(q) \quad (6-3)$$

تكون معادلات الحركة الناتجة عن إيجاد الحركة الامامية والمضمنة في الشعاع x معادلات لاخطية تربط بين موضع واتجاه النهاية المؤثرة وشعاع متغيرات المفاصل. ولنفترض أن التابع معرف كالأتي $f: R^n \rightarrow R^m$ وقابل للاشتقاق، وليكن الشعاع x_d شعاع يمثل الموضع والتوجيه المرغوب للأداة. عندها نعرف التابع المستخدم في خوارزمية نيوتن رافسون كالتالي:

n : عدد الاحداثيات المدروسة

m : عدد متغيرات المفاصل



$$g(q_d) = x_d - f(q_d) = 0 \quad (7-3)$$

من الشكل (1-3) نلاحظ أن الخطوة الأولى في تطبيق خوارزمية نيوتن رافسون لإيجاد جذور معادلة لا خطية هي تحديد التخمين الابتدائي لشعاع المفاصل، عندها يكون ميل المماس $-\frac{\partial f}{\partial q}$ مولداً عند النقطة $(q_0, x_d - f(q_0))$ ، ثم نوجد قيمة المتغير q_1 ونوجد ميل المماس من جديد حتى نصل إلى الحل.

من اجل التخمين الأولى لشعاع متغيرات المفاصل q_0 والذي يجب أن يكون أقرب ما يكمن إلى الهدف q_d عندها يمكن التعبير عن الحركة الأمامية وفق منشور تايلور كالتالي:

$$x_d = f(q_0) + \frac{\partial f}{\partial q} |_{q_0} + (q_d - q_0) + h. o. t \quad (8-3)$$

$$J(q_0) = \frac{\partial f}{\partial q} |_{q_0}, \Delta q = (q_0) \quad (9-3)$$

حيث أن $J(q_0) \in R^{m \times n}$. بإزالة الحدود الأكبر من المرتبة الأولى في المعادلة (8-3) نكتب:

$$J(q_0)\Delta q = x_d - f(q_0) \quad (10-3)$$

في حال كانت مصفوفة الجاكوبيان مربعة أي $m = n$ عندها نستطيع عزل Δq وفق التالي:

$$\Delta q = J(q_0)^{-1}(x_d - f(q_0)) \quad (11-3)$$

وباعتبار أن تغير q خطي عندها يكون:

$$q_1 = q_0 + \Delta q$$

$$= J(q_0)^{-1}e + q_0, e = (x_d - f(q_0))$$

أما إذا كانت مصفوفة الجاكوبيان غير مربعة أي عندها نلجأ إلى استخدام المقلوب الافتراضي أو الزائف وفق التالي:

$$q_1 = J(q_0)^{\dagger}e + q_0 \quad (12-3)$$

حيث يحسب المقلوب الافتراضي بالعلاقة التالية إذا كان $n > m$ ويدعى حينها بالمقلوب الأيمن

$$J^{\dagger} = J^T(JJ^T)^{-1}, JJ^{\dagger} = I \quad (13-3)$$

أما إذا كانت $n < m$ عندها يدعى بالمقلوب الأيسر ويعطى بالعلاقة:

$$J^\dagger = (J^T J)^{-1} J^T, \quad J^\dagger J = I \quad (14-3)$$

وفي حال كانت $m = n$ حينها يكون $J^\dagger = J^{-1}$ ، لذلك سنكتب الخطوات المتبعة وفق خوارزمية نيوتن رافسون التكرارية بشكل مختصر كالآتي:

- نقوم بتحديد الموضع المرغوب $x_d \in R^m$ وتحديد التخمين الابتدائي q_0 وبفرض $i = 0$.

- نقوم بتعريف تابع الخطأ كالتالي:

$$e = (x_d - f(q_0))$$

- نقوم بتكرار الخطوات التالية طالما أن القيمة المطلقة لتابع الخطأ أكبر من معامل الخطأ ε وفق التالي:

❖ نوجد القيمة التالية لشعاع المتغيرات وفق العلاقة:

$$q_{i+1} = J(q_i)^\dagger e + q_i \quad (15-3)$$

❖ نقوم بزيادة المتغير i .

يبين الجدول (5) الحل العكسي لعدد من النقاط باستخدام الحل العددي:

حيث تم كتابة المعادلات على شكل (Function) في MATLAB وتم تحديد 5 نقاط ضمن فضاء عمل الروبوت وتم حساب الزمن اللازم لإيجاد قيم زوايا الدوران التي عندها تتحقق النقطة المطلوبة.

- المدة الزمنية للحل تختلف باختلاف التخمين الابتدائي للحل

الجدول 5: يبين قيم الاحداثيات والزوايا والزمن باستخدام الحل العددي

#	X	Y	Z	θ_1	θ_2	θ_3	T(Sec)
1	-1185	0	1715	0	90	0	0.001818
2	-1553	0	713	0	135	45	0.013091
3	0	-1853	1438	90	135	0	0.0395
4	0	-828	413	90	135	90	0.002726
5	359	359	413	45	45	90	0.001072

4. استنتاجات ومناقشة النتائج:

- المسألة العكسية يمكن حلها بأكثر من طريقة، على ضوء فرضيات البحث التي ذكرناها أعلاه، استنتجنا مما سبق بعد ايجاد معادلات الحركة الأمامية والحركة العكسية للروبوت المدروس، ووجدنا بالمقارنة بين الجدولين (4) و(5) بأن الحل الهندسي أسرع من الحل العددي في إيجاد قيم متغيرات المفاصل، فالمتوسط الحسابي للقيم الهندسية (0.0003764) والمتوسط الحسابي للطريقة الرياضية (0.0116414) وبالتالي الطريقة الهندسية أسرع ب 3.23 مرة.
- ، الى أن هذا الحل يتغير بتغير التركيب الحركي للذراع بالإضافة الى استحالة تطبيقه على الأذرع الروبوتية التي تمتلك أكثر من ست درجات حرية أي في حالة (Redundant Robots) لان في هذه الحالة يكون عدد المعادلات أقل من عدد المجاهيل كما يتغير باختلاف التخمين الابتدائي للحل في الطريقة الرياضية.

- كما تزداد المسألة العكسية صعوبة عندما تكون معظم بارامترات جدل DH غير صفرية أو عند عدم إمكانية تطبيق مبدأ الاستقلال الحركي والذي ينتج غالبا بسبب عدم تطابق مراكز مفاصل المعصم.
- لذلك نجد أن الحل الهندسي أكثر استخداما في الروبوتات ذات درجات الحرية الأقل من ست درجات.

5. توصيات

- استخدام الحل الهندسي عند دراسة روبوتات درجات حريتها 6 أو أقل مع إمكانية تطبيق مبدأ الاستقلال الحركي وذلك بسبب السرعة في الحل وبالتالي التأثير في قيم الزمن الحقيقي بسبب تسريعها عمليات المعالجة.
- في حال الروبوتات التي تمتلك أكثر من 6 درجات حرية (Redundant Robots) فلا يمكن استخدام الحل الهندسي إنما الحل العددي أو طرق أخرى في الحل وذلك كون عدد المجاهيل أكثر من عدد المعادلات التي يمكن الحصول عليها.
- دراسة طرق أخرى لإيجاد حل المسألة العكسية والمقارنة بينهم من حيث السرعة والدقة في الحل.

6. المراجع العلمية

1. Richard M. Murray ،Zexiang Li, S. Shankar Sastry, 1994–
A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation ،
<http://www.crcpress.com/product/isbn/9780849379819>
2. Stig Moberg, 2010 –**Modeling and Control of Flexible Manipulators**, www.control.isy.liu.se
3. Herman Høifødt, 2011- **Dynamic Modeling and Simulation of Robot Manipulators, The Newton–Euler Formulation**
4. **abb.com/robotics**
5. Eng. Silcotub S. A. Eng. "Dinu Lipatti" Prof. eng. "Gh. Asachi, 2018 – "**ROBOTS USED IN AUXILIARY OPERATIONS OF ELECTRIC ARC STEEL FURNACES**
6. A. K. Gupta/S. K. Arora/J. R. Westcott. 2016– Industrial **Automation and Robotics**. www.mercclearning.com
7. Panchanand jha. 2015– Doctor of Philosophy IN INDUSTRIAL DESIGN **Inverse Kinematic Analysis of Robot Manipulators**

دراسة كفاءة تكوين محول التعزيز Boost في توفير القدرة الكهربائية اللازمة لشحن المركبات الكهربائية

طالب الدراسات العليا: محمد فرحان بسام الحلبي

كلية: الهمك - جامعة: تشرين

الدكتور المشرف: جورج إسبر + د. غسان حايك

ملخص الدراسة

توفر أشباه الموصلات مزايًا كبيرة في المجالات الإلكترونية نظرًا لخصائصها الموصلة والعازلة. يعد اختيار العناصر الإلكترونية وفقاً للدائرة المستخدمة أمراً مهماً لكفاءة النظام. على الرغم من وجود اختلافات هيكلية بين أشباه الموصلات، إلا أن أعراض استخدامها متشابهة مع بعضها البعض. في هذه الدراسة، تم التدقيق في آثار تبديل الترانزستورات على دائرة محول BOOST. تتم مقارنة MOSFET - BJT و IGBT مع بعضهما البعض للتبديل في نطاقات تردد مختلفة تحت نفس ظروف الدائرة. وبالتالي، يتم تحليل كيفية تفاعلهم في ظل الظروف والمواقف الأكثر كفاءة من خلال دوائر المحاكاة و في التطبيق العملي.

حيث أنه تم فحص كفاءة الترانزستورات في دارة يتم استخدامها لتوفير طاقة قادرة على شحن المركبات الكهربائية كخيار شحن طارئ أو رديف للطرق المستخدمة وأظهرت الدراسة في نتائجها قدرة وحدة الشحن المقترحة على شحن بطارية السيارات الكهربائية والتغلب على عقبات استخدام الكترونيات القدرة في المنظومات التي تحتاج إلى تيارات عالية من خلال اختيار عناصر ذات كفاءة عالية.

الكلمات المفتاحية: الكترونيات القدرة الكهربائية، أجهزة شحن المركبات الكهربائية،

مكونات أشباه الموصلات، محول التعزيز، BJT-MOSFET-IGBT.

Studying the efficiency of the Boost converter configuration in providing the electric power needed to charge electric vehicles

Abstract

Semiconductors offer significant advantages in electronic fields due to their conductive and insulating properties. The selection of electronic components according to the circuit used is important for the efficiency of the system.

Although there are structural differences between semiconductors, their usage purposes are similar to each other. In this study, the effects of switching transistors on the BOOST converter circuit were investigated. BJT - MOSFET and IGBT are compared with each other to switch in different frequency bands under the same circuit conditions. Thus, how they interact under the most efficient conditions and situations is analyzed through simulation circuits and in practical application.

Whereas, the efficiency of transistors has been examined in a circuit that is used to provide energy capable of charging electric vehicles as an emergency charging option or as an alternative to the methods used.

In its results, the study showed the ability of the proposed charging unit to charge the battery of electric cars and overcome the obstacles of using power electronics in systems that need high currents by selecting high-efficiency elements.

Keywords: power electronics, electric vehicle chargers, semiconductor components, boost converter, BJT-MOSFET-IGBT.

1. مقدمة :

يعد قطاع النقل من أكثر القطاعات التي يتم فيها استهلاك الوقود الأحفوري وله آثار سلبية على البيئة. نظرًا لاستنفاد الوقود الأحفوري و2مشاكل الاحتباس الحراري، فقد اكتسب الانتقال من المركبات (الكلاسيكية) ذات محركات الاحتراق الداخلي إلى المركبات ذات المحركات الكهربائية أهمية كبيرة. ومع ذلك، فإن العديد من العوامل تسببت في إعاقة انتشار السيارات الكهربائية مثل تكلفة الإنتاج، وارتفاع سعر البيع، وقصر المدى، ووقت الشحن الطويل، وموقع محطات الشحن، والبنية التحتية الغير الكافية [1].

مع تطور تكنولوجيا البطاريات، أدى استكشاف واستخدام بطارية ليثيوم أيون بوليمير ذات السعة العالية وكثافة الطاقة إلى تسريع استخدام السيارات الكهربائية. وأيضاً هناك عوامل أخرى تؤثر بشكل إيجابي على انتشار السيارات الكهربائية حيث أن تكاليف إنتاج المركبات الكهربائية أقل بكثير من المركبات التقليدية، فهي تحتوي على أجزاء متحركة أقل بكثير، ونتيجة لذلك، فإنها تتعرض لأعطال أقل، وتشخيص هذه الأعطال وإصلاحها أسرع وأسهل، وتتطلب عمالة أقل. و مع ذلك هناك مشكلة أخرى مهمة تؤثر على تطورها ألا وهي مشكلة شحن السيارات الكهربائية [2].

في الجزء الأول من هذه الدراسة، بعد عملية البحث تم استعراض بعض الدراسات الموجودة حول تطوير أنظمة شحن السيارات الكهربائية. حيث تم تقديم التصنيف العام لأنظمة الشحن الحالية، إلى جانب خصائصها. ثم على وجه الخصوص، تم التطرق إلى أنظمة الشحن التي يتم تغذيتها بالطاقة الشمسية من مصادر الطاقة المتجددة، وتم عرض أنواع الدوائر وبعض الهياكل المستخدمة حالياً في هذه الأنظمة.

في الجزء الثاني من دراستنا، تم ذكر النظام المقترح. يتم تشغيل النظام المقترح بالطاقة الشمسية ويتضمن وحدة شحن تعتمد على أنظمة إلكترونيات القدرة.

لزيادة تسريع انتشار السيارات الكهربائية، زادت بشكل كبير الجهود المبذولة والدراسات المقدمة لتحسين البنية التحتية لمحطات الشحن، ونشرها على نطاق أوسع، وتشغيلها بشكل أكثر كفاءة. تهتم هذه الدراسات بكل من الأنظمة السكنية وأجهزة الشحن العامة التجارية وتسعى لتهيئ فرص أكبر لانتشار هذا النوع من السيارات في الأماكن التي تعاني من شح في موارد الوقود الأحفوري.

على وجه الخصوص، من المتوقع أن يزداد الطلب على محطات الشحن السريع، مما سيثجع المستهلكين على استخدام السيارات الكهربائية لمسافات طويلة [1,3,4].

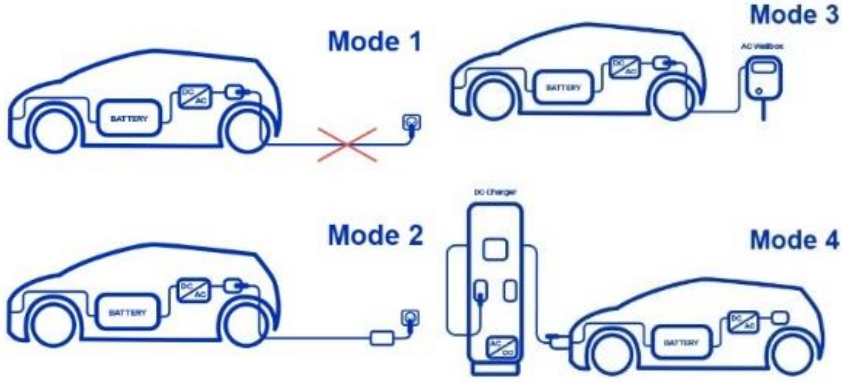
2. تقنيات شحن المركبات الكهربائية:

يتم تصنيف أنظمة شحن البطارية المستخدمة كمصدر للطاقة في السيارات الكهربائية وفقاً لمعايير مختلفة. حسب مكان الاستخدام تنقسم أنظمة الشحن إلى قسمين: أنظمة الشحن المنزلية ومحطات الشحن التجارية. ومع ذلك، عند إجراء التصنيف وفقاً لموضع وحدة الشحن، يتم تقسيمه إلى نوعين كوحدة شحن داخلية (داخل السيارة) وخارجية (خارج السيارة). تم إجراء هذا التصنيف وفقاً للمعايير الأوروبية IEC 61851-1، اعتماداً على سرعة وكفاءة دائرة الشحن [4].

2.1 وحدات الشحن الداخلية (On-Board Charger):

في السيارات الكهربائية المزودة بنظام شحن داخلي مدمج، تتم عملية الشحن من خلال نقل الطاقة إلى بطارية السيارة على شكل تيار مستمر بعد عملية تقويم التيار المتردد أحادي الطور أو ثلاثي الطور القادم من الشبكة الكهربائية. وفقاً للتصنيف الذي

تم إجراؤه، يشتمل نظام الشحن الداخلي على ثلاثة مستويات شحن مختلفة وفقاً لسرعة الشحن، وتُعرف باسم الوضع 1 والوضع 2 والوضع 3 (الشكل 1) [5].



الشكل 1. أوضاع الشحن (المستويات)

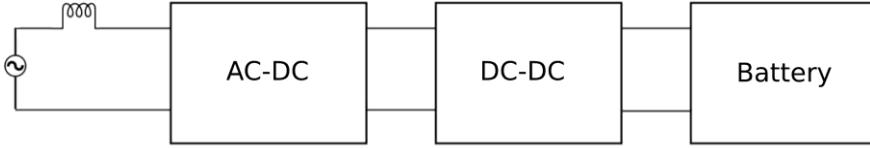
Charging levels	Phase	Voltage (VAC)	Current (A)	Power (kVA)
Level 1	1-phase	120	12	1.44
Level 2	1- or 3-phase	208/240	32	7.7
Level 3	3-phase	480	100	48.0

الجدول 1. مستويات شحن المركبات الكهربائية.

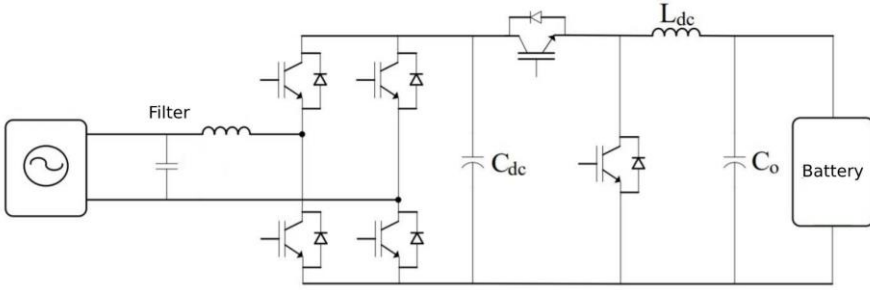
في الوضع 1، يتم الشحن عن طريق توصيل السيارة الكهربائية مباشرة بمأخذ التيار المتردد باستخدام كابل تمديد بسيط ومنفذ قياسي. تُعرف الطريقة في هذا المستوى باسم طريقة الشحن البطيء.

في الوضع 2، يتم شحن حزمة البطارية باستخدام صندوق التحكم الموجود على الكبل الذي يربط منفذ التيار المتردد بالمركبة، وتتمثل مهمة صندوق التحكم في توفير التيار والجهد المناسبين للسيارة بأمان.

يوضح الشكل 2 والشكل 3 المخططات الهيكلية وطوبولوجيا الدوائر لأنظمة الشحن المستخدمة في الوضع 1 والوضع 2.



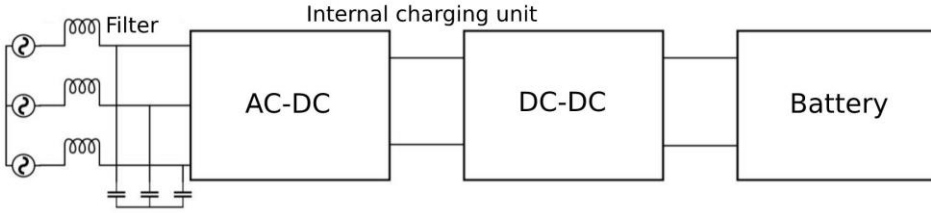
الشكل 2. مخطط كتلة الوضع 1 والوضع 2



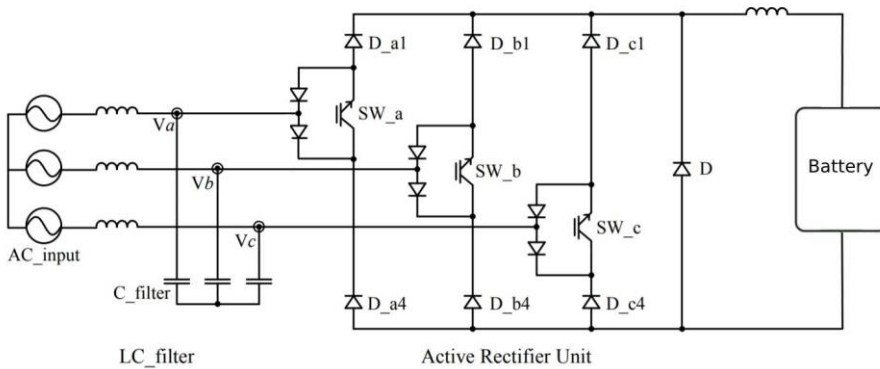
الشكل 3. طوبولوجيا دائرة الوضع 1 والوضع 2.

يشبه النظام المستخدم في الوضع 3 الوضع 2، فيما عدا أن صندوق التحكم مدمج مباشرة في التيار الكهربائي، وليس في الكبل. في هذا المستوى، يتم شحن السيارة من خلال نظام إمداد بالطاقة متصل باستمرار بشبكة الكهرباء [6].

يوضح الشكل 4 والشكل 5. مخطط كتلة نظام الشحن المتصل بالوضع 3 وطوبولوجيا الدائرة لوحدة الشحن [7].



الشكل 4. رسم تخطيطي للوضع 3



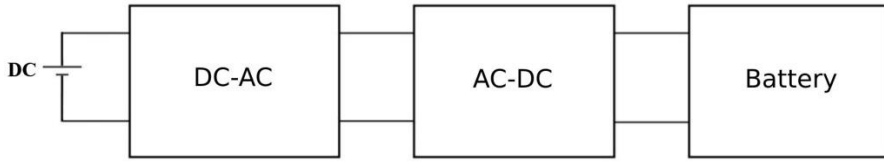
الشكل 5. طوبولوجيا الوضع 3 للدائرة [7].

2.2. وحدة الشحن الخارجية (الشحن خارج اللوحة):

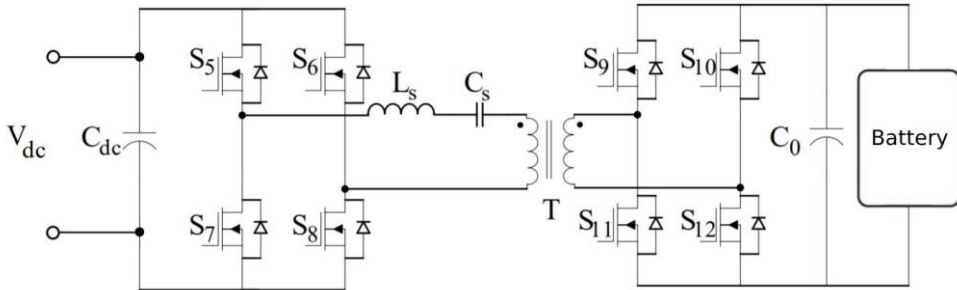
يتم شحن بطاريات المركبات بناءً على طريقة الشحن الخارجية عن طريق تقديم التيار المستمر مباشرة لبطارية السيارة من الشاحن الخارجي، متجاوزًا الشاحن الموجود على متنها. هذه الطريقة تسمى طريقة شحن التيار المباشر، ويتم تعريفها على أنها الوضع 4 [8-12]. يمكن أن يوفر شحن التيار المستمر مستويات طاقة عالية جدًا مقارنة بمستويات التيار المتردد 1 و2، حيث يتم شحن أكثر من 2/1 من سعة بطارية السيارة في أقل من 10 دقائق.

بشكل عام، يتكون هيكل وحدة الشحن المستخدمة في هذه الحالة من مرحلتين: مقوم AC-DC، ومحول DC-DC. مرحلة AC-DC هي مرحلة تقويم التيار المتردد من الشبكة، ويمكن استخدام عدة أنواع من مقومات AC-DC لهذه المرحلة. ثم يتم استخدام طوبولوجيا محول DC-DC مختلفة. تصنف طوبولوجيا محولات DC-DC إلى صنفين، معزولة (بمحول عالي التردد) وغير معزولة (دائرة إلكترونيات القدرة) وفقاً للحاجة إلى مستويات الجهد المختلفة ونوع النظام المستخدم. في محولات DC-DC المعزولة، يتم تحويل التيار المستمر إلى شكل AC وتعديله إلى مستوى الجهد المطلوب بمساعدة المحول، ثم يتم تقويمه مرة أخرى إلى شكل DC.

من ناحية أخرى، يتم استخدام دوائر إلكترونيات القدرة المختلفة في محولات DC-DC الغير المعزولة. يُظهر الشكل 6 والشكل 7 طوبولوجيا الدوائر ومخططات الكتلة للنظام المعزول.



الشكل 6. مخطط الوضع 4 (مرحلة DC-DC معزولة)



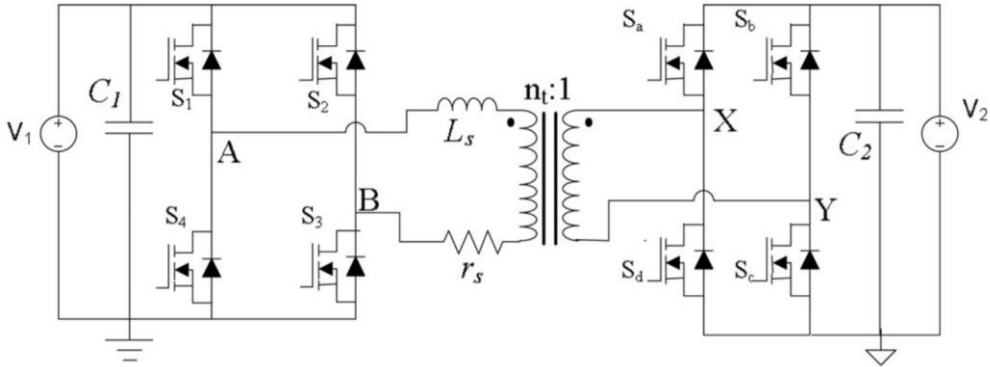
الشكل 7. دائرة محول DC-DC معزولة.

2. 3. محطات الشحن المدعومة بالطاقة الكهروضوئية:

يسبب الشحن باستخدام نظام الطاقة من الشبكة حملاً إضافياً على شبكة الكهرباء، خاصة خلال فترات ذروة الطلب. ومع ازدياد انتشار السيارات الكهربائية، سوف يزداد عدد وحدات الشحن وبالتالي ستزداد الحاجة إلى مصادر طاقة جديدة لتلبية الاستهلاك المتزايد. يعد الشحن باستخدام مصادر الطاقة المتجددة أحد الحلول المناسبة لتقليل التأثير السلبي. مع انخفاض أسعار الوحدات الكهروضوئية وسرعة انتشارها، تعد الطاقة الشمسية مصدرًا جيدًا لهذا الغرض. تعد الألواح الشمسية أكثر مصادر الطاقة المتجددة شيوعًا وتتميز بخصائصها الفريدة وتطورها المتنوع والتقدم التقني.

إنه حل اقتصادي ومريح لشحن المركبات الكهربائية في أماكن العمل ومواقف السيارات. أيضًا، من أفضل ميزات وحدات الطاقة الشمسية إمكانية تصميم محطات شحن بعيدة الشبكة (Off-Grid) [8,13]. في محطات التي تعتمد على الطاقة الشمسية تُستخدم تقنيات تحويل DC-DC لعدة أهداف منها تخزين الطاقة القادمة من الألواح الشمسية أو نقلها إلى الحمل (بطارية السيارة) فهي تقدم فرق الجهد والتيار المناسبين لبطارية السيارة الجاري شحنها.

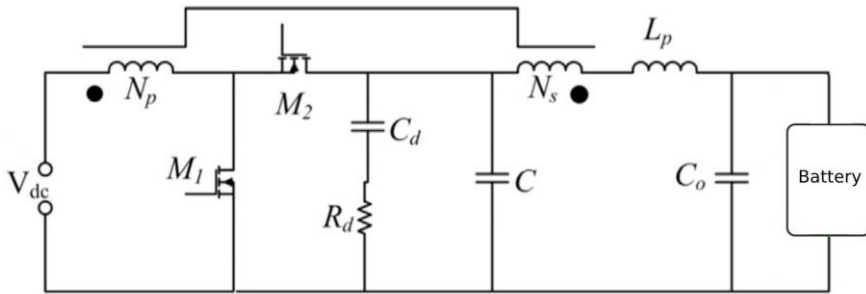
تُفضل أجهزة الشحن المعزولة في بعض التطبيقات على الأنواع غير المعزولة لتحقيق مكاسب عالية. من عائلة المحولات ثنائية الاتجاه المعزولة، تستعرض طوبولوجيا محول الجسر المزدوج في الشكل 8.



الشكل 8. محول تيار مستمر مزدوج معزول .

في أجهزة الشحن الأخرى غير المعزولة يتم استخدام دارات كهربية مختلفة أشهرها دارات الكترولونات القدرة، تستخدم الدوائر ثنائية الاتجاه لتوفير تحكم كامل في الطاقة. ومع ذلك، فإن هذه الخاصية غير مطلوبة عندما لا تكون هناك حاجة لإعادة الطاقة من بطارية السيارة إلى الشبكة (حالة من مركبة إلى شبكة).

التكوين الأساسي لشاحن التيار المستمر ثنائي الاتجاه هو محول dc-dc ذو الربيعين. يعمل كمخفض للجهد أثناء الشحن وكمعزز أثناء التفريغ.



الشكل 9. المحول الإلكتروني ثنائي الاتجاه غير المعزول للتيار المستمر بتيار مستمر.

فيما عدا ذلك، تمت الإشارة الى العديد من محولات التيار المستمر في المراجع التي يمكن استخدامها بشكل مناسب لشحن بطارية السيارة الكهربائية [8,13].

3. الدراسة المرجعية:

-المراجع [1]،[2]،[3]،[4]،[5] تعرض مزايا استخدام المركبات الكهربائية في سبيل تقليل استهلاك الوقود الأحفوري، بالإضافة للمشاكل البيئية الناجمة عن تزايد استخدام المركبات ذات محركات الإحتراق الداخلي و العلاقة الطردية لتزايد إنبعاث الغازات الضارة في الأجواء مع زيادة استخدام هذا النوع من السيارات. كما تعكس الأبحاث نشأة السيارات الكهربائية كحل مناسب بما تشمله من تطور تكنولوجي في تكوين المحرك، ليتم استخدام هذا النوع من السيارات بشكل فعال. لتتناول الأبحاث معدل ازدياد استخدام السيارات الكهربائية بالإضافة لاكتساب فهم عام لتقنيات الشحن و الطوبولوجيا المستخدمة لهذا الغرض. كما شرحت المراجع أهمية الشواحن التي يمكن أن تمنح السيارات الطاقة الكهربائية لمرات متعددة تبعاً لأماكن تواجدها و مستوياتها، بالإضافة لذكر الطرق الحالية لشحن السيارات الكهربائية و العقبات الموجودة في هذا الشأن.

-المراجع [6]،[7]،[8]،[9]،[10] تتناول شرح لطريقة عمل محولات DC/DC و يشرح كافة مراحل التبديل بما فيها زمن الاستقرار وطرق التشغيل الأمثل. ليتم إقتراح مبدل DC/DC معزول ثنائي الاتجاه لشحن و تفريغ البطاريات الكهربائية لتقليل المفايد في ظل الأحمال الخفيفة. تعرض المراجع أيضاً الطوبولوجيا الخاصة بمبدل Boost وتشرح آلية العمل الخاصة به ودوره الهام بتحسين كفاءة SMPS.

-المراجع [11]،[12]،[13] تقدم طرق تسريع شحن المركبات الكهربائية و ذلك من خلال تصنيف الشواحن تبعاً للإستطاعات و أماكن تواجد الشواحن (داخل/خارج) السيارة. يقترح الباحثون طوبولوجيا شاحن خارجي لتوفير شحن سريع. كما تتناول الدراسات تفصيلاً لطوبولوجيا مبدلات AC/DC و DC/DC لشحن السيارات، ومزاياها

من حيث الموثوقية و التكلفة و الفاعلية ضمن حدود الإستطاعات العالية. وتسرّد المراجع في محتواها مدى جدوى إشراك الألواح الكهروضوئية كمصدر تغذية في سبيل شحن السيارات الكهربائية.

-المراجع [14]،[15]،[16]،[17]،[18] تدرس تكوينات أشباه الموصلات و تعرض مبدأ عمل كل منها على حدة ، كما أنها تعرض مزايا و سيئات الأنواع المدروسة و مجالات العمل.

ملخص الدراسة المرجعية:

عمليات شحن المركبات الكهربائية تواجه العديد من المشاكل، أهمها:

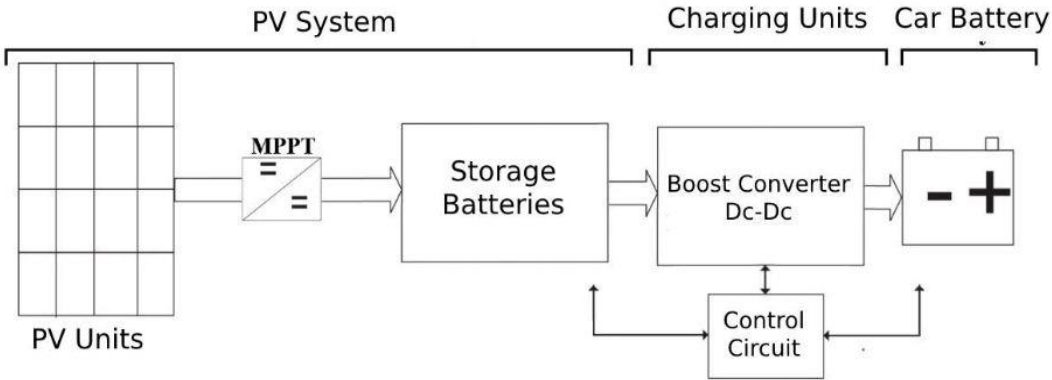
- كبر المفايد في الطاقة أثناء عمليات الشحن و ذلك لوجود فروقات بين جهد التخزين و الشحن، الأمر الذي يؤدي للحاجة إلى استخدام مبدلات و مقومات تنتقل من مستوى ال DC إلى مستوى ال AC و بالعكس للوصول إلى الجهد المطلوب للشحن تبعاً للأساليب الموجودة في طرق الشحن الحالية.
- الحاجة لعدد كافي و توزع أكبر لمحطات الشحن لتوفير الطاقة اللازمة للسيارات الكهربائية ضمن النطاق الكافي لقطع مسافات أطول و بسرعة شحن أفضل.

هذه المشاكل كان لابد من إيجاد الحلول المناسبة للتخلص منها من أجل التقليل من الضياعات و تحسين كفاءة النظام. من خلال هذه الدراسة المرجعية لوحظ أنه لم يتم استخدام مكونات الكترونيات القدرة (الشواحن غير المعزولة) من قبل في عمليات توافق جهد التخزين مع جهد الشحن لتوفير الجهد اللازم لشحن المركبات الكهربائية.

نخلص من هذه الدراسة إلى ضرورة زج عناصر الكترونيات القدرة الكهربائية بعناصر ذات كفاءة عالية (المقطع الرفع Boost) التي توفر عملية رفع الجهد في منظومة شحن المركبات الكهربائية، بغرض تقليل المفايد في الطاقة و توفير الجودة المطلوبة لمنظومة الشحن، وذلك لإمكانية رفع الجهد DC/DC دون الانتقال لمستوى الـ AC، مما يتيح الفرصة لتقليل المشاكل في هذا الشأن.

4. فكرة النظام المقترح:

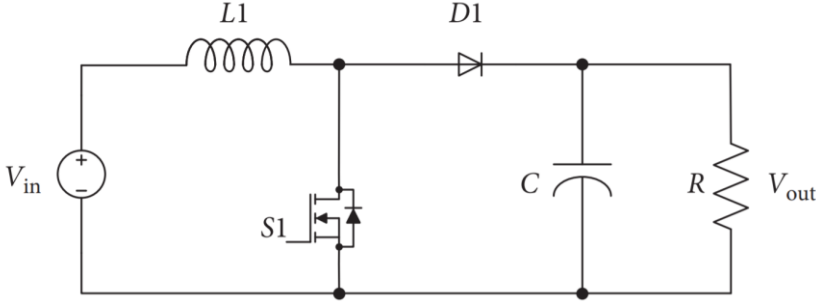
تطوير وحدة شحن عالية الكفاءة لنقل الطاقة المخزنة داخل بطاريات التخزين التابعة لنظام خلايا كهروضوئية بعيد عن الشبكة إلى بطارية السيارة لاجراء عملية الشحن (الشكل 10). يستخدم مقطع Boost، الذي يسحب التيار من بطاريات التخزين ويرفع الجهد إلى مستوى مناسب لبطارية السيارة، كشاحن لبطارية السيارة. تتمثل وظيفة دائرة التحكم الموجودة في النظام في تحديد قيم الجهد والتيار التي يجب توفيرها في عملية شحن بطارية السيارة، وإنتاج إشارة التبديل لتشغيل دائرة الـ Boost [13].



الشكل 10. مخطط للنظام المقترح

4.1. مقطع Boost:

هذا المقطع هو من فئة محولات التبدل (SMPS) لإلكترونيات القدرة، حيث دائماً ما يكون جهد الخرج أكبر من جهد الدخل. يظهر الهيكل الرئيسي للمقطع في الشكل 11.



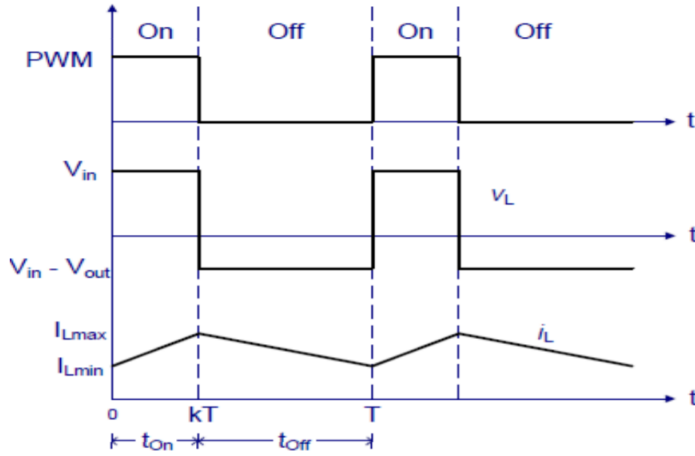
الشكل 11. مخطط الدائرة لمقطع Boost.

مبدأ عمل الدائرة هو أن الصمام الثنائي يبقى مقطوعاً عند إغلاق المفتاح $S1$ بحيث يتم عزل مرحلة الخرج وتخزين الطاقة في المحرّض. عندما يكون المفتاح $S1$ مفتوحاً، يتلقى جانب الخرج الطاقة معززة من الإدخال وكذلك من المحرّض.

من خلال تحديد طاقة الخرج، يمكن العثور على تعبيرات طاقة الإدخال، ومتوسط التيار الحالي والملف.

من أجل حالة التوصيل المستمر CCM في حالة الاستقرار يتدفق تيار داخل الملف بشكل دائم $I_L > 0$.

يظهر الشكل الموجي لجهد الملف والتيار وفقاً لإشارة التبدل في الشكل 12:



شكل 12. شكل موجة الجهد والتيار للملف

دائمًا ما يكون جهد الخرج أكبر من جهد الدخل مع شكل موجة ثابت للتيار المستمر. العلاقة التي تربط بين جهد الخرج وجهد الدخل هي:

$$\text{المعادلة 1} \quad V_o = \frac{1}{1-D} V_i$$

هنا D هي دورة عمل إشارة التبديل ، تأخذ قيمة بين 0 و 1.

يمكن حساب الحد الأدنى لقيمة محاثة الملف بواسطة هذه المعادلة ، بشرط ألا ينخفض تيار الملف في المحول إلى الصفر للتأكد من أن المحول يعمل في حالة التوصيل المستمر:

$$\text{المعادلة 2} \quad L_{min} = \frac{V_o \times D \times (1-D)^2}{2 \times I_o \times f_{sw}}$$

يمكن حساب نسبة التمرير في جهد الخرج من الذروة إلى الذروة بهذه المعادلة:

$$\text{المعادلة 3} \quad \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D \times I_o}{C \times V_o \times f_{sw}}$$

يجب اختيار قيمة السعة لمكثف الخرج بشكل مناسب لتقليل معدل التمرير في جهد الخرج.

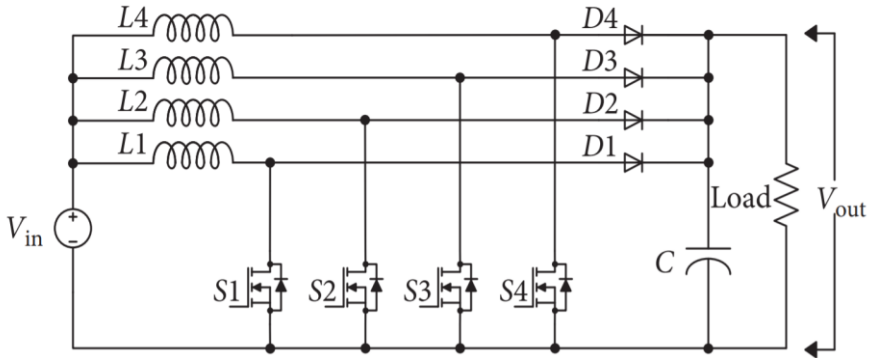
4. 2 محول Boost متعدد المراحل (الأطوار):

يمكن استخدام محول التعزيز أحادي الطور لشحن بطارية السيارة ولكن من أجل تحسين الكفاءة، يلزم سحب تيار عالي لتوفير الطاقة اللازمة لبطارية السيارة، في هذه الحالة قد تتجاوز العناصر الموجودة في دائرة محول التعزيز أحادي الطور القدرة الاستيعابية لنقل التيار وقد تتسبب في حدوث أضرار على عمل النظام. في الوقت نفسه، يتطلب المحول ملف بحجم كبير لتضييق نطاق التموج على الخرج. يزيد الملف الكبير من تكلفة وحجم الدارة. [12]

في النظام المقترح، بدلاً من محول التعزيز أحادي الطور، يتم استخدام محول التعزيز متعدد المراحل (محولات متعددة متصلة بالتوازي مع بعضها البعض) لتقليل التموج في التيار، وكلما زاد عدد المراحل، يتناقص حجم الملف اللازم بشكل عكسي.

يحتوي محول التعزيز أيضًا على عناصر دائرة إلكترونية تتأثر بالتيار العالي. نظرًا لأن القدرة الاستيعابية الحالية لعنصر التبديل والصمام الثنائي الانتقالي المستخدم في الدائرة محدودة، فإن استخدام محول متعدد الأطوار يساعد في تجنب المشكلة.

يظهر الرسم التخطيطي لدائرة محول التعزيز متعدد الأطوار كوحدة الشحن الموصى بها في النظام في الشكل 13.



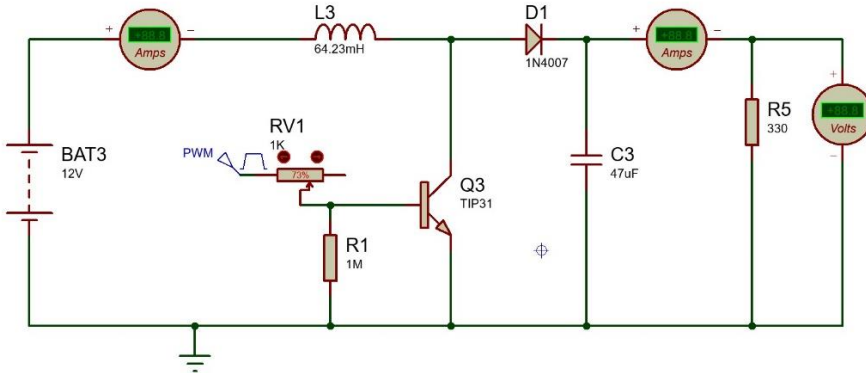
الشكل 13. دائرة التعزيز متعددة الأطوار.

4. 3 الترانزستور المستخدم في محول Boost:

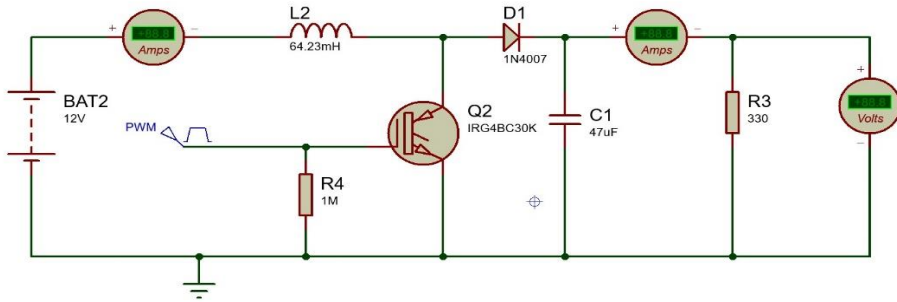
تستخدم الترانزستورات عموماً السيليكون والجرمانيوم وأرسينيد الغاليوم في هياكلها حيث أنها توفر مزايا كبيرة في المجالات الإلكترونية نظراً لخصائصها الموصلة والعازلة. ويتم استخدام عناصر التبديل وفقاً لترددات وجهود التشغيل بكفاءات مختلفة. يعد اختيار عناصر التبديل هذه وفقاً للدائرة المستخدمة أمراً مهماً لكفاءة النظام.

على الرغم من وجود اختلافات هيكلية بين عناصر التبديل إلا أن أغراض استخدامها متشابهة مع بعضها البعض. حيث أنه يوجد مزايا وعيوب مقارنة ببعضهم البعض. في هذه الدراسة، تم عرض آثار تبديل أنواع الترانزستورات على دائرة محول BOOST. تتم مقارنة BJT – MOSFET و IGBT مع بعضهم البعض للتبديل في نطاقات تردد مختلفة تحت نفس ظروف الدائرة. وبالتالي يتم تحليل كيفية تفاعلهم في ظل الظروف الأكثر كفاءة.

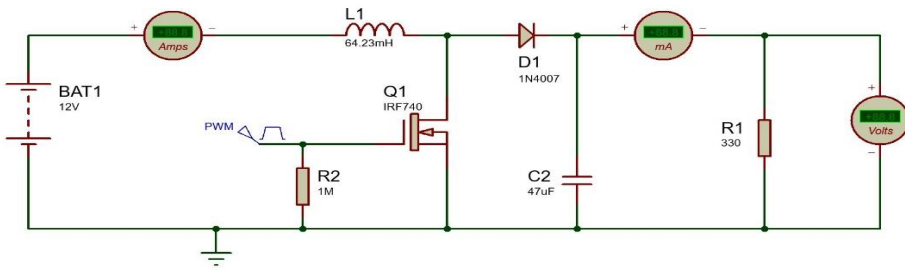
تم تحليل دارة محول BOOST إلكترونياً في بيئة Proteus واختبارها عملياً ليتم مقارنة نتائج المحاكاة والقيم العملية مع بعضها البعض. ليتم مقارنة استجابات وأداء دوائر أشباه الموصلات لنفس الدوائر تحت نفس الظروف في تصميم Boost Converter للترددات المختلفة حيث تم تسجيل النتائج التجريبية في المحاكاة وفي التوصيل العملي.



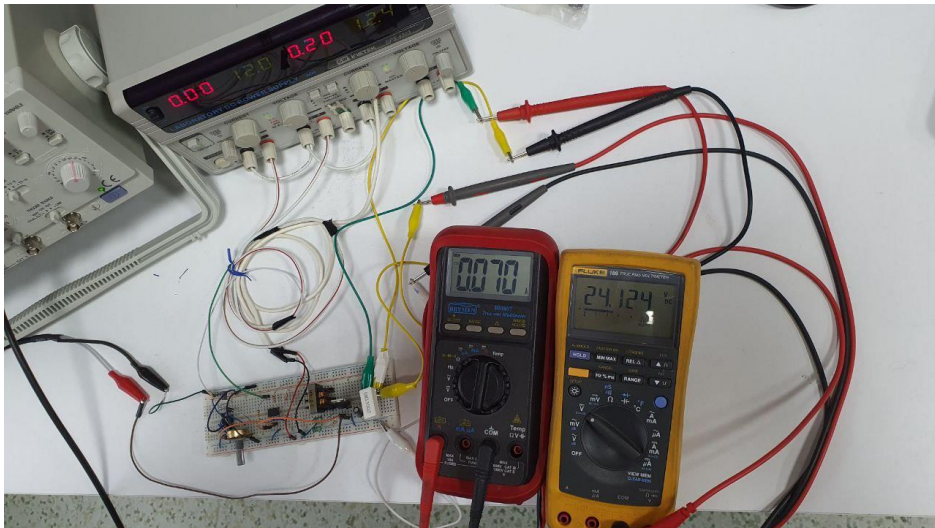
الشكل 14. مخطط دائرة محول BOOST باستخدام BJT في بيئة المحاكاة



الشكل 15. مخطط دائرة محول BOOST باستخدام IGBT في بيئة المحاكاة



الشكل 16. مخطط دائرة محول BOOST باستخدام MOSFET في بيئة المحاكاة



الشكل 17. دائرة محول BOOST في تطبيق عملي

Hz	Simulation results							Experiment results						
	Vi	Ii	Pi	Vo	Io	Po	η	Vi	Ii	Pi	Vo	Io	Po	η
100 kHz	12,00	0,23	2,76	14,00	0,04	0,57	20,80	12,00	0,85	10,20	21,00	0,06	1,26	12,35
50 kHz	12,00	0,30	3,60	18,50	0,06	1,02	28,26	12,00	0,34	4,08	20,40	0,05	1,02	25,00
30 kHz	12,00	0,28	3,36	23,50	0,07	1,65	48,96	12,00	0,35	4,20	24,10	0,07	1,69	40,17
20 kHz	12,00	0,30	3,60	24,90	0,07	1,84	51,18	12,00	0,33	3,96	24,80	0,07	1,74	43,84
10 kHz	12,00	0,20	2,40	24,10	0,07	1,74	72,30	12,00	0,36	4,32	24,10	0,07	1,69	39,05
5 kHz	12,00	0,14	1,68	20,50	0,06	1,25	74,43	12,00	0,23	2,76	23,00	0,06	1,38	50,00
1 kHz	12,00	0,05	0,60	11,60	0,03	0,40	66,89	12,00	1,05	12,60	11,70	0,03	0,35	2,79

الشكل 18. نتائج المحاكاة و التطبيق العملي لدارة محول BOOST باستخدام BJT

Hz	Simulation results							Experiment results						
	Vi	Ii	Pi	Vo	Io	Po	η	Vi	Ii	Pi	Vo	Io	Po	η
100 kHz	12,00	0,40	4,80	21,80	0,06	1,31	27,25	12,00	0,66	7,92	20,50	0,06	1,23	15,53
50 kHz	12,00	0,72	8,64	25,00	0,16	4,00	46,29	12,00	0,27	3,24	24,04	0,07	1,71	52,68
30 kHz	12,00	0,30	3,60	24,70	0,07	1,80	50,09	12,00	0,22	2,64	24,10	0,07	1,69	63,90
20 kHz	12,00	0,20	2,40	24,20	0,07	1,72	71,59	12,00	0,19	2,28	24,08	0,07	1,69	73,93
10 kHz	12,00	0,20	2,40	24,30	0,07	1,75	72,90	12,00	0,20	2,40	24,20	0,07	1,69	70,58
5 kHz	12,00	0,22	2,64	24,10	0,07	1,71	64,81	12,00	0,23	2,76	24,10	0,07	1,71	62,00
1 kHz	12,00	0,22	2,64	19,20	0,06	1,09	41,45	12,00	0,56	6,72	19,30	0,06	1,08	16,08

الشكل 19. نتائج المحاكاة و التطبيق العملي لدارة محول BOOST باستخدام IGBT

Hz	Simulation results							Experiment results						
	Vi	Ii	Pi	Vo	Io	Po	η	Vi	Ii	Pi	Vo	Io	Po	η
100 kHz	12,00	0,33	3,96	20,10	0,06	1,19	29,95	12,00	0,72	8,64	20,40	0,09	1,83	21,25
50 kHz	12,00	0,28	3,36	24,40	0,07	1,76	52,29	12,00	0,33	3,96	24,65	0,07	1,77	44,82
30 kHz	12,00	0,23	2,76	24,10	0,07	1,74	62,87	12,00	0,22	2,64	24,07	0,07	1,68	63,82
20 kHz	12,00	0,19	2,28	24,20	0,07	1,74	76,42	12,00	0,19	2,28	24,10	0,07	1,69	73,99
10 kHz	12,00	0,18	2,10	24,10	0,07	1,69	80,33	12,00	0,20	2,40	24,19	0,07	1,77	73,85
5 kHz	12,00	0,19	2,28	24,10	0,07	1,71	75,05	12,00	0,21	2,52	24,03	0,07	1,68	66,75
1 kHz	12,00	0,24	2,88	20,50	0,06	1,23	42,71	12,00	0,61	7,32	20,28	0,06	1,18	16,07

الشكل 20. نتائج المحاكاة و التطبيق العملي لدارة محول BOOST باستخدام MOSFET

نتيجة للتجارب التي تم إنشاؤها من أشباه الموصلات BJT و MOSFET و IGBT ، فقد لوحظ أن تبديل فقد الطاقة والكفاءات تختلف وفقاً لترددات التشغيل، مع ملاحظة التوافق الكبير بين تجارب المحاكاة والتوصيل العملي لمحول Boost الذي تم إجراؤه.

نلاحظ أنه تُستخدم BJTs عموماً على ترددات أقل من 10 كيلو هرتز ، بينما يمكن استخدام MOSFET على ترددات تصل إلى 1 ميجا هرتز. من ناحية أخرى ، يمكن استخدام IGBT على ترددات عالية في تطبيقات التيار العالي وتعمل بشكل عام بين 20 كيلوهرتز و 50 كيلوهرتز.

تحدد نطاقات التشغيل هذه استخدام عناصر أشباه الموصلات في تطبيقات محددة. حيث أنه يتم استخدام BJTs للتبديل منخفض التردد في مصادر الطاقة ، و يُشار إلى أفضلية MOSFETs للتبديل عالي التردد. تعتبر IGBTs مثالية لتطبيقات الجهد العالي والتيار العالي و مناسب أيضاً للتبديل السريع ومحركات المحركات والمحولات وإمدادات الطاقة و في التطبيقات الصناعية على نطاق واسع.

كما يتضح من نتائج المحاكاة أن الكفاءة تتناقص مع زيادة التردد لـ BJTs. لوحظ موقف مماثل عند النظر في النتائج التجريبية. في دائرة محول Boost Converter المصممة ، تكون قيمة التردد الأكثر كفاءة لـ BJT هي 5 كيلو هرتز.

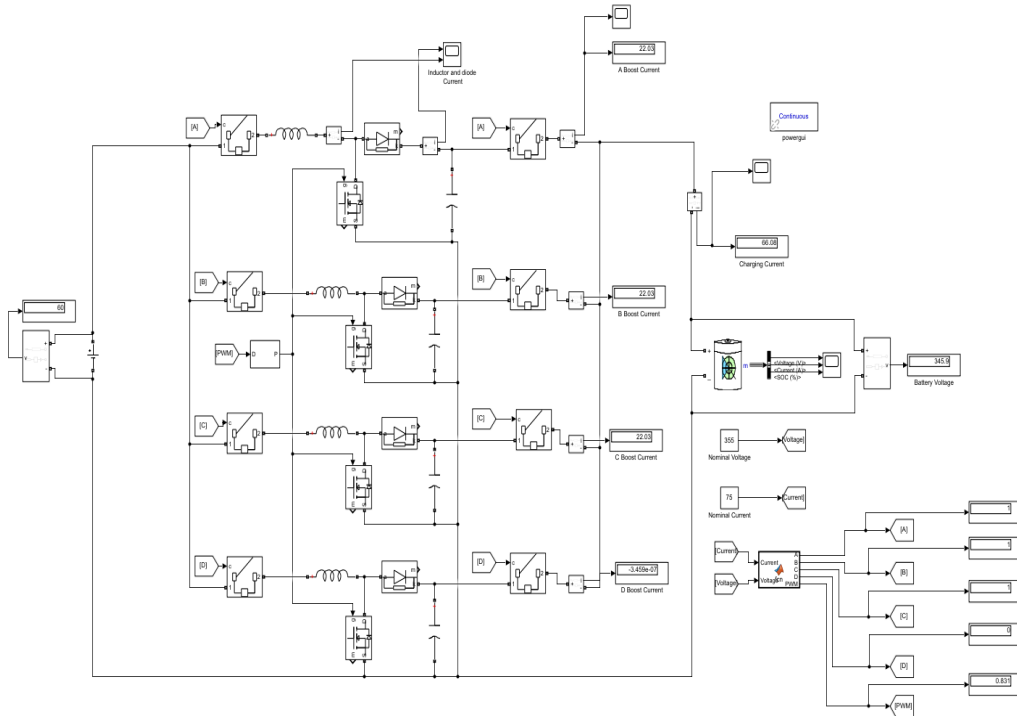
و عليه يتم اختيار ترانزستورات الـ MOSFETs لاستعمالها في دارة المبدل BOOST و ذلك لكفاءة التشغيل ضمن الظروف المطلوبة من الدارة.

4. 3 محاكاة النظام:

تم عمل نموذج باستخدام برنامج محاكاة Matlab للتحقق من فعالية وإمكانية تطبيق النظام المقترح.

الغرض من المحاكاة هو دراسة كفاءة عمل دائرة الشحن متعددة الأطوار من خلال الكشف عن توزيع التيار على مراحل في المحولات.

في المحاكاة ، يتم استخدام نموذج بطارية السيارة الكهربائية. يتم تحديد الية تشغيل النظام وفقاً للجهد والتيار للبطارية. يظهر مخطط المحاكاة في الشكل 21.



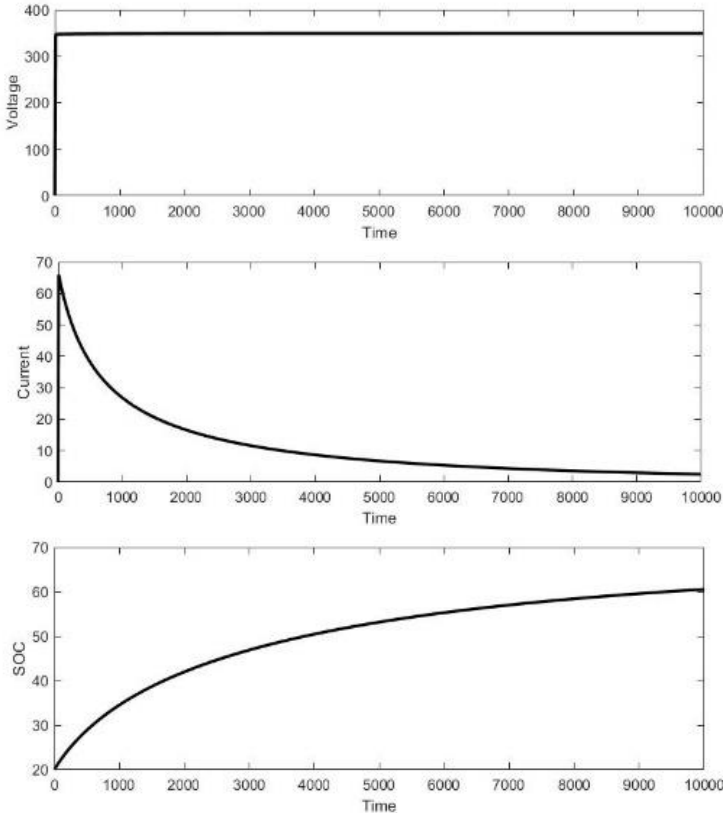
الشكل 21. طوبولوجيا محاكاة النظام المقترح في برنامج ماتلاب

يتم تحديد قيمة دورة العمل (Duty Cycle) بواسطة دائرة التحكم وفقاً للجهد المطلوب للبطارية ويتم إنشاء إشارات التبديل لمحولات التعزيز .

بالنظر إلى قدرة العناصر المستخدمة في محول التعزيز على حمل التيار وفقاً لقيمة التيار المطلوب للبطارية ، يتم تحديد عدد المراحل التي سيتم تنشيطها في وحدة الشحن .

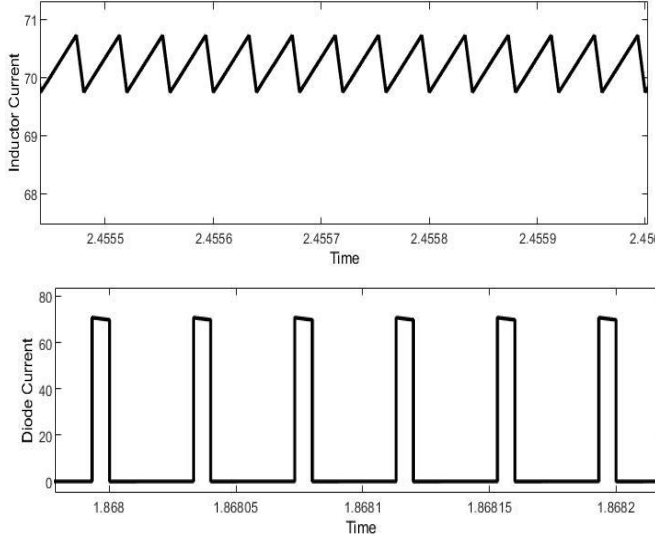
توضح القيم التي تم الحصول عليها أن التيار مقسم بالتساوي بين المراحل ، وبالتالي يتم نقل الطاقة إلى بطارية السيارة .

يتم اختبار أداء النظام في المحاكاة مع الرسوم البيانية لمعاملات الجهد والتيار و حالة الشحن SOC للبطارية عند الخرج (الشكل 22) .



الشكل 22. الرسوم البيانية المعلمات لبطارية السيارة

تم رسم موجة التيار المار عبر عناصر الملف والصمام الثنائي في إحدى مراحل المحول وفقاً لإشارة التبديل (الشكل 23).



الشكل 23. تيارات الملف والصمام الثنائي

النتائج والتعليق:

تُظهر النتائج الأولية أنه من الممكن استخدام دائرة محول دفعة متعددة الأطوار كوحدة شحن في النظام المقترح لنقل الطاقة وشحن بطارية السيارة.

الميزة الأكثر أهمية لدائرة شحن محول التعزيز متعدد المراحل هي أنها لا تتطلب ملفات كبيرة كما هو الحال في محولات التيار المستمر المعزول مع المحولات، لذلك سيتم تقليل فقد الحرارة وستكون الدائرة صغيرة الحجم ومنخفضة التكلفة.

5. مشكلة الدراسة:

كيف يتم تحسين أداء وحدات شحن السيارات الكهربائية المعتمدة على منظومة الخلايا الكهروضوئية كمصدر تغذية باستخدام المقطع Boost؟

6. فرضية الدراسة:

يمكننا زيادة موثوقية أنظمة شحن السيارات الكهربائية التي تستخدم المقطع Boost و المنفصلة عن الشبكة، ليكون نظام فعال يمكن إيماده كمحطة شحن إسعافية أو داعمة.

7. أهمية الدراسة:

العلمية: المساهمة في تطوير تقنيات شحن السيارات الكهربائية بالاعتماد على الطاقة الشمسية بتقنيات حديثة.

تطبيقية: إعداد نموذج أولي لفكرة شحن المركبات الكهربائية يمكن تطبيقها في أماكن إنعدام الوقود الأحفوري / تهيئ بنية تحتية تدعم شحن هذا النوع من السيارات لتسهيل إستقطابها.

8. هدف الدراسة:

الوصول لنموذج شحن كهربائي قادر على توفير طاقة كهربائية بغرض شحن السيارات الكهربائية بمعزل عن شبكة التغذية، بالاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر تغذية.

9. منهجية الدراسة:

منهجية تحليلية تجريبية في بيئة افتراضية بما يتضمنه من تصميم نظام الشحن الجديد شاملاً المكونات المذكورة.

10. حدود الدراسة:

الحدود العلمية: سيتم في هذه الدراسة اقتراح نظام شحن جديد للمركبات الكهربائية، يتم تشغيل النظام المقترح بالطاقة الشمسية ويتضمن وحدة شحن تعتمد على أنظمة إلكترونيات القدرة، بالإضافة لنمذجة النظام في بيئة MATLAB .

12. المراجع :

- [1] - KEREM A., GÜRBAK H., 2020, Fast Charging Station Technologies For Electric Vehicles, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C Tasarım ve Teknoloji 8(3): 644-661
- [2] - KEREM A., 2014, Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5 (1): 1-13
- [3] - TARLAK H., İŞEN E., 2018, ELECTRIC VEHICLES AND BATTERY CHARGING SYSTEMS, Kırklareli University Journal of Engineering and Science 4-1, 124-141
- [4] - WATSON N., MILLER A., 2016, Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger, EEA Conference & Exhibition, 22 - 24 June, Wellington
- [5] - DERICIOGLU C., YIRIK E., UNAL E., CUMA M.U., ONUR B., TUMAY M., 2017, A REVIEW OF CHARGING TECHNOLOGIES FOR COMMERCIAL ELECTRIC VEHICLES, International Journal of Advances on Automotive and Technology, Vol.2, No. 1, pp. 61-70
- [6] - Li Xiaodong, 2014, An Optimized Phase-Shift Modulation For Fast Transient Response in a DualActive-Bridge Converter, IEEE Transactions on Power Electronics, 29(6):2661-2665
- [7] - KANG T., 2015, Reduced Current Distortion of Three-Phase Three-Switch Buck-Type Rectifier using Carrier Based PWM in EV Traction Battery Charging Systems, The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, 20(4):375-387

[8] - KONDO R., HIGAKI Y., YAMADA M., 2021, Experimental Verification of Reducing Power Loss under Light Load Condition of a Bi-Directional Isolated DC/DC Converter for a Battery Charger/Discharger of Electrical Vehicle, IEEJ Journal Of Industry Applications Vol.10 No3., pp.377-383

[9] - JARABICOVÁ M., KAŠČÁK S., 2019, The Parametric Simulation of the Interleaved Boost Converter for the Electric Transport Vehicle, Transportation Research Procedia, 40, 287–294

[10] - ZHU L., BAI H., BROWN A., KEUCK L., 2021, A Current-fed Three-port DC/DC Converter for Integration of On-board Charger and Auxiliary Power Module in Electric Vehicles, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 978-1-7281-8949-9

[11] - ZHOU L., EULL M., WANG W., CEN G., PREINDL M., 2021, Design of Transformerless Electric Vehicle Charger with Symmetric AC and DC Interfaces, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) | 978-1-7281-8949-9/21

[12] - CHAKRABORTY S., VU H. N., HASAN M. M., TRAN D. D., EL BAGHDADI M., HEGAZY O., 2019, DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Fast Charging Stations: State of the Art and Future Trends, MDPI Energies. 12(8):1569

[13] - RAMPRADESH T., LAKSHMIPRIYA R., CHRISTOBER ASIR RAJAN C., 2020, PV Powered Dc-Dc Boost Converter Charger For Electric Vehicles With 3 Different Voltage Levels, European Journal of Molecular & Clinical Medicine, Volume 7, Issue 06

- [14] - Warren, J. R., Rosowski, K., A., Perreault, D., J., 2008. Transistor Selection and Design of a VHF DC-DC Power Converter, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no. 1, pp. 27-37..
- [15] - Laoprom, I., Tunyasrirut, S., 2020. Design of PI Controller for Voltage Controller of Four-Phase Interleaved Boost Converter Using Particle Swarm Optimization, Journal of Control Science and Engineering, Volume 2020, Article ID 9515160, 13 pages.
- [16] - Pradhan, A., Panda, B., 2018. A Simplified Design and Modeling of Boost Converter for Photovoltaic System, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 8, No. 1, pp. 141–149.
- [17] - Ang, SS., Oliva, A., 2005. Power-Switching Converters. 2nd ed. Boca Raton FL: Taylor & Francis.
- [18] - Mohan, N., Undeland, T., M., Robbins, W., P., 1995. Power Electronics: converters, applications, and designs, John Wiley & sons, INC., United States of America.

دراسة و تنفيذ عنفة هيدروليكية تعمل

بمياه الصرف الصحي

الأستاذ الدكتور نوفل الاحمد *

الأستاذ الدكتور هيثم حسن **

المهندس ميمون حمدو ***

الملخص

يعرض هذا البحث استكشاف فرص الاستفادة من الطاقة الكهرومائية لمياه الصرف الصحي في محطات معالجة مياه الصرف الصحي لتوليد الطاقة الكهرومائية، حيث تنتشر هذا النوع من المحطات في كثير من البلدان.

تم تصميم وتنفيذ نموذج مخبري لعنفة مائية صغيرة نوع بلتون باستطاعة (P=1.5 w) من مواد رخيصة الثمن (مواد بلاستيكية عالية الكثافة p.v.c) و تستخدم المياه المهذورة (مياه الصرف الصحي المعالجة) كوسيط لنقل الطاقة وتشغيل العنفة المائية.

ومناقشة النتائج وذلك لتبيان الهدف والفائدة من تصميم عنفات مائية باستطاعات أكبر داخل محطات المعالجة مما يخفف من الاعتماد على الشبكات الكهربائية العامة من أجل تشغيل بعض المعدات والتجهيزات داخلها.

الكلمات المفتاحية: عنفة بلتون، مياه الصرف المعالجة، الطاقة الكهرومائية، المنفث،

محطات الطاقة المائية Pico-hydro.

* أستاذ - قسم هندسة المعدات والآليات - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سوريا.

** أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس سوريا.

Study and execution a hydrolic turbine works by wastewater

P.D: Nawfal Alahmad*

P.D: Haitham Hasan**

Eng: Maymoon Hamdo***

ABSTRACT

This research presents an exploration benefit opportunities of hydropower from wastewater in treated wastewater station for generation of the hydropower, This type of stations had spreated in alot of countries.

A laboratory model of a small water turbine of the Pelton type with a power of (P=1.5 w) was designed and executed by using inexpensive materials (high density plastics p.v.c) and wastewater using (treated wastewater) as amedium for power transmission and operation of the water turbine.

And discussion of the results to appear the purpose and benefit of design water turbines with larger powers inside the treated stations. This abates from relying commonalty webs for operating some of equipment and installations within.

Key words: Beltone turbine , treated wastewater , hydropower , jet hydroelectric power station.

* Proffessor , Department of Eguipment and Machinery , Faculty of Technical Engineering – Tartous University – Tartous – Syria.

** Proffessor, Department of Mechanical Power engineering – Tishreen University , Lattakia, Syria.

*** Master Student , Department of Solar energy and renewable energy engineering – Faculty of Technical Engineering – Tartous University – Tartous Syria.

مقدمة:

تعتبر الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الكهرومائية من مصادر الطاقات الهامة المتجددة باستمرار [1].

وتعتبر الطاقة الكهرومائية إحدى أشكال الطاقة المتجددة المستخدمة بشكل شائع [2]، والتي تعمل بطريقة مشابهة لطاقة الرياح من حيث استخدامها لتدوير شفرات المولد لتوليد الكهرباء، حيث تستخدم الطاقة المائية للمياه سريعة الحركة في الأنهار أو من الشلالات لتدوير ريش العنفات، إذ تعتبر أحد مصادر الطاقة المتجددة في العالم [3].

يترافق النمو السكاني الكبير وتحسن ظروف الحياة المعيشية إلى زيادة الطلب العالمي على المياه حيث أدى ذلك إلى تفريغ كميات هائلة من مياه الصرف الصحي المنزلية والصناعية مما أدى إلى ضرورة البحث عن مصادر طاقة جديدة حتى ولو كانت ذات فعالية صغيرة كالمياه المهذورة التي تشمل مياه الصرف الصحي المنزلي ومياه المصانع بالإضافة إلى مياه الأمطار، مما أدى إلى إنشاء محطات لمعالجة هذه المياه وتخفيف التلوث البيئي الناتج عنها [4].

ومن هنا أدت كميات المياه الكبيرة المعالجة في المدن الكبرى إلى زيادة الوعي لاستثمار الطاقة الكامنة لهذه المياه المعالجة، ولهذا سعت الدول المتقدمة للاستثمار في مثل هذا النوع من الطاقات بهدف تخفيف العبء المادي الناتج عن معالجة هذه المياه عن طريق تأمين الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل هذه المحطات إن أمكن.

أهمية البحث و أهدافه:

يهدف إلى تصميم وتنفيذ عنفة مائية صغيرة نوع بلتون تعمل على الطاقة الحركية للمياه العادمة (مياه الصرف الصحي المعالجة) وبالتالي يمكن تأمين مصادر بديلة للطاقة في مواجهة التقلبات المستمرة في أسعار النفط والغاز، وزيادة الطلب على الطاقة وقرب نفاذ الوقود الأحفوري.

إذ تعتبر المياه مصدراً للطاقة النظيفة ، و استخدامها كمصدر لإنتاج الطاقة الكهربائية يساهم في خفض الغازات الناجمة عن حرق الوقود الأحفوري بالإضافة لتوافر المواد الأولية اللازمة لتصنيع العنفة المائية وسهولة الحصول على المياه المستخدمة في تشغيلها وبالتالي استخدام مصدر طاقة رخيص ومهدور ودعم انتشاره في بلادنا.

وتأتي أهمية هذا البحث الى إمكانية الاستفادة من الطاقة الموجودة في أنظمة الصرف الصحي وتحديد الموقع المحتمل لتركيب العنفة المائية.

منهجية البحث المقترح:

تم اتخاذ منهجية حسابية تصميمية من أجل اختيار العنفة المناسبة والتي تتوافق مع محطات الطاقة الكهرومائية Pico hydro كونها تنتج طاقة كهربائية لا تزيد عن 5 كيلو وات ، وكون هذا النموذج يتمتع بالعديد من المزايا كتكلفة التصنيع المنخفضة، بالإضافة إلى رخص المعدات والأجهزة المستخدمة في الحصول على الطاقة الكهربائية من عنفات و مولدات وبطاريات لتخزين القدرة وكلفة الصيانة المنخفضة وبساطة التصميم والحجم الصغير [5, 6].

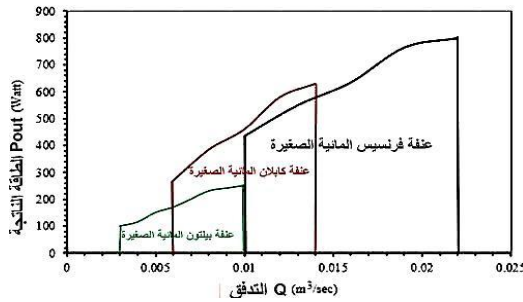
لتحقيق هذه الاستراتيجية قمنا بإجراء الخطوات التالية:

تصميم نموذج مخبري بسيط لعنفة مائية من نوع بيلتون ذات استطاعة ($P=1W$) وسرعة دوران ($n=1842$ r.p.m) الموضح بالشكل (1) حيث اعتمدنا على الماء كوسيط لتوليد الطاقة و استخدمنا مضخة مائية صغيرة لتحقيق التدفق المطلوب بمواصفات ($Q=300L/h$) واستطاعة ($P_0=1w$) وضغط ($P=0.16MPa$) وتم تصميم الأنبوب بأقطار متدرجة (تضييق) للحصول على سرعة تدفق أعلى بالإضافة لاستخدام محرك تيار مستمر متزامن ذو استطاعة صغيرة ($1.3 w$) ، مع أخذنا في الاعتبار الضياعات داخل النظام كالاحتكاك أثناء حساب القدرة التي تولدها العنفة.



الشكل (1) النموذج المقترح لعنفة بلتون

وقد تم اختيارها بناءً على عدة عوامل مثل الارتفاع و التدفق، واستناداً للمعايير الموضحة في الشكل (2) و التي يتم من خلالها اختيار العنفات المائية [7] .



الشكل (2) معايير اختيار العنفة المائية

حيث تحتوي العنفة على فوهة واحدة أو أكثر توجه نفاثات الماء نحو الريش المثبتة على الدولاب كما في الشكل (2)، و بالنسبة للنظام المائي الصغير ذو الارتفاعات الصغيرة سيكون للعنفة بلتون قطر أصغر من الريش التي يجب أن تدور بسرعة عالية وسيتم دمجها في تصميم النموذج.

حيث تعطى سرعة المنفت لعنفة بلتون بالعلاقة التالية:

$$V_{jet} = C_v * 2gH \quad (1)$$

V_{jet} : سرعة المنفت (m/s).

g : تسارع الجاذبية الأرضية (m/sec²).

H_n : ارتفاع (m).

يعطى تدفق الماء داخل التوربين بالعلاقة التالية:

$$Q = A_{jet} * V_{jet} * n_{jet} = \frac{\pi d_{jet}^2}{4} * n_{jet} \quad (2)$$

Q : التدفق (m³/sec).

A_{jet} : مساحة المقطع العرضي للدولاب (m²).

d_{jet} : قطر الدولاب (m).

X : نسبة سرعة الريشة عند قطر دائرة الدولاب إلى سرعة المنفت تؤخذ عند (0.46).

ويتم تحويل الطاقة الميكانيكية المنتجة في العمود بسبب تدفق المياه إلى طاقة كهربائية من خلال المولدات وهناك نوعان من مولدات التيار المتردد المستخدمة:

1- مولدات متزامنة و يعتمد التردد فيها بشكل مباشر على سرعة العمود ويستخدم هذا النوع من المولد على نطاق واسع للأغراض التجارية [8].

2- مولدات حثية لا تحتوي على تغييرات في التردد وفقاً لتغيير السرعة أو الحمل. تمتاز بالتكلفة المنخفضة نسبياً وموثوقية عالية وجهد خرج مرتفع وسهولة الصيانة والتصميم البسيط.

و عندما يتدفق السائل عبر القناة ذات القطر المتغير ، تتغير سرعته لان المقطع العرضي يختلف من قسم الى آخر في القناة ، ففي سائل غير قابل للانضغاط مع التدفق الثابت ، تتناسب سرعة أي نقطة في القناة عكساً مع سطح المقطع العرضي لها عند هذه النقطة ، وتنص معادلة الاستمرارية على أن التدفق Q للسائل ثابت على طول الدارة الهيدروليكية:

$$m = \rho * Q = \rho * A * V \quad (3)$$

حيث أن:

ρ : كثافة السائل (kg/m³) .

Q : معدل التدفق الحجمي (m³/s) .

A : مساحة المقطع العرضي للأنبوب (m²) .

V : سرعة التدفق (m/s) .

$$m = \rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_1 * A_1 * V_1 \quad (4)$$

بالنسبة للتدفق غير القابل للانضغاط (الكثافة ثابتة):

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (5)$$

وبالتالي القانون العام لحفظ الكتلة أصبح على الشكل التالي:

$$\sum m \text{ in} = \sum m \text{ out} \quad (6)$$



الشكل (3) يبين معادلة الاستمرارية

طريقة البحث ومواده:

ويتم اجراء الحسابات النظرية للعنفات المائية وتقدير قيمة الدخل والخرج وتحديد سرعة السائل وقطر الدولاب [9] وفق مايلي :

❖ استطاعة الدخل:

$$P_i = \rho * g * H_n * C_v^2 * Q_t \quad (7)$$

$$P_i = 10^3 * 9.81 * 1.4 * (0.97)^2 * 0.083 * 10^{-3}$$

$$P_i = 1.07 \text{ w}$$

حيث استطاعة المضخة تعطي تدفق مساوي إلى: ($Q_t = 0.083 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)

الارتفاع يؤخذ عند ($H_n = 1.4 \text{ m}$).

❖ عدد الريش:

يؤخذ مساوي إلى ($nb = 5$) عندئذ:

$$nb = \frac{D}{2 * d_j} + 15 \quad (8)$$

قطر الدولاب : ($D = 0.03 \text{ m}$)

❖ السرعة الفعلية:

$$u = \frac{N * D * \pi}{60} \quad (9)$$

$$N = 1464 \text{ r.p.m}$$

❖ السرعة الاسمية:

$$N_s = 85.49 * \frac{\sqrt{nj}}{H^{0.243}} \quad (10)$$

$$N_s = 78.77 \text{ r.p.m}$$

❖ السرعة الزاوية (m/s):

$$u = 0,46 * V_j \quad (11)$$

$$u = 2,3 \text{ m/s}$$

❖ حساب قطر المنفت:

$$\frac{D}{d_j} = [10,11,12,13] \quad (12)$$

$$d_j = \frac{D}{10}$$

$$d_j = 0,03 \text{ cm}$$

❖ حساب سرعة دخول الماء عبر الفوهة:

$$V_j = 0,97 * \sqrt{2 * g * H} \quad (13)$$

$$= 0,97 * \sqrt{2 * 9,81 * 1,4}$$

$$V_j = 5,08 \text{ m/s}$$

❖ المسافة بين الفوهة و الريشة:

$$X_{nb} = 0,65 * D = 0,01 \text{ m} \quad (14)$$

❖ حساب أبعاد الريشة: طول القوس

$$b = \frac{\pi * \alpha * r}{180^\circ} \quad (15)$$

$$b = 2 \text{ cm}$$

❖ تصميم منطقة الأنبوب:

الجزء الأول من الأنبوب: يؤخذ القطر مساوي إلى

$$d_2 = 0,004 \text{ m} \quad (16)$$

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out}$$

$$Q_j = Q_{p1} p_2$$

$$0,083 * 10^{-3} = V_{p2} * A_{p2}$$

$$V_{p2} = 3,38 \text{ m/s}$$

الجزء الثاني من الأنبوب: يؤخذ القطر مساوي إلى

$$d_{pipe1}=0,008 \text{ m} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} Q_j &= Q_{p1} \\ 10^{-3} &= V_{p1} * A_p * 0,083 \\ V_{p1} &= 1,7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

❖ حساب قدرة الخرج:

القوة المؤثرة على الريشة:

$$\begin{aligned} F &= \rho * Q * (v_1 - u) * (1 + \cos 15^\circ) \\ &= 1000 * 0,083 * 10^{-3} * (5,08 - 2,3) * (1 + \cos 15^\circ) \end{aligned} \quad (18)$$

$$F = 0,45 \text{ N}$$

قدرة الخرج:

$$\begin{aligned} P_o &= F * u \\ P_o &= \rho * Q * u * (v_1 - u) * (1 + \cos 15^\circ) \\ P_o &= 1,01 \text{ w} \end{aligned} \quad (19)$$

❖ حساب المردود η_{th} %:

وفق العلاقة التالية:

$$\eta_{th} = \frac{P_{to}}{P_{ti}} \quad (20)$$

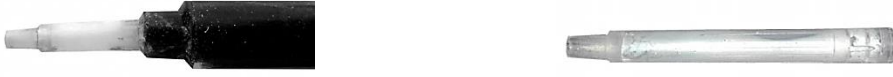
عملية التصميم وتصنيع مكونات النظام المائي للعنفة:

❖ انبواب التوصيل:

تم تصنيعه بناءً على حجم المياه المتدفقة وتم استخدام مواد p.v.c في عملية الصناعة نظراً لرخص ثمنها وتوفرها بكثرة ومقاومتها لجميع الأحماض والمواد الكيميائية الموجودة في المياه. ويستخدم لنقل المياه من الخزان إلى المضخة ثم إلى الأنبوب (القلم) المتدرج الأقطار.

❖ أنبوب فوهة المنفت:

يتم تصنيع الأنبوب بأقطار متدرجة (تضييق) بهدف تقليل ضغط الماء الذي يندفع بقوة كبيرة نتيجة المساحة المنخفضة بشكل كبير وإكساب السائل سرعة عالية.



الشكل (4) يبين أنبوب فوهة المنفت

❖ غلاف العنفة المائية والمولد الكهربائي:

يتم عمل الغلاف بناءً على حجم العنفة المائية والمولد نفسه. الهيكل بأكمله مصنوع من مواد بلاستيكية عالية المقاومة (P.V.C) ويستخدم لحماية العنفة.

1- مكونات نموذج النظام المائي:

تشمل المعدات الرئيسية التي تم استخدامها في النظام المائي ما يلي:

- 1- العنفة المائية (نوع بلتون).
- 2- مضخة للمياه استطاعة صغيرة.
- 3- خزان للمياه ذو سعة صغيرة مصنوع من مواد مقاومة للتآكل.
- 4- مجموعة من الأنابيب لنقل المياه بأقطار مختلفة.
- 5- مولد كهربائي باستطاعة (1.3w).
- 6- ساعة لقياس الضغط.
- 7- جهاز لقياس سرعة الدوران (تاكوميتر).
- 8- جهاز قياس الفولت (أفومتر).

2- مواصفات النموذج:

❖ العنفة المائية:

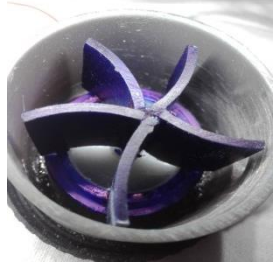
وهي كما في الشكل (5) وبمواصفات:

قطر الدولاب = 30 مم

عدد الريش = 5 ريش

نصف قطر الريشة = 20 مم

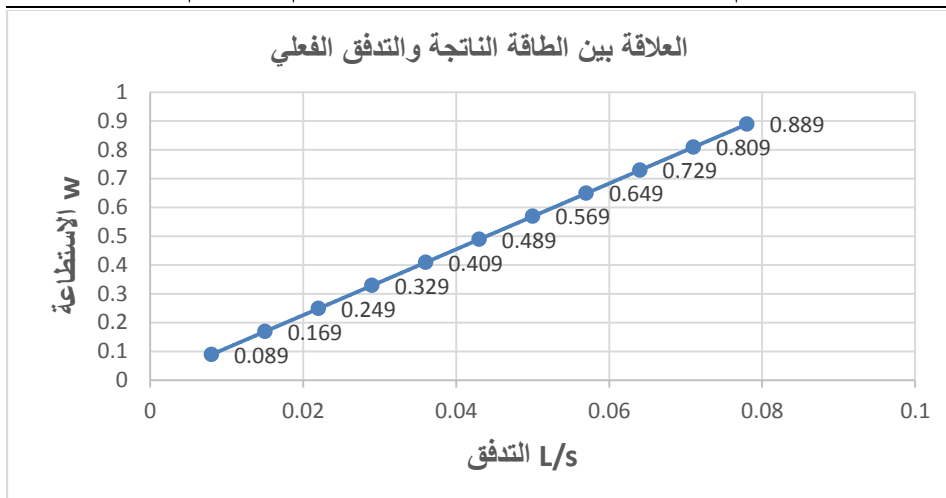
منطقة الفوهة = 0.3 مم



الشكل (5) يبين العنفة المائية

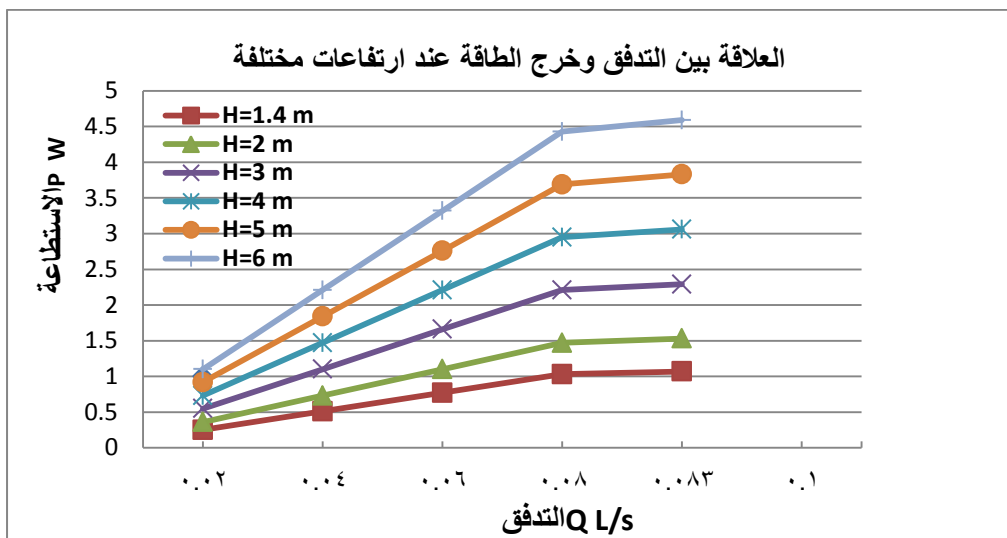
النتائج والمناقشة:

قمنا بإجراء التجارب العملية بعد تجميع مكونات العنفة التي تم تصنيعها وتركيبها في المخبر حيث تم قياس الاستطاعة المولدة من العنفة بدلالة تدفق الماء ، حيث تبين أن الاستطاعة المولدة تتناسب طردياً من كمية الماء المتدفقة كما هو مبين في الشكل (6) والعكس صحيح .



الشكل (6) العلاقة بين خرج الطاقة ومعدل التدفق الفعلي

قمنا لاحقاً بقياس الاستطاعة المولدة من العنفة عن ارتفاعات مختلفة لعمود الماء ، حيث تبين أن الاستطاعة المولدة تزداد مع ازدياد ارتفاع عمود الماء (الضاغط) كما في الشكل (7).



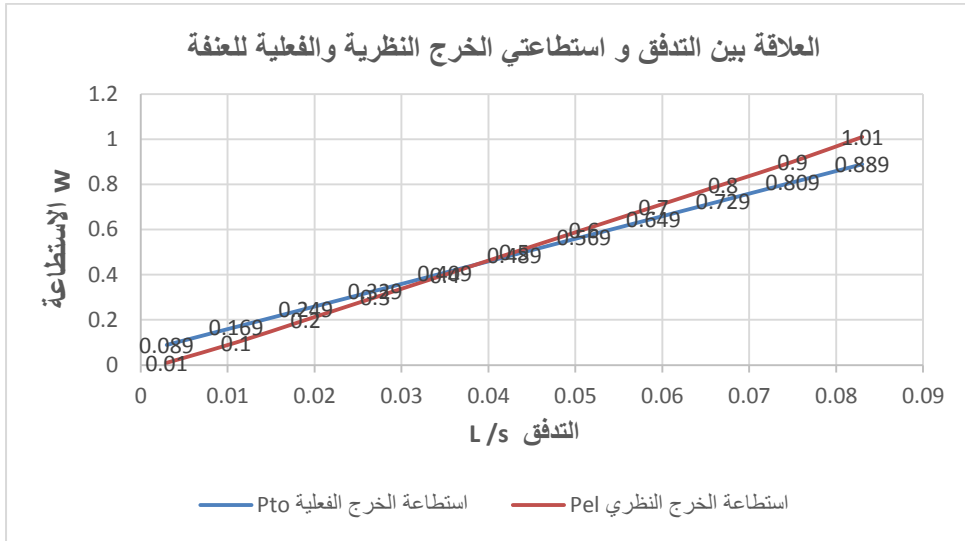
الشكل (7) يبين شكل العلاقة بين التدفق واستطاعة الخرج عند ارتفاعات مختلفة

ويبين الجدول (1) القيم المقاسة مخبرياً وذلك المحسوبة وفق العلاقات النازمة ذات الصلة .

جدول(1) البيانات التي تم الحصول عليها عند اختبار العنفة عمليا .

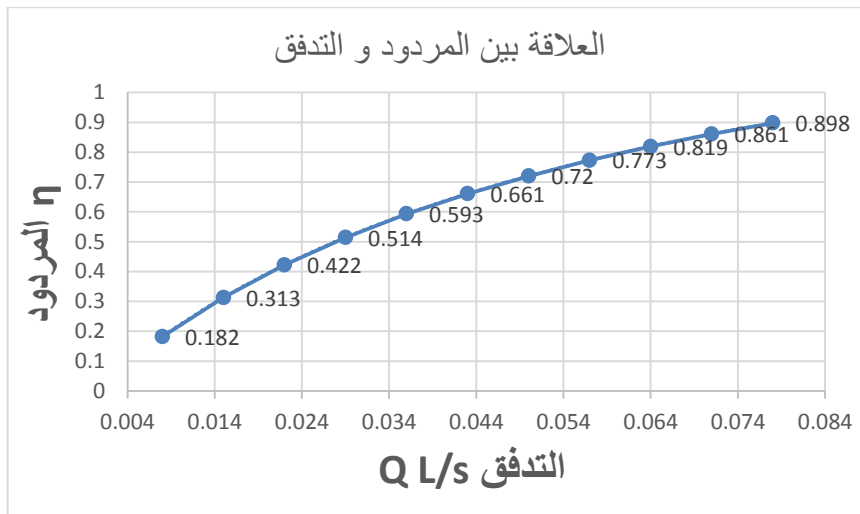
Hg (m)	nb	N (r.p.m)	Voltage (V)	I (A)	Vj (m/s)	Qt (L/s)	Pti (w)	Pto (w)
1.4	5	1390	8.231	0.108	4.77	0.078	0.99	0.889
	5	1390	7.561	0.107	4.77	0.071	0.94	0.809
	5	1390	6.877	0.106	4.77	0.064	0.89	0.729
	5	1390	6.181	0.105	4.77	0.057	0.84	0.649
	5	1390	5.471	0.104	4.77	0.05	0.79	0.569
	5	1390	4.748	0.103	4.77	0.043	0.74	0.489
	5	1390	4.010	0.102	4.77	0.036	0.69	0.409
	5	1390	3.257	0.101	4.77	0.029	0.64	0.329
	5	1390	2.490	0.100	4.77	0.022	0.59	0.249
	5	1390	1.707	0.099	4.77	0.015	0.54	0.169
	5	1390	0.908	0.098	4.77	0.008	0.49	0.089

لاحظنا من خلال النتائج التي حصلنا عليها بأن الاستطاعة الناتجة عن العنفة أقل من الاستطاعة النظرية المحسوبة وفق المعادلات الرياضية السابقة كما هو مبين في الشكل(8) ويعود سبب ذلك إلى الضياعات المختلفة التي تتعلق بتصميم ريش العنفة والمواد المصنوعة منها والضياعات الميكانيكية الناتجة عن عملية نقل الحركة بالإضافة إلى ضياعات الاحتكاك ضمن مكونات النظام.



الشكل (8) يبين المقارنة بين استطاعتي الخرج النظري و الفعلي الناتجة مقابل معدل التدفق المتغير

قمنا بناءً على ما سبق بحساب مردود العنفة عند القيم التجريبية السابقة كما هو مبين في الشكل (9)



الشكل (9) العلاقة بين المردود و التدفق

حيث نلاحظ زيادة المردود مع زيادة التدفق والعكس صحيح ، حيث نجد أن القيمة العظمى للمردود بلغت 89% عند التدفق الاعظمي كما هو مبين في الجدول (2).

جدول(2) البيانات الفعلية للاختبار العملي للعنفة بما في ذلك المردود و التدفق

Hg (m)	nb	N (r.p.m)	Vj (m/s)	Qt (L/s)	Pti (w)	Pto (w)	η
1.4	5	1390	4.77	0.078	0.99	0.889	0.898
	5	1390	4.77	0.071	0.94	0.809	0.861
	5	1390	4.77	0.064	0.89	0.729	0.819
	5	1390	4.77	0.057	0.84	0.649	0.773
	5	1390	4.77	0.05	0.79	0.569	0.720
	5	1390	4.77	0.043	0.74	0.489	0.661
	5	1390	4.77	0.036	0.69	0.409	0.593
	5	1390	4.77	0.029	0.64	0.329	0.514
	5	1390	4.77	0.022	0.59	0.249	0.422
	5	1390	4.77	0.015	0.54	0.169	0.313
	5	1390	4.77	0.008	0.49	0.089	0.182

الاستنتاجات والتوصيات:

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها من الدراسة النظرية والعملية (التجريبية)، يمكن استخلاص الاستنتاجات والتوصيات التالية:

❖ تبين أنه بالإمكان تصميم وتنفيذ عنفة بلتون المائية الصغيرة من مواد أولية رخيصة الثمن ومتوفرة في السوق المحلية المستخدمة في شبكات الصرف الصحي التي تتميز بخفة وزنها مقارنة مع المواد الأخرى عالية الكثافة بولي فينيل كلورايد P.V.C .

❖ تزداد الاستطاعة المولدة مع زيادة التدفق بشكل طردي ، ونحصل على المردود الأعظمي عند التدفقات الأعلى.

❖ وجدنا بعد تشغيل العنفة واختبارها عند تدفق بلغ مقداره (280 L/h) أن كمية الإستطاعة الناتجة بلغت ($w = 0.889 P_0$) وهي أقل من الإستطاعة التصميمية المقدره ب ($P = 1.5w$) ويعود ذلك إلى الضياعات الحاصلة في الأنابيب والتوصيلات بالإضافة الى الضياعات الميكانيكية للمولد المستخدم والضياعات في العنفة.

❖ الاستفادة من المياه المهذورة لإنتاج طاقة كهربائية أقل تلويثاً للبيئة وتقليل الانبعاثات الغازية بالمقارنة مع محطات التوليد التقليدية العاملة على الوقود الاحفوري .

❖ نوصي بتصميم نماذج أكبر لهذا النوع من العنفات من أجل الحصول على طاقة كهربائية أكبر وتوفير مادي أعلى داخل محطات المعالجة القائمة مما يخفف من الأعباء المترتبة على الشبكة الكهربائية العامة وذلك من حيث الطاقة التي نحصل عليها و اللازمة لتشغيل المعدات والتجهيزات بما فيها الانارة والاجهزة الحاسوبية ضمن محطات المعالجة.

❖ نوصي بإنشاء أحواض لتخزين المياه المعالجة إن أمكن للحصول على ارتفاعات أعلى لتدفق المياه وبالتالي زيادة الاستطاعة المراد الحصول عليها.

❖ نوصي بإجراء أبحاث لأشكال مختلفة للعنفة المائية.

المراجع:

- [1]. Harvey, A., Brown, A., Hettiarachi, P., & Inversin, A. (1993). Micro-hydro Design Manual: A Guide to Small-scale Water Power Schemes: Intermediate Technology Publications.
- [2]. U.S. Energy Information Administration. (2011). "Primary Energy Consumption by Source and Sector, 2011." U.S. Department of Energy. Washington, D.C. Retrieved from <<http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/?src=Consumption-f6#consumption>>.
- [3]. H. Beltran, R. Vidal, L. Basiero, J.M. Santos, J.A. Basiero, and E. Belenguer (2014) - Micro hydro installation analysis in a wastewater treatment plant, International conference on renewable energies and Power Quality, Spain ISSN 2172-038 X, No.12, April 2014
- [4]. Elbatran, A. H., Abdel-Hamed, M. W., Yaakob, O. B., & Ahmed, Y. M. (2015). Hydro power and turbine systems reviews. Jurnal Teknologi
- [5]. Phillip M and Nigel S 2001 Pico Hydro for Village Power
- [6]. Roshan V R 2016 Pico-Hydro Electric Power Generation From Residential Water Tank Int. J. Chem. Sci. 14 1 pp 421-426
- [7]. Nabil, T., & Mansour, T. M. (2022). Power Extraction from Pico Hydro Turbines Installed in Water Pipelines. Journal of Energy Engineering, 148(2), 04022002.
- [8]. Tahir, M. H., Mugheri, S. A., Ahmad, S., Shahid, M., Zaffar, N., Malik, M. A., & Saeed, M. A. (2020). Production of electricity employing sewerage lines using a micro cross flow turbine. International Journal of Engineering, Science and Technology, 12(2), 67-7.
- [9]. J.Thake,The Micro-Hydro Pelton Turbine Manual: Design, Manufacture and Installation for Small-Scale Hydro-Power, ITDG publishing, London, UK, 2000.