

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 14

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

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

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

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

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (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 (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

| الصفحة | اسم الباحث | اسم البحث |
|---------|--|---|
| 38-11 | سمر خريزاتي كريمة سكر أحمد شرم | دراسة وتصميم نموذج مصغر لجهاز محاكاة الاشعاع الشمسي وتحليل أدائه |
| 60- 39 | ديما شوكت علي د.سمر اختيار د. مهيب اسماعيل | دراسة التركيب البيوكيميائي لجنسين من الطحالب الخضراء (<i>Ulva</i> , <i>Enteromorpha</i>) في شاطئ مدينة اللاذقية |
| 94-61 | ليلي عبد الحق أ.م.د يوسف أبو علي | حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة |
| 124-95 | د. ناجي محمد لجين موسى | تخفيف التداخل بين شبكات <i>Wireless Body Area Network (WBAN)</i> بالاعتماد على تقنيات <i>IEEE802.15.6</i> و <i>IEEE802.15.4</i> متعدد القنوات |
| 152-125 | د.عباس صندوق د. غيث ورقوزق معتز دبلو | تصميم متحكم يعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر |

"دراسة وتصميم نموذج مصغر لجهاز محاكاة الاشعاع الشمسي وتحليل أدائه"

سمر خريزاتي* كريمة سكر** أحمد شرم***

*طالبة دراسات عليا (ماجستير) قسم نظم القدرة، كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية، جامعة حلب
**أستاذة مساعدة في قسم نظم القدرة الكهربائية، كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية، جامعة حلب
***أستاذ مساعد في قسم نظم القدرة الكهربائية، كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية، جامعة حلب

الملخص

نظراً للحاجة الكبيرة لدراسة الطاقة الكهروضوئية وإجراء التجارب على الألواح الشمسية وفق ظروف العمل المخبرية المختلفة، قمنا بالبحث وإجراء الدراسة المرجعية لأجهزة المحاكاة الشمسية المستخدمة عالمياً. حيث تمت دراسة ومقارنة أنواع مختلفة من المصابيح الشائعة، وبناءً عليه تم تصميم نموذج مخبري محلي وبكلفة مناسبة مع كامل المعدات الأساسية والمهمة للحصول على مصدر ضوئي يحاكي لدرجة معينة ضوء الشمس الطبيعي. وبالاعتماد على هذا المصدر الضوئي تمكنا من القيام بدراسة تجريبية على نموذج كهروضوئي معدّ لدراسة واختبار حالات عمل مختلفة، مع القيام بتحليل النتائج وحساب مردود عمل النظام الكهروضوئي للنموذج المقدم.

الكلمات المفتاحية: جهاز المحاكاة الشمسية Solar simulator، كمين الإضاءة، الاشعاع الضوئي.

ورد البحث للمجلة بتاريخ لـ 2021//

قبل للنشر بتاريخ لـ 2021//

"Study and design a mini-model of solar radiation simulator and analyze its performance"

Samar Khrizaty* Karima Sukkar Ahmad Sharam *****

*Postgraduate Student (MSc.) Dept. Of Electrical Power Systems Engineering,
Faculty of Electrical and Electronic Engineering, University of Aleppo.

** Dept. Of Electrical Power Systems Engineering, Faculty of Electrical and
Electronic Engineering, University of Aleppo.

*** Dept. Of Electrical Power Systems Engineering, Faculty of Electrical and
Electronic Engineering, University of Aleppo.

Abstract

Due to the great need to study photovoltaic energy and conduct experiments on solar panels according to different laboratory working conditions, we have researched and referenced solar simulators used worldwide. Where different types of common lamps were studied and compared, and accordingly a local laboratory model was designed at an appropriate cost with all the basic and important equipment to obtain a light source that simulates to a certain degree the natural sunlight. By relying on this light source, we were able to conduct an experimental study on a photoelectric model designed to study and test different work

cases, while analyzing the results and calculating the performance of the photoelectric system for the presented model.

Keywords: Solar simulator, Light case, light radiation.

Received //2021

Accepted //2021

المقدمة:

تعتبر دراسة وتطوير أنظمة الطاقة الشمسية من أهم الطرق لزيادة إنتاج الطاقة الكهربائية حالياً، وهو الذي تسعى إليه جميع الاتجاهات العالمية.

وبما أنّ ضوء الشمس يتعرض لتغيرات كثيرة أثناء اليوم الواحد وأثناء الفصول، وأيضاً في المناطق التي تعاني من نقص الطاقة الشمسية الطبيعية، فإن استخدام جهاز المحاكاة الشمسية Solar simulator في المختبر بدلاً من العمل في الظروف الخارجية تحت ضوء الشمس يُمكن من القياس في ظروف غير محددة ومستمرة ولا تعتمد على ضوء الشمس أثناء النهار أو التغيرات الفصلية السنوية المختلفة، كما يُمكن من إعادة هذه القياسات والحصول على نتائج دقيقة، ويوفّر أيضاً إمكانية توسيع البحث بسبب قابلية الضبط لقدرة الخرج والطيف المنبعث.

يُعرّف المحاكى الشمسي solar simulator بأنه جهاز ينتج ضوءاً مماثلاً تقريباً لضوء الشمس الطبيعي. والغرض من هذا الجهاز هو إجراء الاختبارات تحت ظروف تشغيل معينة لكل من الخلايا الضوئية والخلايا الشمسية، كذلك اللدائن والواقيات الشمسية وغيرها من المواد الأخرى التي تحتاج للضوء الشمسي.

وعلى مدار التاريخ تم استخدام أجهزة المحاكاة الشمسية بشكل أساسي في أبحاث الخلايا الكهروضوئية والأبحاث الفضائية، وفي صناعة البلورات، واختبار المواد.

المراحل التاريخية لتطور جهاز المحاكاة الشمسية:

في وقت مبكر من تطوير تقنية الخلايا الشمسية، تم اختبار أداء الخلايا الكهروضوئية في الهواء الطلق أو في الداخل باستخدام مصادر الضوء الاصطناعي التي تحتاج إلى

معايرتها بواسطة الخلايا الكهروضوئية القياسية أو مقياس الحرارة. وحيث كانت الحاجة لمحاكي شمسي يمكنه توفير أساساً مشتركاً لمقارنة الخلايا الشمسية وأيضاً توفير بيانات لتصميم المصفوفات الكبيرة هو أمر مهم لتطوير الخلايا الكهروضوئية الشمسية. لذلك تم التعرف على حاجة الصناعة لاختبار الخلايا الشمسية والأجهزة الأخرى في ظروف محاكاة جيدة التحكم.

استخدم جهاز محاكاة الطاقة الشمسية الذي صممه Hoffman Electronics Corp مزيجاً من مصباح قوس الزينون ومصباح التنغستن كمصدر للضوء، وكذلك المحاكي الذي طوره مختبر Optical Coating Laboratory. أيضاً قامت شركة Spectrolab Corp بتصنيع أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية القياسية، والتي تستخدم طريقة مصادر الضوء المعدلة بواسطة المرشحات الضوئية منذ عام 1962 [1]. ويمكن أيضاً استخدام الغازات الخاملة لتعديل مصادر الضوء [2].

في بداية السبعينيات، وبسبب تطور صناعة الخلايا الكهروضوئية، أصبح وضع طريقة قياس قياسية (بما في ذلك جهاز محاكاة الطاقة الشمسية) أمراً ملحاً. ويمكن تلخيص أهمية الطريقة القياسية على النحو التالي [3]:

- تحديد أداء سلسلة من العينات من مصدر واحد.
 - مقارنة عينات من تصاميم مختلفة.
 - دراسة التغيرات الطارئة على أداء الجهاز بفترات زمنية مختلفة.
 - توفير بيانات تصميم النظم للمهندسين وخبراء التسويق.
- ولهذا السبب، تم وضع أول معيار لإجراء اختبار الخلايا الشمسية في عام 1975 [4]، والذي تم تحديثه في عام 1977 [5].

في عام 1978، بدأت أنشطة كتابة المعايير للوصول إلى طرق قياسية لقياس الأداء الكهربائي للأجهزة الكهروضوئية في اللجنة الفرعية المعنية بأنظمة الطاقة الكهروضوئية التابعة للجنة ASTM E-44 [3]. بعد عام واحد، تم أيضاً الرجوع إلى وثيقة لجنة المجتمعات الأوروبية التي تصف الأساليب الموحدة لقياس الأداء [6]. بعد فترة طويلة من الدراسة والاستشارة [7]، [8]، أصبحت سلسلة من معايير ASTM المنقحة متاحة

أخيراً في عام 1985 [9]. حيث تم اعتبار جهاز محاكاة الطاقة الشمسية المرفق الرئيسي لنظام القياس الكهروضوئي في البحث أو الصناعة، وأن دقته ستؤثر بشكل كبير على خطأ القياس [7]، [10].

وبما أن خصائص مميزة العمل (I-V) لخلية PV تتسم بالحساسية للطف والكثافة ودرجة الحرارة [11]، لذا فلا بد من البحث عن مصادر ضوء جديدة وتطوير نظام ضوئي أكثر دقة استناداً إلى المعايير الموضوعية. ثم كان التركيز الثاني لتصميم محاكي الطاقة الشمسية الكهروضوئية هو خفض متوسط الطاقة وتقلب درجات الحرارة الناجم عن التعرض المطول للضوء [12]، [13]، والذي أمكن تحقيقه بالوصول لما يسمى المحاكي الشمسي النبضي. واستمر العمل البحثي للمحاكاة المتعددة المصادر، الذي كان يهدف إلى تطوير إنتاج طيف أكثر دقة [14]، [15]. مع التطور السريع لتقنية الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED) في نهاية التسعينيات، تحولت أجهزة المحاكاة نحو مصدر الضوء الجديد هذا لما لها من مزايا هامة: انخفاض التكلفة، وصغر الحجم، وعمر التشغيل الطويل، وكفاءة الطاقة العالية [16]. لكن انخفاض كثافة الضوء يمثل المشكلة الرئيسية في تصاميم المحاكي الشمسية التي تقوم على المصدر الضوئي LED بشكل كامل [16] [17]. ونظراً للمزايا الفريدة التي يتمتع بها مصباح LED وتطوره السريع، فإن أجهزة المحاكاة الشمسية LED سوف تكون جديرة بالاهتمام وتصبح الجيل التالي من أجهزة المحاكاة الشمسية القياسية في المستقبل.

تستخدم أجهزة المحاكاة الشمسية أساساً لتقييم الخلايا الشمسية وكذلك لأنواع مختلفة من التطبيقات التي تحتاج إلى ضوء الشمس في ظروف محددة.

التطبيقات الأكثر شهرة في استخدام Solar simulator [18]:

- دراسة النباتات تحت ظروف بيئية معينة (اختبار سلوك النباتات عند أطيايف إشعاعات مختلفة).
- قياس نفاذية الطاقة الكلية لمساحات كبيرة من الأجزاء المصنعة الشفافة والحواجز الشمسية.
- العلاج بأشعة الشمس في الطب.

- قياس قدرة الخلايا الشمسية، والألواح الشمسية.
 - اختبار قدرة المجمعات الشمسية.
 - اختبار معدل تباطؤ إنتاجية الخلايا الشمسية بمرور الزمن.
- ولكن في الغالب إنّ هذه الأجهزة تحتاج إلى كلفة عالية في تصنيعها وتشغيلها وصيانتها، وكذلك صعوبة في الحصول على جهاز اصطناعي يُنتج طيفاً مماثلاً لطيف الشمس.

أهمية البحث:

اعتماداً على الدراسات المقدمة والتصاميم السابقة لجهاز المحاكاة الشمسية تم في هذا البحث تصميم وتصنيع نموذج مصغر محلي الصنع لمحاكاة الإشعاع الشمسي بتكلفة منطقية ومقبولة حسب الإمكانيات المتوفرة في سوريا.

يسمح هذا النموذج بالمحاكاة وفق درجات مختلفة من الإشعاع وكذلك على بعد متغير وبزوايا مختلفة لتوضع اللوح الكهروضوئي، ليتم بذلك احتواء ودراسة كافة الحالات الممكنة.

طريقة البحث:

- 1- دراسة تحليلية لجهاز المحاكاة الشمسية والأجزاء الأساسية التي يتكون منها.
 - 2- دراسة تحليلية للأطياف الضوئية لمصابيح مختلفة ومقارنتها مع الطيف الضوئي للشمس.
 - 3- تصميم الكيبين وملحقاته بالحجم المناسب ودراسة تجريبية لتوزيع المصابيح المستخدمة ضمنه للحصول على الإشعاع الضوئي الأنسب للعمل بشكل أمثل.
 - 4- تحليل النتائج من استخدام هذا النموذج المحلي الصنع.
- وفق المعايير IEC 60904-9 Edition 2 و ASTM E927-10 يقيم الضوء الصادر من المحاكي الشمسي بثلاثة أبعاد [18]:

- نوع الطيف.
- التوزيع المساحي الضوئي.
- الاستقرار الزمني.

حيث يتم تصنيف كل بُعد في إحدى الفئات الثلاث: A,B,C. ويتم تحديد المواصفات المطلوبة لكل فئة في الجدول (1). حيث يُشار إلى جهاز محاكاة الطاقة الشمسية الذي يفي بمواصفات الفئة A في جميع الأبعاد الثلاثة بالمحاكي الشمسي من الفئة A، أو أحياناً فئة AAA (بالإشارة إلى كل من الأبعاد بالترتيب المذكور أعلاه) ويبين الشكل (1) المحاكي الشمسي AAA [18].

جدول (1): مواصفات الفئة ASTM

| التصنيف | مماثلة الطيف الطبيعي (لكل مرحلة) | عدم التماثل المكاني للاشعاع | عدم الاستقرار الزمني |
|---------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Class A | 0.75–1.25 | 2% | 2% |
| Class B | 0.6–1.4 | 5% | 5% |
| Class C | 0.4–2.0 | 10% | 10% |



الشكل (1): المحاكي الشمسي المخبري فئة AAA

تقسم أجهزة المحاكاة الشمسية إلى ثلاث فئات: مستمرة، ومآضة، ونبضية [19]. النوع الأول: هو شكل مألوف لمصدر الضوء تكون فيه الإضاءة مستمرة. غالباً ما

تُستخدم هذه الفئة للاختبار منخفض الكثافة، بدءاً من أقل من شمس واحدة وحتى عدة شمس. يتم تعريف الشمس الواحدة عادةً على أنها الكثافة الاسمية الكاملة لضوء الشمس في يوم صافٍ ساطع على الأرض، والذي يقاس 1000 W/m^2 . قد تحتوي المحاكيات الشمسية للضوء المستمر على عدة أنواع مختلفة من المصابيح مجتمعة (مثال، مصدر قوس واحد ومصباح هالوجين أو أكثر) لتمديد الطيف قدر أكبر في الأشعة الحمراء. **النوع الثاني:** هو المحاكاة الوامضة التي تشبه نوعياً التصوير بالفلاش. مع فترات نموذجية تصل إلى عدة أجزاء من الألف من الثانية، يمكن أن تكون الشدة عالية جداً تصل إلى عدة آلاف وحدة شمسية. غالباً ما يستخدم هذا النوع لمنع ازدياد درجة الحرارة للجهاز الذي يتم اختباره. ومع ذلك، نظراً للتسخين والتبريد السريع للمصباح، فإن شدة وطيف الضوء عابران بطبيعتهما، مما يجعل الاختبار الصحيح المتكرر أكثر صعوبة من الناحية الفنية. لا ينطبق بُعد الاستقرار الزمني للمعيار بشكل مباشر على هذه الفئة من أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية، على الرغم من أنه يمكن استبداله بمواصفات تكرار مماثلة من لقطة إلى لقطة.

النوع الثالث من أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية هو المحاكي النبضي، والذي يستخدم مفتاحاً لحجب أو إلغاء الضوء من مصدر مستمر. هذه الفئة عبارة عن حل وسط بين المستمر والفلاش، مع وجود عيوب في الاستخدام العالي للطاقة وكثافة منخفضة نسبياً لأجهزة المحاكاة المستمرة، ولكنها تتميز بثبات كل من كثافة الخرج وشدة الطيف. كما توفر مدة الإضاءة القصيرة أيضاً فائدة الأحمال الحرارية المنخفضة.

تتكون مصادر الإضاءة المتوفرة تجارياً من المصباح، الذي يكون قلب الجهاز بالكامل، والكيبين الذي يحتوي على عاكس، والبصريات ونظام التبريد، وأخيراً مصدر الطاقة [20].

الأجزاء الأساسية للمحاكي:

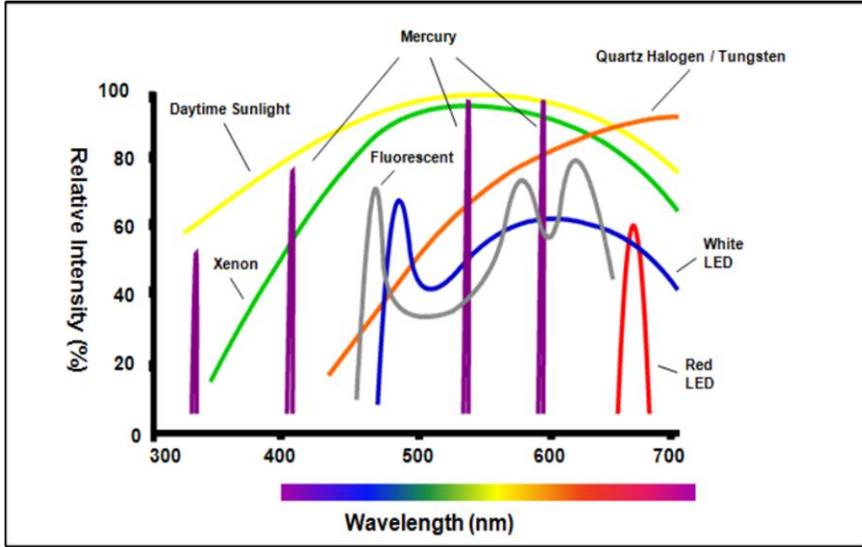
• المصدر الضوئي

يعتبر اختيار مصدر الضوء المناسب لمحاكاة ضوء الشمس وشدته أهم عمل لتصميم محاكي الطاقة الشمسية. يتم فحص مصدر الضوء لمحاكاة الإشعاع الشمسي وفق

مايلي [20]:

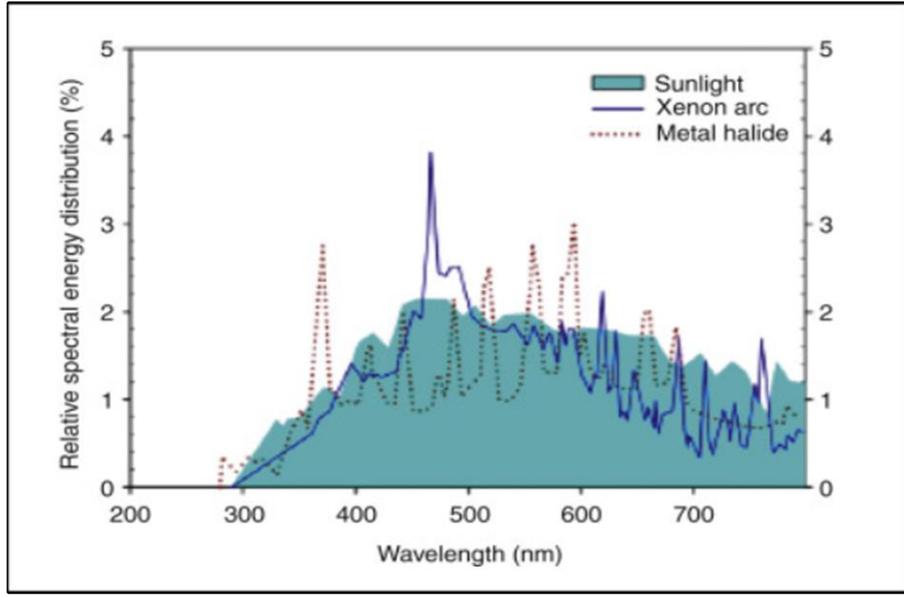
- الصفات الطيفية.
 - توحيد الإضاءة.
 - توازي الحزم الاشعاعية.
 - استقرار التدفق.
 - مدى التدفق الذي يمكن الحصول عليه.
- في تاريخ المحاكاة الشمسية، تم اقتراح العديد من المصاييح، والتي يمكن إدراجها على النحو التالي: مصباح القوس الكربوني، مصباح القوس الهاليدني المعدني، مصباح الهالوجين تنغستن الكوارتز، مصباح القوس الزينون، مصباح الزينون الزئبقي، مصباح القوس الأرجون ومصباح الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED).
- مركز الأشعة أو المجمع
- نظراً لحقيقة أن مصادر الضوء المستخدمة في المحاكيات الشمسية هي مصادر تقريباً خطية، يتم تطبيق الأنظمة الضوئية عادة للحصول على توزيع التدفق المطلوب في الاختبار. المركز الضوئي هو المكون الضوئي الرئيسي لكل نظام محاكاة شمسي، خاصة لمحاكيات الطاقة الشمسية عالية التدفق. وظائفها الرئيسية هي [21]:
- العمل كمجمع لتجميع الإشعاع الضوئي المختلف الاتجاه المنبعث من مصدر الضوء ووضعه في الاتجاه المطلوب.
 - زيادة كثافة تدفق الطاقة الضوئية لتلبية المتطلبات.
- في تاريخ تصميم المحاكي الشمسي، تم اختيار العاكس الإهليلجي، المكثف المكافئ المركب (CPC)، المخروط الضوئي، المكثف الزائد، مكثف القطع المكافئ وعدسة فريسنل في تصميمات محاكاة شمسية مختلفة.
- تصميم جهاز المحاكاة التجريبي المحلي:**
- اختيار المصدر الضوئي المناسب:
- اعتماداً على دراسات ومراجع متعددة تمت دراسة الأطياف الضوئية لعدد من المصاييح المختلفة وتحديد مزايا ومساوئ استخدام كلاً منها ضمن جهاز المحاكاة الشمسية، حيث كان اختلاف عمل المصاييح عن بعضها بعدد من النقاط الأساسية: الطيف المتباين،

توزيع الأشعة، الكفاءة والقضايا التشغيلية الخاصة لكل نوع من المصابيح. وبعد اختيار نوع المصباح النهائي هو الجزء الأهم من التخطيط النهائي لتصميم المحاكى المطلوب. تبين الأشكال (2,3) مقارنة بين الكثافة الضوئية النسبية للشمس مع أنواع المصابيح المختلفة مقابل المحتوى الطيفي لكل مصدر ضوئي.



الشكل (2): الكثافة النسبية لمصدر الضوء مقابل المحتوى الطيفي.

يشير الشريط الموجود في الأسفل إلى النطاق التقريبي لطول الموجة المرئي للإنسان.



الشكل (3): الكثافة النسبية لمصباح الزينون والميتال هاليد مقابل المحتوى الطيفي.

مصباح Xenon arc lamp:

نلاحظ من الشكلين (2,3) أن مصباح قوس الزينون هو الخيار الأول لمصدر الضوء بسبب خصائصه الطيفية المستقرة في توفير استمرارية ممتازة في الأشعة فوق البنفسجية وعبر النطاق المرئي. ميزة أخرى لمصباح الزينون هي أن التباين في الطاقة لا يسبب أي تحول ملموس في توازنه الطيفي. هذا يقلل من متطلبات استقرار التيار الكهربائي [22]. علاوة على ذلك، يمكن أن توفر مصابيح الزينون ذات القوس القصير والضغط العالي مصدرًا أكثر إشراقًا من مصادر الضوء الأخرى، وهو أمر مطلوب لإنتاج شعاع ضوئي عالي الكثافة متوازي [23]. ومع ذلك، فإن مصابيح الزينون لها عيوبها الكامنة التي تحد من تطبيقها في جميع أنواع المحاكاة الشمسية:

- يتطلب مصباح الزينون مصدر طاقة أكثر تعقيدًا وباهظ التكلفة مما يجعله أعلى مصدر إضاءة تجاري تقريبًا.
- يبلغ ضغط غاز الزينون في مصباح الزينون حوالي 10 بار ويمكن أن يصل إلى 40 بار أثناء تشغيله، مما يسبب مخاطر أمنية عالية.
- تتحول قمع الإشعاع بعيدًا قليلًا عن الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت

الحمراء مع تقدم عمر المصباح [22]، [23]، [24].

نظراً لهذه المزايا والعيوب، في تصميم أجهزة محاكاة الطاقة الشمسية الحديثة التي لها متطلبات طيف وكثافة منخفضة، فإن مصباح الكوارتز تنغستن هالوجين ومصباح القوس الهاليد المعدني متفوقان على مصباح الزينون. خلاف ذلك، سيكون مصباح الزينون هو الخيار الأول.

مصباح قوس هاليد المعدني Metal Halide arc lamp :

نلاحظ من الشكل (3) أن مصابيح الهاليد تنتج طيفاً متطابقاً بشكل كبير مع ضوء الشمس الطبيعي في منطقة الأشعة فوق البنفسجية ومناطق الضوء المرئي. كما تتمتع هذه المصابيح بفعالية عالية في الإضاءة والتي تزيد عن 90 Lumen/Watt، والتوازن الجيد في الصفات الطيفية، بالإضافة إلى العمر الطويل (< 1000 ساعة) والتكلفة النسبية غير المكلفة [25]. ولكن هناك عيب رئيسي لهذا المصباح وهو انخفاض جودة التوازي للحزم الإشعاعية مما يجعله مستخدماً في المحاكاة الكهروضوئية والشمسية التي تحتاج فقط لإضاءة ثابتة وخصائص طيفية أقل دقة [23]، [26].

الصمامات الثنائية الباعثة للضوء LEDlight-emitting diodes :

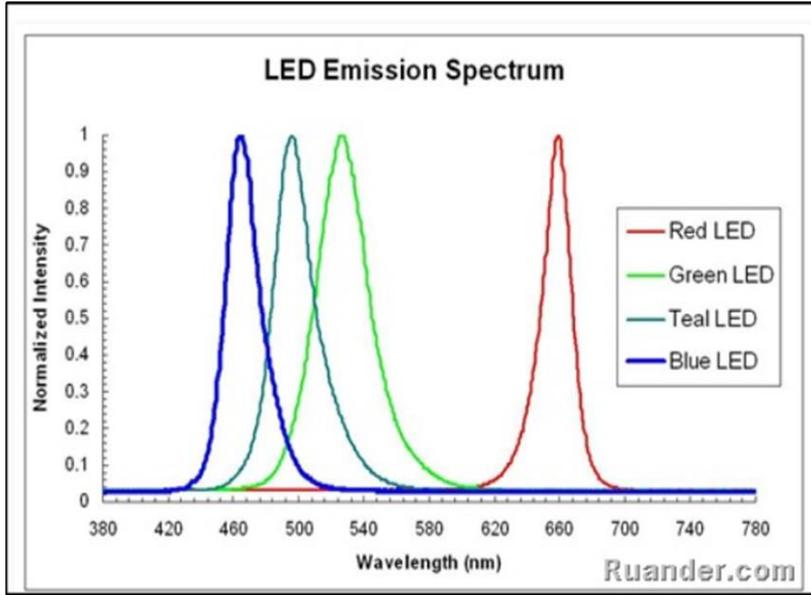
يظهر الشكل (2) أن هذا النوع يملك طيف خرج أحادي اللون (أحمر، أخضر، أزرق) ضيق نسبياً كما يبين في الشكل (4) باستثناء مصابيح LED البيضاء. وبحسب الدراسات فإن هذه الصمامات تقدم الوعد بإنتاج الطاقة بكفاءة عالية لأجهزة المحاكاة الشمسية الاصطناعية في المستقبل. تتمتع مصابيح LED بالعديد من المزايا مقارنة بمصادر الإضاءة التقليدية المستخدمة في المحاكيات الشمسية:

- يمكن التحكم في مصابيح LED بسرعة كبيرة في غضون ميكروثانية وتشغيلها بشكل ثابت عند شدة خرج ضوء واحدة بشكل مستمر لفترة طويلة.
- تتوفر مجموعة متنوعة من الألوان والأطوال الموجية، مما يعني أن الجمع بين عدد من الألوان المطلوبة يمكن الحصول على AM0 أو AM1.5 أو AM2 أو طيف خاص آخر.
- مع تطوير مصابيح LED عالية الطاقة، تتوفر مصابيح LED ذات كثافة

إضاءة 1000 W/m^2 ، ومن المتوقع أن تكون مصابيح LED ذات كثافة أعلى في المستقبل.

- تتمتع مصابيح LED بعمر طويل جداً يصل إلى 50000 إلى 100000 ساعة بشكل عام، مما يعني أنها لا تعوض فقط التكلفة العالية لكل شدة إضاءة ولكن أيضاً تقلل من تكلفة الصيانة إلى الحد الأدنى.
- أكثر إحكاماً وتوفير الطاقة، على عكس المحاكيات الشمسية من نوع مصابيح الزينون ذات الحجم الكبير.
- يمكن تصميم جهاز محاكاة الطاقة الشمسية LED بشكل مضغوط للغاية بسبب مصدر الضوء العالي الكفاءة، والأجهزة الإلكترونية الأقل وبدون مكثف حجم كبير [27]، [28]، [29].

ومع ذلك، فإن LEDs لها أيضاً عيوبها الكامنة: الأول هو أن طاقة خرج ضوء LEDs وكفاءتها وعمرها تنخفض بشكل حساس مع ارتفاع درجة حرارة التشغيل. لذا فإن نظام التبريد الجيد ضروري، لكن هذا يقلل من كفاءة الإخراج أيضاً. كذلك، لا تزال شدة الضوء لمصابيح LED منخفضة جداً لتصميم محاكاة الطاقة الشمسية. باختصار، تظهر مزايا مصابيح LED أنها تفوق عيوبها وتجعلها مصدر ضوء مرشحاً مثالياً لتصميم محاكاة الطاقة الشمسية المتقدمة في المستقبل، على الأقل لمحاكاة الطاقة الشمسية من النوع غير المركّز.



الشكل (4): يبين طيف الانبعاث لألوان الصمامات الثنائية الباعثة للضوء.

مصابيح الكوارتز الهالوجين التنجستن QTH quartz tungsten halogen lamps :

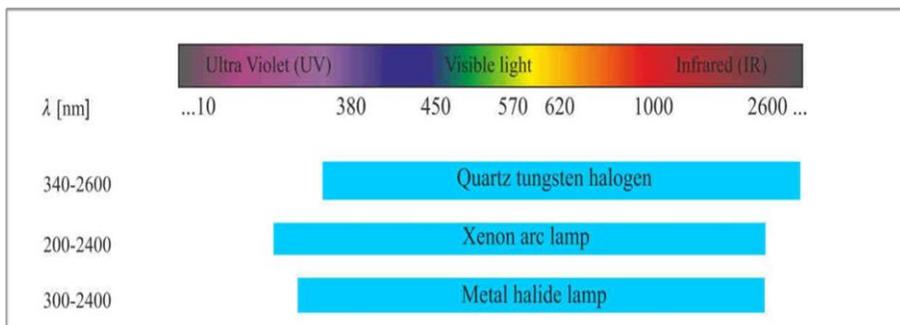
يظهر الشكل (2) تشابه كبير بين الخصائص الطيفية لمصابيح الكوارتز الهالوجين التنجستن مع ضوء الشمس الطبيعي، حيث أطيافها تطابق بشكل وثيق للغاية إشعاع الجسم الأسود. وتمتاز هذه المصابيح بعدة مميزات [25]:

- تكون ذات درجة حرارة ألوان أقل من درجة حرارة الشمس.
- متوفرة بشكل غير مكلف (أرخص بكثير من مصابيح قوس الزينون والمينال هاليد).
- تمتاز بسهولة الصيانة.
- الضوء الناتج عنها ذو اتساق ممتاز.

لذا تكون هذه المصابيح شائعة على نطاق واسع للاستخدام التجاري، الإضاءة المحلية، وصناعة السيارات، المحاكيات الشمسية وخاصة ذات متطلبات الطيف الأقل (محاكاة الطاقة الشمسية لاختبار المجمعات والألواح الشمسية).

مصباح زينون الزئبقي Mercury xenon lamp :

إن مصابيح الزينون الزئبقية هي نوعاً آخر من مصادر الضوء المستخدمة على نطاق واسع في المحاكيات الشمسية الفضائية المبكرة إلا أن استخدام المحاكي الشمسي بمصباح الزينون الزئبقي يمكن أن يؤدي إلى انفجار المصباح وانتشار بخار الزئبق، لذلك غالباً يتم استبدال مصابيح الزينون الزئبقية بمصباح الزينون القوسي كخيار أول لمصدر الضوء [30].



الشكل (5): نطاق الطيف المنبعث لثلاثة أنواع من المصابيح المعروضة: هالوجين التنجستن كوارتز والهاليد المعدنية ومصباح قوس الزينون.

من خلال الدراسة السابقة، وبالمقارنة بين مصابيح الزينون ومصابيح الهاليد المعدنية والهالوجين التنجستن وLEDs، نجد أن هالوجين التنجستن الكوارتز يمكن استخدامها في تصميم المحاكي التجريبي نظراً لخصائصها الأنسب وتوفرها محلياً وسعرها المناسب. في الجدول (2) التالي يتم عرض مواصفات مصابيح الهالوجين تنجستن المتوفرة عالمياً.

الجدول (2): مواصفات مصابيح الهالوجين تنجستن حسب استطاعتها.

| Double Ended Tungsten Halogen Lamps | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|---------------------|------|--------|-------------|
| Watts | Bulb | Lighted Length (in) | Life | Lumens | Lumens/Watt |
| 300 | T2 $\frac{1}{2}$ | 2 $\frac{1}{8}$ | 2000 | 6000 | 20 |
| 300 | T4 | 5 $\frac{1}{8}$ | 2500 | 5000 | 16.7 |
| 400 | T4 | 5 $\frac{1}{8}$ | 2000 | 7500 | 18.8 |
| 500 | T3 | 2 | 2600 | 10000 | 20 |
| 1000 | T3 | 6 $\frac{3}{4}$ | 2000 | 21500 | 21.5 |
| 1000 | T6 | 1 $\frac{1}{8}$ | 2000 | 22000 | 22 |
| 1500 | T3 | 6 $\frac{3}{4}$ | 3000 | 29000 | 19.3 |

| Single Ended Tungsten Halogen Lamps | | | | | |
|-------------------------------------|------|---------------------|------|--------|-------------|
| Watts | Bulb | Lighted Length (in) | Life | Lumens | Lumens/Watt |
| 100 | T4 | 1 $\frac{1}{8}$ | 1000 | 1900 | 19 |
| 150 | T4 | 1 $\frac{1}{2}$ | 2000 | 2600 | 17.3 |
| 250 | T4 | 1 $\frac{3}{8}$ | 2000 | 5000 | 20 |
| 500 | T4 | 2 | 2000 | 9500 | 19 |

وعند إجراء التجارب باستخدام مقياس شدة الإشعاع الضوئي Lux meter على أنواع مختلفة من المصابيح المتوفرة وبعد ثابت عن المقياس (23 cm) كانت قيمة الإشعاع التي حصلنا عليها من مصابيح الهالوجين هي الأفضل مقارنة مع مصابيح الفلوريسانت، والمصابيح المدمجة، والمصباح الأحمر Ultra violet، وLED وكذلك حساسية مقياس الأمبير عند توجيه هذا الإشعاع على لوح كهروضوئي باستطاعة 30 W كانت أيضاً الأعلى بالنسبة لمصابيح الهالوجين، وتم الحصول على النتائج التالية:

- مصباح هالوجين تنغستن وهاج نوع تجاري باستطاعة 500 W أعطى كثافة إشعاع تساوي 11000 Lux ولكن قيمة تحسس مقياس الأمبير عند توجيه هذا الإشعاع على لوح كهروضوئي باستطاعة 30 W كانت 400 mA.
- مصباح هالوجين تنغستن وهاج نوع جيد باستطاعة 500 W أعطى كثافة إشعاع تساوي 13000 Lux ولكن قيمة تحسس مقياس الأمبير عند توجيه هذا الإشعاع

على لوح كهروضوئي باستطاعة 30 W كانت 700 mA .
حسب القيم السابقة فإن استخدام مصباح الهالوجين 500 W من النوع الجيد هو الأنسب
من حيث قيمة الاشعاع العالية والمناسبة لغرض الاختبار ، ومن حيث قراءة مقياس
الأمبير الناتجة عن هذا الاشعاع لذلك تم اعتمادها في تصميم المحاكي الشمسي .
من أجل الحصول على الاشعاع المناسب لدراسة اللوح الكهروضوئي 30 Watt وبالتالي
للوصول لقيمة مناسبة لتيار خرج اللوح قمنا بزيادة عدد المصابيح فكان الأنسب استخدام
ستة مصابيح من نفس النوع، وكذلك فإن اختيار طريقة توضع هذه المصابيح ضمن
الكبن تم بعد إجراء عدة مناورات للحصول على أكبر قيمة للتيار الناتج عن اللوح
الكهروضوئي .

وفي الشكل (6) نوضح كيفية اتخاذ وضعية المصابيح الأمثلية لهذه التجربة.



الشكل (6): يبين الشكل الأولي لتوضع مصابيح الهالوجين في النموذج.

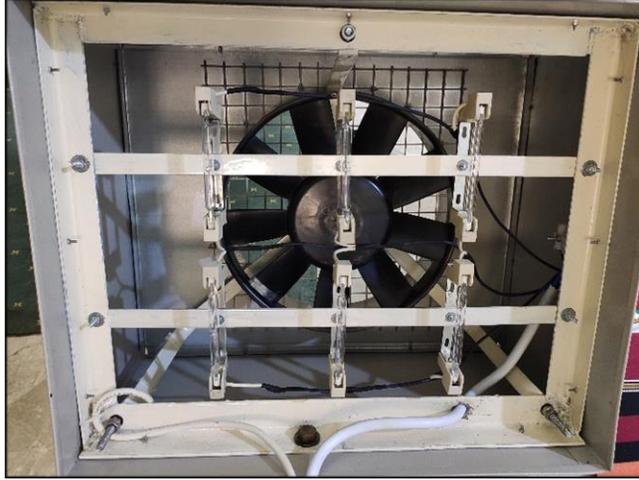
كانت قيمة الإشعاع بواسطة Lux meter لستة مصابيح هالوجين ذات نوع جيد تساوي
(68000 Lux) وباستخدام العلاقة (1) يتم تحويل الواحدة:

$$0.0079 * \text{Lux} = \text{W/m}^2 \quad (1)$$

$$68000 \text{ Lux} * 0.0079 = 537.2 \text{ W/m}^2$$

• تصميم الكبن الحديدي:

تم تصميم الكيبين الحديدي ليحتوي المصدر الضوئي أساساً وكذلك بقية العناصر المهمة. كذلك، تم تحديد الأبعاد المناسبة للكيبين كما يلي (طول 55 cm، عرض 45 cm، ارتفاع 30 cm). يثبت جسر المصابيح ضمنه ويوضع على عمق 5 cm فيساعد ذلك بتركيز الاشعاع الناتج عن المصابيح وتجميعه. يوضح الشكل (7) الكيبين وجسر المصابيح المثبت ضمنه.



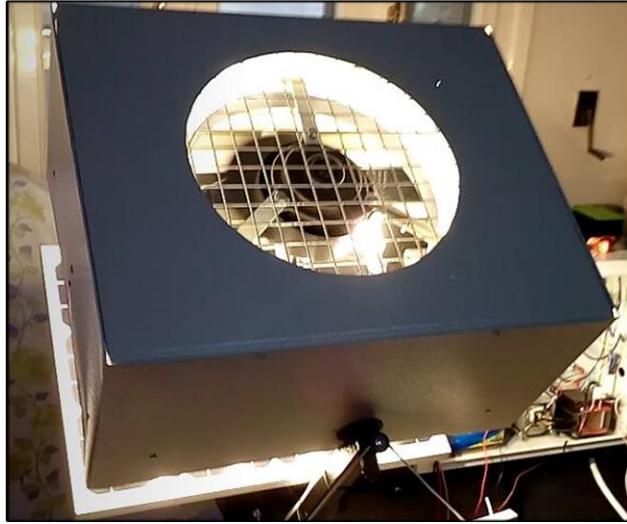
الشكل (7): يبين محتوى كيبين الإضاءة الداخلي.

تتم تغذية كيبين الإضاءة من الشبكة العامة AC-220 V لتقوم بسحب تياراً ما يقارب 15A.

ونظراً لكمية الاشعاع الساقط على اللوح المقابل للكيبين لابد من الأخذ بعين الاعتبار قيمة درجة حرارة النقطة السوداء للخلايا الكهروضوئية (Black-Hotspot) لذلك، تم وضع حساس خاص لقياس درجة الحرارة بحيث تم تثبيته على الوجه الخلفي للوح وفي منتصفه، كما تم تركيب مروحة مناسبة للتبريد ضمن الكيبين الحديدي.

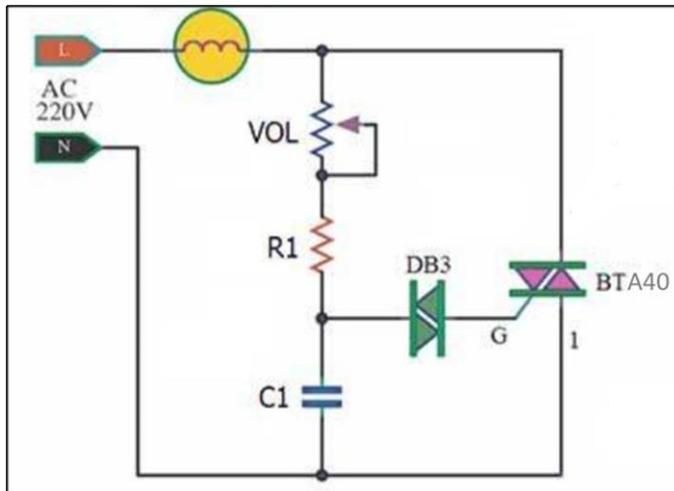
مواصفات مروحة التبريد:

مروحة تيار مستمر سريعة وكبيرة 12 V وباستطاعة 120 W تستجر حوالي 8 A تتم تغذيتها من محول خاص 220/13.7 V متناوب وباستخدام جسر التقويم مع المبرد يتم تحويل التيار إلى مستمر. يوضح الشكل (8) توضع مروحة التبريد ضمن الكيبين وتتم تغطيتها بشبك لحماية المستخدم.



الشكل (8): يبين مروحة التبريد مع شبك الحماية.

ومع الحاجة لتغيير شدة الإشعاع الضوئي الساقط على اللوح الكهروضوئي المدروس تم ربط مجموعة المصابيح إلى دائرة مغير الشدة (Dimmer circuit) لقيادة المصابيح الستة عن طريق التحكم בזاوية القذح يتم تغيير قيمة الجهد وبذلك شدة الإضاءة، كما يتم إضافة مبرد لهذه الدارة نظراً لقيمة تيار الإضاءة العالية. يوضح الشكل (9) دارة عمل ال Dimmer ومكوناتها الأساسية.



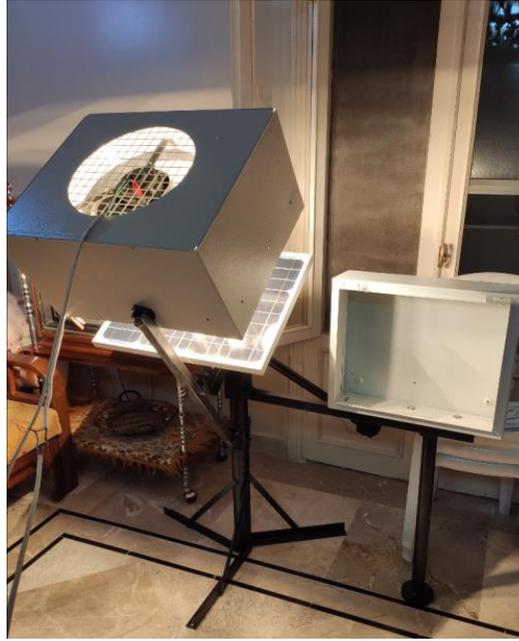
الشكل (9): يبين الدارة الأساسية لمغير الشدة الضوئية.

تتألف الدارة من ترياك استطاعي بتيار عالي 40 A يتم التحكم بزواوية القذح له عن

طريق الدياك والمقاومة المتغيرة لكلا الموجتين الموجب والسالب ليتم بذلك التحكم بشدة الإضاءة تدريجياً.

تطبيقات البحث ونتائجه:

تم تصميم نموذج مصغر لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية ومحاكاة الحالات الممكنة لتغير التوضع والزوايا بين اللوح الكهروضوئي المستخدم والمحاكي الشمسي كما في الشكل (10) التالي:



الشكل (10): يبين الشكل العام للنموذج المصغر.

الأجزاء الأساسية:

1. لوح الخلايا الشمسية.
2. منظم الشحن PWM .
3. كيبين الإضاءة الحديدي.
4. القاعدة الحديدية.
5. محرك DC مع ذراع.

6. الواجهة التفاعلية للنموذج.

وفي هذا التصميم كان كيبين الإضاءة المصمم هو العنصر الأساسي الذي ساهم في الوصول لغاية النموذج المصمم، واستطعنا من خلاله ومن خلال مكوناته البسيطة المتوفرة الحصول على إشعاع ضوئي مناسب للوصول إلى استرجار التيار الاسمي من اللوح الكهروضوئي النموذجي المستخدم.

ولهذا التصميم العديد من درجات للحرية بحيث يمكن من استيفاء جميع الحالات الممكنة لتوضع اللوح بالنسبة لمصدر الإشعاع الضوئي:

- 1- تغيير بعد الكيبين عن اللوح.
- 2- تغيير زاوية ميل الكيبين عن اللوح على محور Y.
- 3- تغيير اتجاه الكيبين بتثبيت اللوح.
- 4- حركة اللوح الكهروضوئي على محور X.
- 5- حركة اللوح الكهروضوئي على محور Y بتثبيت الكيبين.

المواصفات الاسمية للوح الكهروضوئي المدروس:

$$W_{mp} = 30 W \text{ الاستطاعة عند نقطة الاستطاعة العظمى.}$$

$$V_{mp} = 17.3 V \text{ الجهد عند نقطة الاستطاعة العظمى.}$$

$$I_{mp} = 1.73 A \text{ التيار عند نقطة الاستطاعة العظمى.}$$

$$V_{OC} = 21.5 V \text{ جهد الدارة المفتوحة.}$$

$$I_{SC} = 1.86 A \text{ تيار الدارة المقصورة.}$$

$$T \text{ درجات الحرارة المناسبة للتشغيل. } -40^\circ C \text{ to } +85^\circ C$$

$$\text{Power tolerance } 0/+5\% \text{ القيم الاحتياطية المسموحة للعمل ضمنها.}$$

فيما يلي نعرض دراسة الحالة الأعظمية للاستطاعة الناتجة:

أولاً: المحاكى الشمسي عمودياً على اللوح الكهروضوئي وعلى بعد 23 cm منه ومغير

الشدة الضوئية Dimmer مضبوطاً على القيمة العظمى

من أجل هذه الظروف المحيطة كانت قيمة الإشعاع الضوئي الساقط على اللوح

الكهروضوئي تبلغ حسب العلاقة (1)

$$68000 \text{ Lux} * 0.0079 = 537.2 \text{ W/m}^2$$

وكانت قيمة خرج اللوح الكهروضوئي بالنسبة للجهد والتيار وتيار القصر

$$V = 13 \text{ V}$$

$$I = 1.27 \text{ A}$$

$$I_{sc}=1.6 \text{ A}$$

وكذلك قيمة حساس الحرارة للوح الكهروضوئي كانت 80 C°

وبذلك تحسب استطاعة الخرج من العلاقة (2)

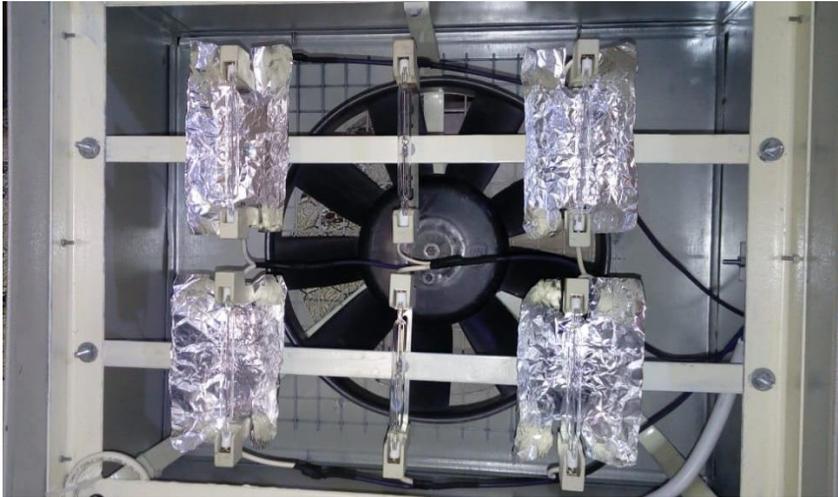
$$P=V*I \quad (2)$$

$$P_{out} = 13 * 1.27 = 16.51 \text{ W}$$

ثانياً: المحاكى الشمسي عمودياً على اللوح الكهروضوئي وعلى بعد 23 cm منه ومغير

الشدة الضوئية Dimmer مضبوطاً على القيمة العظمى مع وجود عواكس

تمت في هذه الحالة إضافة عواكس من الألمنيوم لأربع مصابيح من كابين الإضاءة بهدف زيادة شدة الإشعاع الناتج حيث تم وضع شرائح من الألمنيوم خلف مصابيح الزوايا الأربعة مع مراعاة عدم وضع هذه العواكس للمصابيح الواقعة في الوسط أخذين بعين الاعتبار المحافظة على درجة الحرارة في منتصف اللوح المدروس والتي تتركز فيها الشدة الضوئية وبالتالي الحرارة، يبين الشكل (11) توضع العواكس ضمن الكابين:



الشكل (11): يبين عواكس الألمنيوم خلف المصابيح.

فكانت النتيجة ارتفاع في قيمة الإشعاع لتبلغ حسب العلاقة (1)

$$78000 \text{ Lux} * 0.0079 = 616.2 \text{ W/m}^2$$

وكانت قيمة خرج اللوح الكهروضوئي بالنسبة بالنسبة للجهد والتيار والتيار القصر

$$V = 13.4 \text{ V}$$

$$I = 1.78 \text{ A}$$

$$I_{sc} = 2 \text{ A}$$

وكذلك قيمة حساس الحرارة للوح الكهروضوئي كانت 83 C°

وبذلك تحسب استطاعة الخرج من العلاقة (2)

$$P_{out} = 13.4 * 1.78 = 23.852 \text{ W}$$

حساب مردود عمل اللوح الكهروضوئي لحالة الاستطاعة العظمى بوجود العواكس:

أبعاد اللوح المستخدم في النموذج ($0.4 \text{ m} * 0.52 \text{ m}$) فتكون مساحة السطح للوح:

$$S = L * W$$

$$S = 0.4 \text{ m} * 0.52 \text{ m} = 0.208 \text{ m}^2$$

وإن قيمة الاشعاع في هذه الحالة تساوي حسب العلاقة (1):

$$0.0079 * 78000 \text{ Lux} = 616.2 \text{ W/m}^2$$

تساوي: فتكون قيمة الاستطاعة الساقطة على اللوح

الاستطاعة P_{in} = قيمة الاشعاع الساقط على اللوح * مساحة اللوح

$$P_{in} = 616.2 \text{ W/m}^2 * 0.208 \text{ m}^2 = 128.16 \text{ W}$$

قيمة الاستطاعة الخارجة من اللوح في هذه الحالة:

$$P_{out} = V * I = 13.4 \text{ V} * 1.78 \text{ A} = 23.852 \text{ W}$$

قيمة المردود:

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{23.852}{128.16} = 0.18$$

وقد تمت مقارنة القيم الناتجة عن المحاكي المصنع مع قيم الاشعاع المقاس في محطة الرصد (مركز البيئة) للاشعاع الشمسي الحقيقي لمدينة حلب فكانت القيم منطقية ومناسبة بالنسبة لمحاكي يعمل تحت الظروف المخبرية وفي جميع الأوقات وممكن زيادة قيمة الاشعاع بالتقريب أو زيادة عدد العواكس ولكن في حالة اللوح المعتمد للدراسة فإن القيم الناتجة كافية والجدول (3) يبين نتائج المقارنة:

الجدول (3): مقارنة قيمة الاشعاع لحالات متعددة.

| أعلى قيمة للإشعاع W/m ² | أعلى قيمة للإشعاع Lux | الشهر | المصدر |
|--|-----------------------------|-------|--|
| 1050 | 132900 | أب | محطة الرصد الساعة 12.30 ظهراً |
| 980 | 124000 | تموز | محطة الرصد الساعة 12.30 ظهراً |
| 948 | 120000 | تموز | تجريبي باستخدام مقياس Lux meter للأشعة الشمسية المباشرة على السطح الساعة 12.30 ظهراً |
| 700 | 88600 | | تجريبي باستخدام مقياس Lux meter لجهاز المحاكاة عند القيمة العظمى ويبعد 20 cm عن اللوح المدروس |
| 616 | 78000 | | تجريبي باستخدام مقياس Lux meter لجهاز المحاكاة عند القيمة العظمى ويبعد 23 cm عن اللوح المدروس مع إضافة عواكس |
| 537 | 68000 | | تجريبي باستخدام مقياس Lux meter لجهاز المحاكاة عند القيمة العظمى ويبعد 23 cm عن اللوح المدروس |

مناقشة نتائج البحث:

- 1- تم بواسطة هذا النموذج المصغر ومن خلال الإشعاع الناتج عن كبين الإضاءة (مصابيح الهالوجين تتغستين) توليد قيمة تيار من اللوح الكهروضوئي المستخدم مساوية لقيمة التيار الاسمي.
- 2- تم الحصول على مردود عمل لهذا النموذج بقيمة جيدة ومناسبة.
- 3- تم الحصول على حالات خاصة حيث أمكن الوصول لقيمة إشعاع أعلى وذلك إما بتقريب الكبين من اللوح أو بزيادة عدد العواكس خلف المصابيح داخل الكبين ولكن هذه الحالة غير مرغوبة للعمل بالنسبة للوح الكهروضوئي المدروس، فعند تقريب الكبين من اللوح (البعد 20 cm) تم استرجار قيمة تيار أعلى من التيار الاسمي حيث وصلت قيمة التيار إلى 2 A وقيمة حساس الحرارة هنا تجاوزت 92 C° وقيمة

تيار القصر 2.2 A وحسب الشروط والقيم الاحتياطية لا يجب تجاوز هذه القيم أو العمل عندها لفترة معينة حرصاً على سلامة اللوح الكهروضوئي.

التوصيات:

- 1- إضافة أطيف أخرى من مصادر الضوء (ضوء زينون خاص، اللون الأحمر، اللون الأصفر، اللون الأخضر ومصادر الأشعة تحت الحمراء....) التي تمتلك أطوال موجات مختلفة لنحصل على اشعاع أقرب ما يمكن لأشعة الشمس الطبيعية.
- 2- الاستعاضة عن المروحة ذات الصوت العالي بالتبريد عن طريق الماء بطريقة فنية معينة (مضخة مع حاجز مائي ملاصق للواجهة) أو أي طريقة تبريد أخرى.
- 3- إضافة حساس تحليل الطيف الضوئي لقراءة حزمة الطيف الضوئي الساقط على اللوح.
- 4- العمل لتعديل شكل الكبين لشكل مخروطي بسطح عاكس كامل وبذلك زيادة في تركيز الاشعاع الصادر عن المصدر الضوئي وتقليل بذلك استطاعة المصدر الضوئي ولكن هذا يحتاج إلى كلفة إضافية كبيرة وقواعد إضافية لثبيت مروحة التبريد كما يحتاج لحجم أكبر.

المراجع:

- [1] ARMED SERVICES TECHNICAL INFORMATION AGENCY, January 1963 - **Solar Energy Measurement Techniques**. Technical Documentary Report ASD-TDR-62-882.
- [2] S. M. NEUDER, 1970- **Spectral Modification for Solar Simulation**. Applied Optics 9, pp. 1014-1018.
- [3] U. C. PERNISZ, 1982-1983 - **Development of a Standard Test Method for Measuring Photovoltaic Cell Performance**. Solar Cells 7, pp. 203-208.
- [4] H. BRANDHORST, J. HICKEY, H. CURTIS, E. RALPH, 1975- **Interim Solar Cell Testing Procedures for Terrestrial Applications**. NASA TM X-71771.
- [5] ERDA/NASA, 1977- **Terrestrial Photovoltaic Measurement Procedures**. NASA TM-73702.
- [6] Commission of the European Communities, 1979- **Standard Procedures for Terrestrial Photovoltaic Performance Measurements**. ISBN 92-825-1484-6.
- [7] H. A. SCHAFFT, 1982-1983 - **Measurements for Commercial Photovoltaics: A Status report**. Solar Cells 7, pp. 23-46.
- [8] R. J. MATSON, K. A. EMERY AND R. E. BIRD, 1984- **Terrestrial Solar Spectra, Solar Simulation and Solar Cell Short-Circuit Current Calibration: A Review**. Solar Cells 11, 105-145.
- [9] S. J. HOGAN, 1986- **Status of IEC, ASTM, and IEEE Photovoltaic Standards**. Solar Cells 18, pp. 327-333.
- [10] E. L. RALPH, 1982-1983- **Photovoltaics Measurement Equipment Needs: The View of a Prospective Supplier**. Solar Cells7, pp. 55-60.
- [11] K. A. EMERY, 1986- **Solar Simulators and I-V Measurement Methods**. Solar Cells18, pp. 251-260.

- [12] R. L. MUELLER, 1993- **The Large Area Pulsed Solar Simulator (LAPSS)**. JPL Report, JPL Publication 93-22.
- [13] T. W. CANNON, 1998- **Spectral Measurements of Pulse Solar Simulators**. NREL Report, NREL/CP-560-25732.
- [14] L. C. KILMER, 1995- **Design of a More Accurate, Higher Fidelity, Dual-Source Air Mass Zero Solar Simulator**. Aerospace Report, TR-94(4524)-1.
- [15] P. JENKINS, D. SCHEIMAN, D. SNYDER - **Design and Performance of a Triple Source Air Mass Zero Solar Simulator**. 18th Space Photovoltaic Research and Technology Conference, NASA/CP-2005-213431, pp. 134-138.
- [16] M. BLISS, T. R. BETTS, R. GOTTSCHALG, 2008-**Advantages in Using LEDs as the Main Light Source in Solar Simulators for Measuring PV Device Characteristics**. Proc. of SPIE, Vol. 704807.
- [17] S. H. JANG, M. W. SHIN, 2010- **Fabrication and Thermal Optimization of LED Solar Cell Simulator**. Current Applied Physics 10, pp. 537-539.
- [18] ASTM International - ASTM E927-04, 2010- **Specification for Solar Simulation for Photovoltaic Testing**.
- [19] ASTM G173-03, 2008 -**Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37 Tilted Surface**.
- [20] P. KRUSI and R. SCHMID, 1983-**The CSI 1000W Lamp as Source for Solar Radiation Simulation**. Solar Energy 30, pp. 455-462.
- [21] R. WINSTON, J. C. MINANO, P. BENITEZ, 2005-**Nonimaging Optics**. Elsevier Academic Press.
- [22] D. BICKLER, 1962- **The Simulation of Solar Radiation**. Solar Energy 6, pp. 64-68.

[23] R. J. MATSON, K. A. EMERY AND R. E. BIRD, 1984 - **Terrestrial Solar Spectra, Solar Simulation and Solar Cell Short-Circuit Current Calibration: A Review**. Solar Cells 11, pp 105-145.

[24] D. S. CODD, A. CARLSON, J. REES, A. H. SLOCUM, 2010- **A Low Cost High Flux Solar Simulator**. Solar Energy 84, pp. 2202-2212.

[25] E. J. G. BEESON, 1978- **The CSI Lamp as a Source of Radiation for Solar Simulation**. Lighting Research and Technology 10, pp. 164-166.

[26] P. KRUSI and R. SCHMID, 1983- **The CSI 1000W Lamp as Source for Solar Radiation Simulation**. Solar Energy 30, pp. 455-462.

[27] M. BLISS, T. R. BETTS, R. GOTTSCHALG, 2008- **Advantages in Using LEDs as the Main Light Source in Solar Simulators for Measuring PV Device Characteristics**. Proc. of SPIE, Vol. 704807.

[28] S. KOHRAKU, K. KUROKAWA, 2006- **A Fundamental Experiment for Discrete-Wavelength LED Solar Simulator**. Solar Energy Materials & Solar Cells 90, pp. 3364-3370.

[29] A. M. BAZZI, Z. KLEIN, M. Sweeney, et al., 2012 -**Solid- State Solar Simulator**. IEEE Transactions on Industry Applications 48, pp. 1195-1202.

[30] G. G. GORANSON, 1965 -**Comments on the Operation of the JPL 25-ft Space Simulator**. Technical Report No.32-885.

[31] Erkata Yandri , 2018- **Uniformity characteristic and calibration of simple low cost compact halogen solar simulator for indoor experiments**. Indonesia.

[32] Rahmat Awaludin Salam, Muhammad Miftahul , MunirThariq Warsahemas, Casmika Saputra, Hamzah Latief and Khairurrijal Khairurrijal , 2018 - **A simple solar simulator with highly stable controlled irradiance for solar panel characterization**.

دراسة التركيب البيوكيميائي لجنسين من الطحالب الخضراء (*Ulva, Enteromorpha*)

في شاطئ مدينة اللاذقية

ديما شوكت علي*، د.سمر اختييار**، د. مهيب اسماعيل***

*طالبة ماجستير، قسم البيولوجية البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين، اللاذقية.

**قسم البيولوجية البحرية، المعهد العالي للبحوث البحرية، جامعة تشرين، اللاذقية، والمعاراة لجامعة

القلمون الخاصة، دير عطية

***قسم علم النبات، كلية العلوم، جامعة تشرين، اللاذقية، سوريا

الملخص:

تكمن أهمية البحث في معرفة التركيب البيوكيميائي لجنسين من صف الطحالب الخضراء Chlorophyta التي تم جمعها من شاطئ مدينة اللاذقية هي: (*Ulva*، *Enteromorpha*) من أربع مناطق (منطقة الكورنيش الجنوبي، مقام الخضر، برج اسلام، شاليهات الدراسات) لتحديد قيمتها الاقتصادية لكونها مصدراً هاماً للمعادن والفيتامينات والأحماض الأمينية الضرورية لعمليات الهضم والتمثيل الغذائي كما تعد مواداً أساسية للعديد من الصناعات الطبية والغذائية وصناعة الأسمدة الزراعية. وقد تم تصنيفها لتحديد الأجناس ودراسة محتواها البروتيني والليبيدي والسكري لتقدير قيمتها الغذائية، فقد أظهرت النتائج أن نسبة البروتينات عند جنس *Enteromorpha* تراوحت بين (4-74)% من الوزن الرطب، و(4-59)% عند جنس *Ulva*، أما السكريات فقد تراوحت عند *Enteromorpha* (7-68)% و(15-46)% عند *Ulva* على التوالي. بينما سجلت الطحالب نسب منخفضة من الليبيدات اذ تراوحت (1.2-1.3) عند جنس *Enteromorpha*، و(1-3.2) عند الجنس *Ulva*.

الكلمات المفتاحية: بيوكيمياء الطحالب الخضراء، (*Ulva*، *Enteromorpha*).

A study of biochemical composition of two genera Chlorophyta (*Ulva*, *Enteromorpha*) in the coast of Lattakia

Deema Ali, Samar Ikhtiyar, Mouhib Ismail

HIGH Institute of Marine research, Tishreen University, Lattakia, Syria

Abstract:

The importance of the research lies in knowing the biochemical composition of the two genera from the class of chlorophyta collected from the coast of Lattakia are: (*Ulva, Enteromorpha*) from four regions (Kornish janoubi, Maqam Al Khoder, Burj Islam, Shalihah Aldrasat) to determine its economic value as it is an important source. Medical and food industries and the manufacture of agricultural fertilizers. It was classified in to genera and its content study to estimate the nutritional values. The results lost the percentage of proteins in the *Enteromorpha* genus, which ranged between (4–74)% by wet weight, and (4–59)% in the genus *Ulva*, The Charbohydrates at *Enteromorpha* ranged from (7–68)% and (15–46)% at *Ulva*, respectively. Algae recorded low percentages of lipids, as they ranged from (1.2–1.3) for the genus *Enteromorpha*, and (1–3.2) for the genus *Ulva*.

Key words: Biochemistry Chlorophyceae, *Ulva*, *Enteromorpha*.

المقدمة Introduction:

تعد الطحالب من النباتات اللازهرية الthallophyta، معظمها بحري. ولها أهمية بيولوجية وبيئية في السلسلة الغذائية، لاحتوائها على الأصبغة اليخضورية chlorophyll الضروري للقيام بعملية التركيب الضوئي، وتحويل المادة اللاعضوية لمادة عضوية^[1]، وتوفر الطحالب البحرية موئلاً طبيعياً للكائنات غيرية التغذية وتحميها من الحيوانات المفترسة والضغطات البيئية^[3]، هذا بالإضافة لدورها في تخفيض غاز ثاني أكسيد الكربون. وفي الآونة الأخيرة، تزايد الطلب على الطحالب ومنتجاتها^[4]، لدخولها في العديد من الصناعات الغذائية والدوائية والطبية، نظراً لغناها واحتوائها على العديد من المركبات البيوكيميائية من فيتامينات وبروتينات وليبيدات وسكريات وأملاح معدنية، كما يستخرج منها مركبات هامة وأساسية في التطبيقات الصناعية كالآغار والألجينات و الكاراجينان وأملاح اليود واليودات أساس في صناعة المكملات والحميات الغذائية^[5]، كما تحتوي الطحالب البحرية على مركبات نشيطة بيولوجياً كالسكريات التي تشكل 50% من وزن الجدار الخلوي^[2]، والبروتينات والدهون ومركبات الفيوكويدان والبولي فينول المضادة للبكتريا والفطريات والفيروسات^[6].

بدأت دراسة الطحالب على الشواطئ السورية مع ميهوب^[7] الذي سجل 400 نوع، وتناولت الأبحاث التي تناولت الطحالب من الناحية التصنيفية^[8-10]. وسجلت الظواهر الغير طبيعية الملاحظة من قبل الطحالب (المد الأحمر) على الشواطئ السورية^[11]، كما تم دراسة التوزع العمودي للأصبغة اليخضورية بكافة أنواعها في رأس ابن هاني^[12]، وفي منطقة برج اسلام^[13] التي تناولت التوزع الأفقي والعمودي للأصبغة اليخضورية والسماوية والبكتيريا، وفي مجال التلوث درس أثر الكادميوم على *Tetraselmis chuii*^[14]، أما في الشواطئ الغربية فقد كان هناك عدد لا يحصى من الدراسات التي درست التركيب البيوكيميائي للطحالب^[15-16].

2- هدف البحث Aim of the search:

بناءً على ماتقدم يهدف بحثنا إلى دراسة التركيب البيوكيميائي لجنسين من الطحالب الخضراء (*Ulva-Enteromorpha*) وذلك من أجل تقدير القيمة الاقتصادية والغذائية والطبية ، هناك العديد من الدراسات والأبحاث الحديثة التي تناولت الطحالب الميكرونية كقيمة غذائية [17-18] ، بالإضافة للأبحاث التي اهتمت بتسجيل الأنواع الجديدة التي ظهرت على شواطئنا السورية كـ *Hetrosigma akashiwo* [19]. كما أشار اسماعيل 2017 إلى أهم القطاعات الطحلبية السائدة في شواطئ مدينة اللاذقية وأهم العوامل المؤثرة على توزيعها [20].¹ تعتبر الطحالب غذاء هام للإنسان، يتم استخدامها من قبل سكان بعض المناطق الساحلية بشكل شائع، واستخدمت كأعلاف للماشية والدواجن وهي غذاء رئيسي للكائنات البحرية. ونتاجها للأوكسجين في عملية التركيب الضوئي 70-85% لذا فهي تقلل من التغيرات المناخية .

3- مواد البحث وطرائقه Materials and methods:

3-1- المواد والأدوات المستخدمة:

1- أكياس من البولي إيثيلين : لنقل العينات إلى المخبر بعد غسلها بماء البحر .

2- مجهر ضوئي نوع (Motic B1) لتصنيف العينات اعتماداً على إجراء مقاطع

عرضية للمشرة .

3- جهاز قياس العوامل الهيدروولوجية .

4- مواد كيميائية للكشف عن التركيب البيوكيميائي : كحول إيثيلي -كلوروفورم-

كواشف كيميائية .

5- جهاز قياس الأمتصاصية.

جمع العينات: تم اعتماد منطقة الكورنيش الجنوبي ومنطقة برج اسلام ومنطقة مقام الخضر - ومنطقة الدراسات، أربع محطات لجمع العينات خلال الفترة الزمنية الممتدة ما بين شهر أيار وحتى شهر كانون الأول من عام 2019. بمعدل عينة شهرياً للموقع.



الشكل (1): يبين التوضع الجغرافي للمناطق المعتمدة في الدراسة.

تم غسل العينات بماء البحر لإزالة الرواسب والمواد العالقة، ثم نقلت إلى المختبر بأكياس من البولي إيثيلين، وحفظت على شكل معشبات، ثم صنفت العينات باستخدام مجهر ضوئي ومعتمدين على المراجع التصنيفية العالمية [21-22] ، وحفظت العينات بالدرجة -4م تمهيداً لإجراء التحاليل البيوكيميائية (السكريات، البروتينات، الليبيدات).

3-2- طرائق التحليل:

أجريت التحاليل البيوكيميائية على العينات المدروسة اعتماداً على المراجع العلمية العالمية كما يلي:

3-2-1 قياس البروتينات : باستخدام طريقة (Lowry et al)^[23]، التي تستند على تشكيل معقد بروتيني-نحاسي بوسط قلوي ووزن يتراوح بين (0,5-1) غرام، وبوجود كاشف فولان سيوكالتو (FolanCiocalteu Reagent)، يتشكل معقد نتيجة عملية إرجاع الفوسفومولبيدات، لإعطاء معقد أزرق اللون تقاس امتصاصيته عند طول الموجة 700nm على جهاز السبكتروفوتوميتر spectrophotometer مع استخدام البومين بقري (bovine serum albumin BSA) لتحضير المحاليل العيارية الضرورية المطلوبة للتحليل.

3-2-2 قياس الكربوهيدرات: باستخدام طريقة (Dubois et al)^[24]، بعد معالجة العينات بالفينول لاستخلاصها، ثم إضافة حمض الكبريت المركز وقياس الامتصاصية عند طولي الموجة 490nm و 600nm، على جهاز السبكتروفوتوميتر SPECTROPHOTOMETER مع تحضير محاليل عيارية مخبرية من الغلوكوز. و

تصحح الإمتصاصية المقروءة عند طول الموجة، وقد اعتمدنا معادلة التصحيح التالية لتلافي الخطأ :

$$D1 = D490 - 1.5 (D600)$$

حيث D1 هي قيمة الإمتصاصية بعد التصحيح

D490 هي قيمة الإمتصاصية الضوئية عند طول الموجة 490

D600 هي قيمة الإمتصاصية الضوئية عند طول الموجة 600

3-2-3 قياس الليبيدات باستخدام طريقة (Bligh & Dyer) [25]، حيث يتم

استخلاص الليبيدات بالكلوروفورم والماء بنسبة 1:1، تفصل بعدها الخلاصة الكلوروفورمية وتجفف بشكل كامل ثم توزن ويمثل وزن الخلاصة الكلوروفورمية وزن الليبيدات في العينة.

3-3- التحليل الإحصائي:

تم التعبير عن النتائج التي تم الوصول إليها باستخدام المتوسط الحسابي \pm الانحراف المعياري. وتم القيام بالتحليل الإحصائي باستخدام برنامج (ANOVA) Minitab عند قيمة (P<0.05)، بالإضافة لدراسة علاقات الارتباط Correlation Static، والوصف الإحصائي Description Static.

4- النتائج والمناقشة Results and discussion

4-1 الخصائص الهيدرولوجية للمحطات المدروسة: يتأثر التركيب البيوكيميائي

للطحالب بالعديد من العوامل البيئية كدرجة حرارة الوسط وملوحة المياه المدروسة، بالإضافة لعكارة المياه المدروسة [Ikhtiyar 2020] و [Ikhtiyar & Durgham 2020]
لذي يبين تأثير العوامل البيئية على الأصبغة اليخضورية، وعلى النوع *Discomedusae Lobata*.

تراوحت درجة الحرارة بين (18 و 29,7) في المحطات المدروسة، أما الملوحة فقد تراوحت بين (36 و 37,79)‰، اما عكارة المياه المدروسة فقد تراوحت بين (1,16 و 13,3) NTU.

4-1- النتائج:

1- من صف الطحالب الخضراء Chlorophyceae، تم دراسة:
4-1- جنس *Ulva*: ينتمي هذا الجنس إلى رتبة *Ulvales* فصيلة *Ulvacae*، تتميز
بمشرة صفيحية ضخمة، تثبتت بقرص جذموري على القاع الصخري، المكسو بالرسوبيات
الرملية أو الطينية. وهي غنية بالمركبات الفلافونية والفينولية المضادة للأكسدة والتهابات

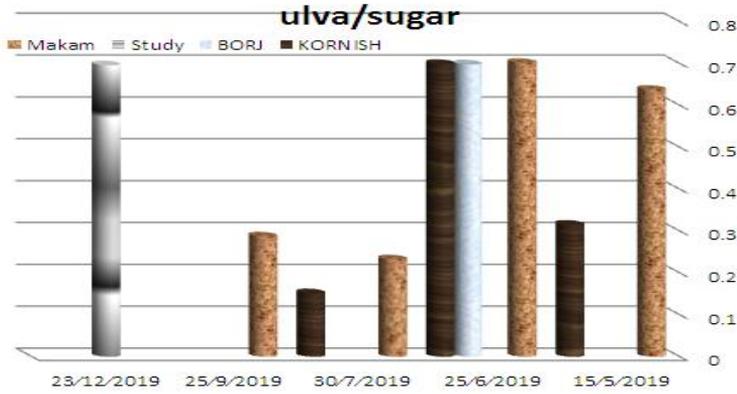
[26]



الشكل (2): يبين صورة فوتوغرافية لجنس *ULVA*.

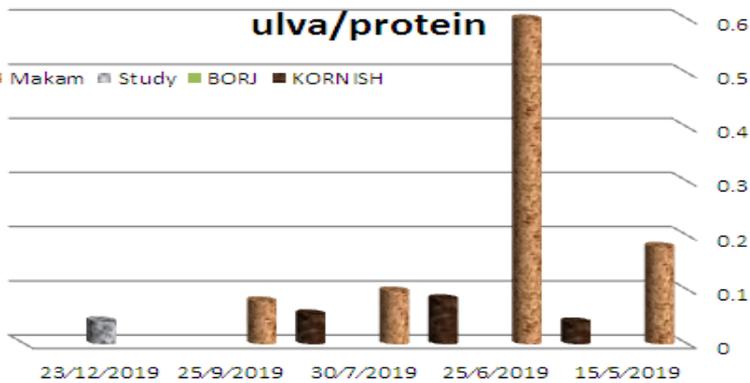
4-1-1- تغيرات تراكيز السكريات عند جنس *Ulva* من الطحالب الخضراء: سجلت أعلى
نسبة للسكريات في منطقة شاليهات الدراسات خلال شهر كانون الأول، وارتفعت النسب تدريجياً
في منطقة الكورنيش الجنوبي اعتباراً من أيار إلى حزيران ثم انخفضت خلال أيلول وكانت على
التوالي (32، 70، 15) %، أما في منطقة مقام الخضر فقد ارتفعت اعتباراً من أيار إلى حزيران
وانخفضت خلال تموز، لتبدأ بالارتفاع خلال أيلول وسجلت على التوالي النسب (63، 70، 23،
28) %، وخلال حزيران سجلت في منطقة برج اسلام النسبة 69%.

دراسة التركيب البيوكيميائي لجنسين من الطحالب الخضراء (*Ulva, Enteromorpha*) في شاطئ مدينة اللاذقية



الشكل(3): تغيرات تراكيز السكريات عند جنس *Ulva* من الطحالب الخضراء.

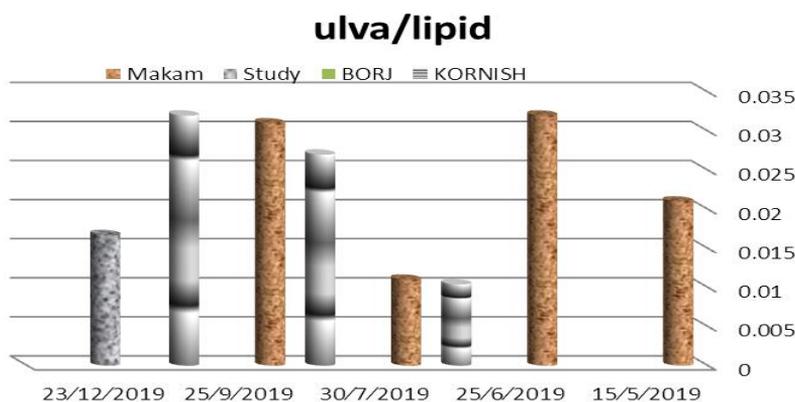
4-1-2- تغيرات تراكيز البروتينات عند جنس *Ulva* من الطحالب الخضراء: معظم النسب المئوية المتعلقة بالبروتينات لم تتجاوز 10%، فيما عدا النسبة المسجلة في منطقة مقام الخضر التي سجلت النسبة 60% خلال حزيران. حيث بدأت نسبة البروتينات بالارتفاع في هذه المنطقة اعتباراً من شهر أيار التي بلغت 17%، إلى حزيران لتسجل النسبة الأعلى للبروتينات لتتخفض من جديد خلال حزيران وتموز التي سجلت (9 و 7)%. وبقيت نسبة البروتينات في منطقة الكورنيش منخفضة خلال أيار وحزيران وتموز التي سجلت (4 و 8 و 5)% على التوالي. كما لوحظت الـ *ulva* في منطقة الدراسات خلال كانون الأول، وبلغت فيها نسبة البروتينات 4%.



الشكل (4): تغيرات تراكيز البروتينات عند جنس *Ulva* من الطحالب الخضراء.

4-1-3- تغيرات تراكيز الليبيدات عند جنس *Ulva* من الطحالب الخضراء:

لم تتجاوز نسبة الليبيدات عند *ulva* 4%. وتناوبت نسبة الليبيدات ما بين ارتفاع وانخفاض في منطقة مقام الخضر التي بلغت (2 و 3 و 1 ثم 3) %، خلال أيار وحزيران وتموز لترتفع قليلاً خلال أيلول. وفي منطقة الدراسات بلغت نسبة الليبيدات 1.6% خلال كانون الأول، وفي منطقة الكورنيش الجنوبي فقد ارتفعت النسبة باستمرار اعتباراً من حزيران وحتى تموز وأيلول وسجلت (1 و 2.7 و 3.2) %.



الشكل (5): تغيرات تراكيز الليبيدات عند جنس *Ulva* من الطحالب الخضراء.

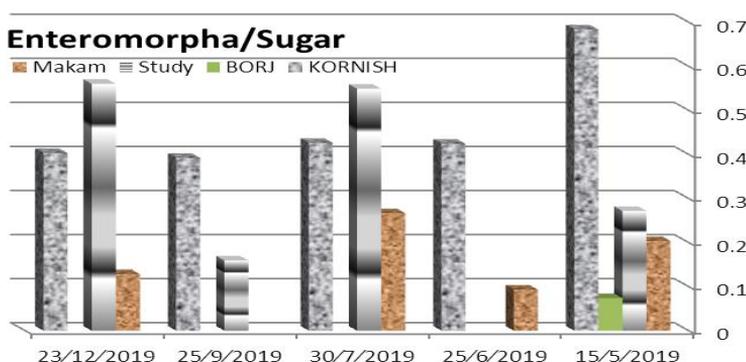
4-2- *Enteromorpha* جنس: ينتمي هذا الجنس إلى رتبة *Ulvales* فصيلة *Ulva* يتميز بمشرة أنبوبية خيطية متفرعة من القاعدة، يصل طولها بين (10-15) سم تتواجد مترافقة مع طحلب *Ulva*، تحتوي على العديد من الفيتامينات والمعادن كالسيوم والمغنسيوم، وتلعب دوراً مضاداً للعديد من الجراثيم سالبة وموجبة الغرام، إضافةً لدورها في منع تخثر الدم ومضادة للملاريا والسلم [27].

دراسة التركيب البيوكيميائي لجنسين من الطحالب الخضراء (*Ulva, Enteromorpha*) في شاطئ مدينة اللاذقية



الشكل (6): يبين صورة فوتوغرافية لجنس *Enteromorpha*.

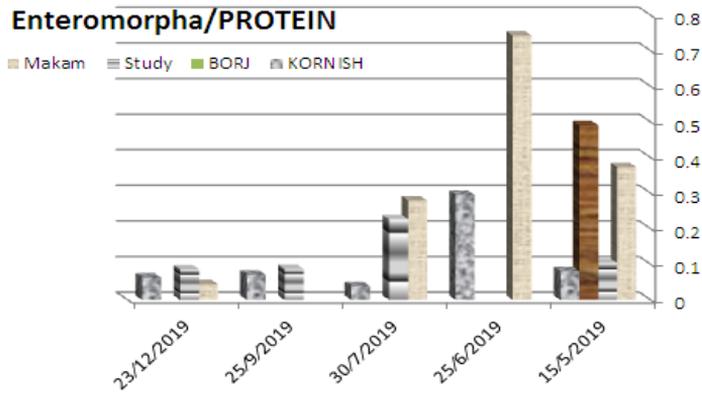
4-2-1- تغيرات تراكيز السكريات عند جنس *Enteromorph* من الطحالب الخضراء: تباينت نسبة السكريات في جنس *Enteromorph* ما بين (12 و 68) %، وسجلت أعلى نسبة للسكريات في منطقة الكورنيش خلال أيار، حوالي نصف النتائج كانت أقل من 30% ونصفها الآخر فوق 40%.



الشكل (7): تغيرات تراكيز السكريات عند جنس *Enteromorph* من الطحالب الخضراء.

4-2-2- تغيرات تراكيز البروتينات عند جنس *Enteromorph* من الطحالب الخضراء: نصف التراكيز المسجلة للبروتينات عند جنس *Enteromorph* لم تتجاوز 10% من الوزن الرطب، وسجلت أعلى نسبة للبروتينات في محطة المقام وبلغت 74%

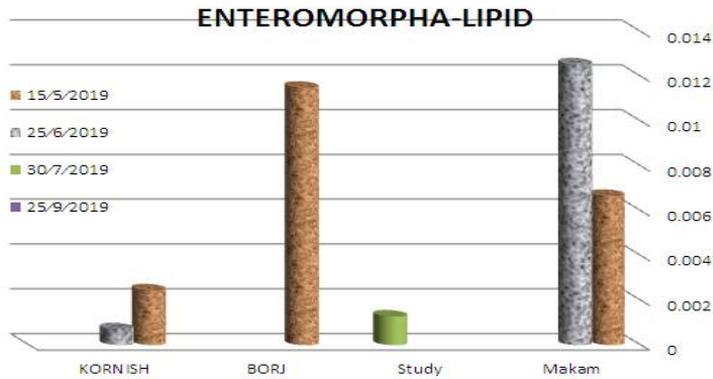
خلال شهر حزيران، وادناها سجلت في محطة الكورنيش لم تتجاوز 4% خلال شهر تموز.



الشكل(8): تغيرات تراكيز البروتينات عند جنس Enteromorph من الطحالب الخضراء.

4-2-3- تغيرات تراكيز الليبيدات عند جنس Enteromorph من الطحالب الخضراء.

لم تتجاوز الليبيدات 2% من الوزن الرطب، وسجلت في منطقة المقام والبرج اسلام أعلى نسب لليبيدات بلغت على التوالي (1.3 و 1.2) %، خلال أيار وحزيران 2019.



الشكل(9): تغيرات تراكيز الليبيدات في جنس Enteromorph من الطحالب الخضراء.

5- المناقشة Discussion:

تعتبر الكربوهيدرات أهم مكون كيميائي حيوي في الطحالب لأنها تمثل مصدر الطاقة الرئيسي للتمثيل الغذائي. بشكل عام، كانت تراكيز الكربوهيدرات المسجلة أكثر وفرة من البروتينات. وقد كانت نسبة الكربوهيدرات المسجلة في جنس *Ulva* (15-70) %، ضمن المجال الذي أشار إليه [إسماعيل (2017)] حيث تراوحت نسبة الكربوهيدرات عند جنس *Ulva* (29.5_46.6) %^[28]. وتباينت نسبة تراكيز الكربوهيدرات عند *Enteromorpha ssp* المسجلة (12-68) %، وهي تقع ضمن المجال الذي أشار إليه [هندي وآخرون] دراسة في مياه ساحل البصرة حيث بلغت نسبة السكريات 56.4 %^[29]. لم تكن الطحالب البحرية عادة مصدرًا جيدًا للدهون، العديد من الدراسات سجلت محتوى الدهون الكلي أقل من 8%. ومع ذلك، يمكن مقارنة محتوى الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة بشكل كافٍ مع محتواها في النباتات العليا، تراوحت نسبة الدهون في الطحالب البحرية عند جنس *Ulva ssp* (1-4) %، وهي توافقت مع دراسة *Ortize* التي كانت أقل من 4%^[30]. وسجلت دراسة *Rasyid* محتوى الدهون في النوع *Ulva Lactuca* 0.19%^[31]. وفي دراستي [Khairy and El-Shafa) و Yachi بلغت نسبة الأحماض الدهنية (3.6، 7.87) % على التوالي^[32-33]. وفي جنس *Enteromorpha* تراوحت نسبة الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة (1.2-2) %، وهي توافقت مع نتائج *Sasikamar* في تسجيل النسبة 1.2% عند النوع *Enteromorpha intestinalis*^[34]. كما أن نتائجنا توافقت مع نتائج كل من [Ortiz *et al.*، Shanmugam & Palpandi، ؛ Saroja، Francavilla *et al.*] ^[35-36].^[37] تلعب الأحماض الدهنية غير المشبعة PUFAs أدوارًا مهمة في عمليات فسيولوجيا الطحالب، وبالتالي فهي حساسة للتغيرات البيئية وخاصة درجة الحرارة، والاختلافات الجينية بين الأنواع، وموسم التكاثر وظروف الجفاف^[38].

في دراستنا هذه، كان محتوى البروتين في جنس *Enteromorpha sp* أعلى منه في جنس *Ulva sp* التي تراوحت على التوالي (4-74) % و (4-60) %، التي تشابهت مع دراسات كل من [Ganesan & Kannan 1994؛ Anitha *et al* 2008] اللذين

ذكر أن أنواع الطحالب السمرء Phaeophyceae، تحتوي بشكل عام، على نسبة بروتين مهمة [38-39].

تناسبت الاختلافات في محتوى البروتين مع درجة الحرارة، والفترة الموسمية، ومع درجة استهلاك الطحالب البحرية بعملية النمو والتكاثر للكائنات الحية. وقد ترتبط بالاختلافات بين الأنواع والمواقع الجغرافية والظروف البيئية المحيطة بالأعشاب البحرية [40].

لجنس *Ulva* قيمه غذائية عالية لغناه بالفيتامينات (A,B,C)، والحديد والبروتينات واليود، كما يلعب دوراً صاداً للجراثيم [41].

ويحتوي الجنس *Enteromorpha.sp* على نسب عالية من المركبات الستيرولية الهامة طبيياً في تخفيض كوليسترول الدم، بالإضافة لغناه بفيتامينات (A,B1,B2) [42]، ويعد كلا الجنسين مؤشرات بيئية تدل على التلوث بالمعادن الثقيلة والنشاط الإشعاعي [43].

1- جنس *ULVA* :

تم تصنيف علاقات الارتباط الناتجة إلى ثلاثة مجموعات حسب قوتها: سجلت علاقة ارتباط واحدة تنتمي للمجموعة الأولى متوسطة القوة تراوحت ما بين 45 و 55% بين النسبة المئوية للبروتينات عند *ULVA* وعكارة المياه المدروسة. المجموعة الثانية جيدة القوة تراوحت ما بين 55 و 80% سجلت بين النسبة المئوية للسكريات عند الجنس *ULVA* مع تراكيز الأمونيوم في المياه المدروسة. ودراسة الوصف الاحصائي لجنس *ULVA* فقد بلغت نسبة الخطأ المعياري والانحراف المعياري ومعدل الثقة للسكريات على التوالي (0.199، 0.239، 0.0845). وبلغت نسبة الخطأ المعياري والانحراف المعياري ومعدل الثقة للبروتين على التوالي (0.157، 0.188، 0.66). وبلغت نسبة الخطأ المعياري والانحراف المعياري ومعدل الثقة للأزوت على التوالي (0.0010، 0.0025، 0.003). الجدول 4

دراسة التركيب البيوكيميائي لجنسين من الطحالب الخضراء (*Ulva, Enteromorpha*) في شاطئ مدينة اللاذقية

جدول(1): يبين المتوسط الحسابي والخطأ والانحراف المعياري ومعدل الثقة عند *Ulva*

| <i>N%Ulva</i> | <i>prot% Ulva</i> | <i>sug %Ulva</i> | DESCRIPTION STATIC |
|---------------|-------------------|------------------|------------------------|
| 0,002355442 | 0,147215117 | 0,464851436 | Mean |
| 0,001063615 | 0,066475939 | 0,084546942 | Standard Error |
| 0,001295997 | 0,080999793 | 0,476001479 | Median |
| 0,003008358 | 0,18802235 | 0,239134864 | Standard Deviation |
| 9,05022E-06 | 0,035352404 | 0,057185483 | Sample Variance |
| 0,000641892 | 0,040118262 | 0,15126101 | Minimum |
| 0,009591944 | 0,599496522 | 0,701492698 | Maximum |
| 0,00251505 | 0,157190618 | 0,199921749 | Confidence Level(95.0% |

2- جنس *Enteromorpha*:

بدراسة علاقات الارتباط عند جنس *Enteromorpha* سجلت علاقة ارتباط متوسطة القوة تراوحت ما بين 45 و 55% ما بين كل من النسبة المئوية للسكريات عند *Enteromorpha* والنسبة المئوية للبروتينات لديها.

وكان هناك علاقة ارتباط بين تركيز البروتينات عند *Enteromorpha* والنسبة المئوية للسكريات عند *ULVA* .

وبدراسة الوصف الاحصائي عند *Enteromorpha* فقد بلغت نسبة الخطأ المعياري والانحراف المعياري ومعدل الثقة للسكريات على التوالي (0.0507، 0.1898، 0.1096). وبلغت نسبة الخطأ المعياري والانحراف المعياري ومعدل الثقة للبروتين على التوالي (0.0554، 0.2072، 0.1196). وبلغت نسبة الخطأ المعياري والانحراف المعياري ومعدل الثقة للأزوت على التوالي (0.0013، 0.0048، 0.0028). الجدول 5

جدول(2): يبين المتوسط الحسابي والخطأ والانحراف المعياري ومعدل الثقة عند *Enteromorpha*.

| <i>N%Enteromorpha</i> | <i>prot% Enteromorpha</i> | <i>sug %Enteromorpha</i> | DESCRIPTION STATIC |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| 0,0045 | 0,2126 | 0,3312 | Mean |
| 0,0013 | 0,0554 | 0,0507 | Standard Error |
| 0,0025 | 0,0953 | 0,3320 | Median |
| 0,0048 | 0,2072 | 0,1898 | Standard Deviation |
| 0,0000 | 0,0429 | 0,0360 | Sample Variance |
| 0,0006 | 0,0384 | 0,0740 | Minimum |
| 0,0166 | 0,7424 | 0,6837 | Maximum |
| 0,0028 | 0,1196 | 0,1096 | Confidence Level(95.0% |

جدول(3): يبين علاقات الارتباط لأنواع الطحالب المدروسة مع مختلف العوامل المدروسة .

| علاقات الارتباط بين 95-80% | علاقات الارتباط بين 55-80% | علاقات الارتباط بين 55-45% |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|
| (sug %Padina-NO2)- | (prot%Cystosera - PO4) - | (N%Cystosera-PO4)- |
| (prot% Padina-NO2) | (sug %Ulva-NH4)- | (prot%Padina-NH4)- |
| (N%Padina-PO4)- | (N%Cystosera-Tempe) | (TURBI- Tempe) |
| (prot%Cystosera-TURBI) | (sug %Cystosera-TURBI)- | (Temp-SALINITY) |
| (N%Cystosera-TURBI) | (sug %Padina-TURBI)- | (prot% Ulva - TURBI) |
| (prot%Cystosera- SALINITY) | (N%Padina-TURBI) | (N%Ulva-TURBI) |
| (N%Padina-SALINITY) | (N%Cystosera-SALINITY) | (prot%Cystosera- sug %Cystosera)- |
| (sug %Cystosera-sug %Enteromorpha) | (sug %Padina-SALINITY)- | (prot%Padina- sug %Cystosera) |
| (sug %Cystosera-prot% Enteromorpha)- | (N%Cystosera- prot%Ulva) | (prot%Cystosera-sug %Padina)- |
| (sug %Cystosera-sug %Ulva) | (N%Cystosera- N%Ulva) | (sug%Enteromorpha-prot% Enteromorpha)- |
| (prot%Cystosera-N%Padina) | (N%Cystosera- sug %Jania)- | (sug %Padina-sug%Enteromorpha) |
| (N%Cystosera-sug %Padina)- | (N%Cystosera- prot% Jania)- | (sug%Enteromorpha-N%Padina) - |
| (N%Padina- prot% Enteromorpha) | prot% Enteromorpha-N%Enteromorpha) | (prot% Enteromorpha-sug %Ulva)- |
| | (N%Enteromorpha- prot%Padina)- | |
| | (sug %Padina-prot%Padina)- | |
| | (prot%Padina-prot%Ulva) | |
| | (prot%Padina-N%Ulva) | |

الاستنتاجات والتوصيات:

- * نظراً لغنى الأجناس المدروسة بالبروتين نوصي بالاستفادة منها في عملية التغذية اليومية.
- * ارتفاع محتوى الأجناس المدروسة للطحالب الخضراء من السكريات لذلك فهي مصدر هام للطاقة.
- * ضرورة حماية البيئة البحرية ومحاولة استثمار الطحالب البحرية بشكل فعال، وعدم هدر الطاقة الحيوية المتوفرة على شواطئنا خلال الربيع والخريف ومحاولة استخدامها كأعلاف للماشية والدواجن، وأسمدة غنية بالمواد الأزوتية.
- * نستنتج ضرورة زراعة الأجناس المدروسة لأهميتها الغذائية والطبية.
- * كما يجب استخدام الطحالب لتحسين نوعية المياه البحرية.

References:

1. Oliveira PG, Carreira-Casais A, Caleja C, Pereira E, Calhelha R, Sokovic M, et al. **Macroalgae as an alternative source of nutrients and compounds with bioactive potential.** 2020.
2. Cacabelos E., Olabarria, C., Incera, M., Troncoso, J. S. J. E., coastal, & science, s. (2010). **Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae.** 89(1), 43-52
3. Liu, Z., et al., **Removal of elemental mercury by bio-chars derived from seaweed impregnated with potassium iodine.** 2018. 339: p. 468-478.
4. Cottier-Cook, E. J., Nagabhatia, N., Badis, Y., Campbell, M., Chopin, T., Dai, W., ... Gachon, C. M. M. (2016). **Safeguarding the future of the global seaweed aquaculture industry.** United Nations University (INWEH) and the Scottish Association for Marine Sciences Policy Brief, pp. 1– 12.
5. Liu, Z., et al., **Removal of elemental mercury by bio-chars derived from seaweed impregnated with potassium iodine.** 2018. 339: p. 468-478.
6. Bourgougnon N, Stiger-Pouvereau VJHomm. **Chemodiversity and bioactivity within red and brown macroalgae along the French coasts,** metropole and overseas departments and territories. 2011:58-105.
7. Mayhoob, H. **Recherches sur la végétation marine de la côte syrienne. Etude expérimentale sur la morphogénèse et le développement de quelques espèces peu connues.**Thèse, Univ. Caen, France, 1976, 286pp.
8. Abbas, Asif. **Contribution to the study of benthic marine plants on the coast of Latakia. Master thesis, 1992, Faculty of Science, Tishreen University.** .(In Arabic المرجع)
9. Ismail, majestic. **The dominant benthic algae were distributed under the influence of pollution factor in the beach of Sports City (Lattakia).** Tishreen University Journal, Volume 22, Number 9, 2000, 117-134. .(In Arabic المرجع)
10. Arraj, Hadeel. Master's thesis. **Contribution to the study of the biological diversity of bush flora on the coast of Lattakia with special**

reference to exotic and economic species. Tishreen University. 2012.

128.(In Arabic المرجع)

11. Durgham, H., & Ikhtiyar, S. (2019). **First record of Discomedusa lobata Claus, 1877 (Cnidaria: Scyphozoa) in the coast of Syria.** SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science, 6(2), 75–77.
12. Ikhtiyar, S. (2020). **Vertical Distribution of Chlorophylls Pigment a, b, c, c1+ c2 Of Marine Water In Syria Front Of RAS IBN HANI.** Aleppo journal and Scientific Studies–Biological Sciences Series, 141(1158).
13. Durgham, H., Ikhtiyar, S., & Ibraheem, R. (2016). **First record of Pelagia noctiluca (Forssk ål, 1775) on the coast of Syria.** Marine Biodiversity Records, 9(1), 1-3.
14. Samar IKHTIYAR & Hani Dargham 2014: **Toxicity test of cadmium on a phytoplankton species Tetraselmis chuii, cultured and isolated from coastal waters of Lattakia.** Journal of the University of Aleppo on / 11/2014 in the issue / 2014 Journal of Aleppo University Research, Basic Sciences Series
15. Marinho–Soriano, E. (2017). **Historical context of commercial exploitation of seaweeds in Brazil.** Journal of Applied Phycology, 29(2), 665–671.
16. Olsson, J., Toth, G. B., & Albers, E. (2020). **Biochemical composition of red, green and brown seaweeds on the Swedish west coast.** Journal of Applied Phycology, 32, 3305–3317.
17. Ikhtiyar Samar 1999: **Biochemistry of Zooplanktons in Lattakia coastal Water.** Msc. theses Tishreen University

18. . H DURGHAM – 2002 :**Contribution in study of biology and culture of zooplankton (Calanoida) in Coastal water of Lattakia (SYRIA)– Ph. D. theses Tishreen University ...**
19. DURGHAM H., IKHTIYAR S. 2012– **First records of alien toxic algae Heterosigmaakashiw(Raphidophyceae) from the Mediterranean Coast of Syria.** The Arab Gulf Journal of Scientific Research 30, , 58–60.
20. Ismail,M. **Benthic Algae Sectors Dominant in Several Regions of the Syrian Coast (north of Lattakia city).** Tishreen University Biological Sciences Series Vol. (32) No. (3) 2010. (In Arabic المرجع)
21. STERN, K, R; BIDLACK, J, E; JANSKY,S, H. **Introductory plant Biology, Eleventh Edition, The Mcgraw– Hill Companiers,** New York USA, 2008, p616.
22. Van Den Hoek, C., Mann, D. G., Jahns, H. Algae, An introduction to phycology. Cambridge. Univ Press, 2001, 623pp.
23. NJ, L. O. R., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). **Protein measurement with the Folin phenol reagent.** J Biol Chem, 193, 265–275.
24. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). **Colorimetric method for determination of sugars and related substances.** Analytical chemistry, 28(3), 350–356.

25. Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). **A rapid method of total lipid extraction and purification.** Canadian journal of biochemistry and physiology, 37(8), 911–917.
26. Kammoun, I., Bkhairia, I., Ben Abdallah, F., Jaballi, I., Ktari, N., Boudawara, O. & Ben Amara, I. (2017). **Potential protective effects of polysaccharide extracted from Ulva lactuca against male reprotoxicity induced by thiacloprid.** Archives of physiology and biochemistry, 123(5), 334–343.
27. Yan, X., Yang, C., Lin, G., Chen, Y., Miao, S., Liu, B., & Zhao, C. (2019). **Antidiabetic potential of green seaweed Enteromorpha prolifera flavonoids regulating insulin signaling pathway and gut microbiota in type 2 diabetic mice.** Journal of food science, 84(1), 165–173.
28. Ismail, G. A. (2017). **Biochemical composition of some Egyptian seaweeds with potent nutritive and antioxidant properties.** Food Science and Technology, 37(2), 294–302.
29. Hindi, Abdul-Hasan, Al-Asadi 2016: **The anti-coagulant activity of polysaccharides sulfurization and algae extract.**
The Iraqi Research Journal of Agriculture, Vol. 21, Issue 1.
Enteromorpha sp.
30. Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernández, J., Bozzo, C., ... & Rios, A. (2006). **Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds Ulva lactuca and Durvillaea antarctica.** Food chemistry, 99(1), 98–104.

31. Rasyid A 2017 **Evaluation of Nutritional Composition of The Dried Seaweed *Ulva lactuca* from Pameungpeuk Waters, Indonesia Trop. Life Sci. Res. 28 119–25.**
32. Khairy H M and El-Shafay S M 2013 **Seasonal variations in the biochemical composition of some common seaweed species from the coast of Abu Qir Bay, Alexandria, Egypt Oceanologia 55 435–52.**
33. Yaich H, Garna H, Besbes S, Paquot M, Blecker C and Attia H 2011 **Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia Food Chem. 128 895– 901.**
34. Sasikumar, K. (2000). **Studies on biochemical composition and heavy metal accumulation in seaweeds in the Vellar and Uppanar estuaries, southeast coast of India** (Doctoral dissertation, M. Phil Thesis, Annamalai University, India).
35. Hernández-Calderón, O. M., Ponce-Ortega, J. M., Ortiz-del-Castillo, J. R., Cervantes-Gaxiola, M. E., Milán-Carrillo, J., Serna-González, M., & Rubio-Castro, E. (2016). **Optimal design of distributed algae-based biorefineries using CO2 emissions from multiple industrial plants.** Industrial & Engineering Chemistry Research, 55(8), 2345–2358.
36. Shanmugam, A., & Palpandi, C. (2008). **Biochemical composition and fatty acid profile of the green alga *Ulva reticulata*.**

- 29. Saroja, P. M. (2016). Nutritional evaluation of three marine macroalgae on the coast of Kanyakumari district.** Int. J. Pure App. Biosci, 4(1), 193–198.
37. Nelson, M., Phleger, C., & Nichols, P. (2002). **Seasonal lipid composition of the red alga *Palmaria palmate*.** *Botanica Marina*, 36(2), 169–174.
- 38 . Ganesan, M., & Kannan, L. (1994). **Seasonal variation in the biochemical constituents of economic seaweeds of the Gulf of Mannar.** *Phykos (Algiers)*, 33(1–2), 125–135.
39. Anitha, A., Balamurugan, R., Swarnakumar, N., Sivakumar, K., & Thangaradjou, T. (2008). **Evaluation of seaweeds for biochemical composition and calorific content.** *Seaweed Research and Utilization*, 30(Special Issue).
40. Fleurence, J. (1999). **Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses.** *Trends in food science & technology*, 10(1), 25–28.
41. Abbas, Assef; Zainab, Asmahan; Qara Ali, Ahmed. **The potent efficacy of some Syrian marine algae extracts against some pathogenic microorganisms.** *Tishreen University Journal*, 2011, accepted for publication. (In Arabic المرجع).
42. Mihoub, Hamed. **Marine algae of economic and medical importance in Syria.** *Tishreen University Journal*, Volume 03, 1991 Issue 3, p.91.

43. Al-Masri, M. S., Mamish, S., & Budier, Y. (2003). **Radionuclides and trace metals in eastern Mediterranean Sea algae**. Journal of Environmental Radioactivity, 67(2), 157–168.
44. Samar Ikhtiyar & Hani Durgham 2020: **Some biochemical data of Discomedusae Lobata (Claus, 1877) and the environmental factors associated with its appearance in the coastal water of Lattakia City**. Aleppo journal and Scientific Studies – Biological Sciences Series Vol. (139) 2020.

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

طالبة الماجستير ليلي عبد الحق¹
اشراف أ.م.د يوسف أبو علي²

ملخص البحث

درسنا بالتفصيل ليزر الأشعة السينية للنيكل الشبيه بالنيون عند الطول الموجي 23.1 نانومتر، باستخدام البرنامج EHYBRID6 ذو البعد 1.5 والمتضمن في الفيزياء الذرية والذي يعتبر البلازما كمائع. لقد قمنا بحساب البارامترات القابلة للقياس المباشر باستخدام برنامج ثلاثي الأبعاد RAYTRACE الذي يتبع مسارات العديد من أشعة الليزر الصادرة تلقائياً من البلازما مع الأخذ بالحسبان حالة الاشباع. قمنا بمحاكاة حاسوبية لحساب طاقة خرج ليزر الأشعة السينية للنيكل الشبيه بالنيون بتابعة طول الهدف (البلازما) وكذلك بتابعة الفاصل الزمني (من قمة إلى قمة) بين نبضتي الليزر المستخدمة والمؤلفة من نبضة أولية بعرض 280 ps والنبضة الأساسية بعرض 1.2 ps بيكو ثانية وذلك باستخدام كل من البرنامجين EHYBRID6 و RAYTRACE. كتابة برنامج جزئي ضمن برنامج

¹ طالبة ماجستير دراسات عليا – المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته – جامعة دمشق – سوريا.

² قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة دمشق – سوريا.

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

EHYBRID6 لحساب الأطياف والإصدارية لبلازما النيكل والتي استخدمت مع برنامج ملحق (Post-Processor) لحساب شدة خط التجاوب (Resonance Line) لليزر النيكل الشبيه بالنيون. حيث قمنا بمحاكاة شدة كل من الإصدار التجاوبي والإصدار المستمر عن بلازما النيكل بين 1.45-0.9 nm باستخدام برنامج مطّور Post-processor يستخدم مع خرج برنامج EHYBRID6 المعدل.

الكلمات المفتاحية: ليزر الأشعة السينية، البلازما المولدة بالليزر، الليزر المثار بالطريقة التصادمية، شروط البلازما، برامج المحاكاة.

Calculation of Ne-like Ni collisionally pumped laser output as function of target length and pulses separation and other parameter by using simulation codes

Abstract

In this research has studied emission from laser-plasmas utilised for X-ray lasing produced by collisional excitation. The Ne-like Ni X-ray laser at 23.1 nm is investigated in detail using the 1.5-dimensional fluid and atomic physics code EHYBRID6. Directly measurable parameters are calculated using the combined optical raytracing and saturation calculation code 3D RAYTRACE. The energy output of a Ne-like Ni X-ray laser as function of plasma length and the peak-to-peak time separation between the main pulse 1.2 ps and 280 ps background pulse simulated using a combination of the EHYBRID with RAYTRACE codes. The intensity of resonance line and continuum emission between 0.9 and 1.45

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل
الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

nm emitted from Nickel plasma are simulated using the development of a post-processor to the modified EHYBRID code.

Key words: X-Ray laser, laser-produced plasma, collisionally excitation laser, Plasma conditions, simulation codes.

1. مقدمة (Introduction):

لقد بدأ توليد البلازما والتفاعل معها بواسطة ليزرات ذات طاقات عالية منذ اختراع الليزر عام 1960 ميلادي تقريباً. في حالة الليزر المنتج للبلازما، عندما تصطدم حزمة ليزرية شدتها عالية بهدف صلب سوف تولد بلازما ذات درجة حرارة عالية على سطح الهدف. حيث تتمدد هذه البلازما في الخلاء، وهكذا تتشكل بلازما تتراوح كثافتها من الخلاء إلى الكثافة الصلبة ودرجات الحرارة من مرتبة $(0.1-10)\text{keV}$. لقد كان ربط الليزر ذو الشدة العالية بالبلازما موضوع الأبحاث التجريبية لمدة 60 سنة الماضية. حيث ركزت التجارب على دراسة وقياس العديد من الظواهر مثل ظاهرة الطنين والامتصاص التصادمي ومنحني الكثافة والتغير في توزيع الجسيمات والنمو وإشباع عدم استقرار العديد من الوسائط. تعتمد هذه الظواهر على كل من خصائص الليزر (الشدة، طول الموجة، عرض النبضة، الترابط) وتركيب البلازما [1].

تعود العديد من المفاهيم الأساسية لليزرات الأشعة السينية إلى السبعينات من القرن الماضي، حيث لاحظ الفيزيائيون أنّ حزم الليزر المضخمة بواسطة الانقلاب الإسكاني في الأيونات ضمن البلازما تمتلك فوتونات ذات طاقة أعلى بكثير من الحزم المضخمة المستخدمة للذرات المحايدة في الغازات. يتطلب إنتاج ليزرات الأشعة السينية استخدام أوساط تضخيم مؤلفة من بلازما عالية التأين وذات درجات حرارة عالية والتي يتم الحصول عليها بتعريض سطح الهدف الصلب لنبضات ليزرية ذات شدة ضوئية عالية ويتم التحكم بهذه العملية بحيث نحصل على بلازما على شكل خط محرق (line focus) حيث تنتزع أشعة الليزر ذرات الهدف وتأيئها مولدة بلازما ذات درجات حرارة عالية وذات كثافة الكترونية تتناقص كلما

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

ابتعدنا عن سطح الهدف. وبذلك نحصل على إسكان كبير في الحالات الكمومية المثارة للسوية الليزرية العليا التي يتم منها الإصدار الليزري، فعمليات التضخيم والانقلاب الإسكاني تتم في الأيونات ضمن البلازما. وفي هذه الحالة نحصل على ليزرات بأطوال موجية قصيرة أقل من 50 nm التي لا يمكن الحصول عليها بالطريقة التقليدية المولدة لليزر وذات طاقات عالية جداً. فدرجات الحرارة العالية تتطلب أن يكون الوسط الفعّال المنتج لليزر هو بلازما.

يوجد العديد من المخططات للحصول على ليزر الأشعة السينية اللينة تجريبياً، ولكن برهنت طريقة الضخ التصادمي بأنها الطريقة الوحيدة المثبتة التي تعطي ربح عالي وهو النموذج الوحيد حتى هذا اليوم الذي أعطانا أقصر طول موجة ليزر مشبع وهو عند الطول الموجي 5.9 nm من أجل (Ni-like Dy) [2]. وهو النموذج المستخدم في هذا البحث.

إنّ البلازما المتولدة بواسطة ليزرات ضوئية ذات طاقة عالية التمرکز على أهداف الصلبة على شكل خط محرق تنتج ليزر أشعة سينية لينة مضخمة ومشبعة في مجال الأطوال الموجية (30 – 5.9) nm بواسطة الإثارة التصادمية [3-12]. يحدث إشباع الليزر عندما يبدأ الإصدار المحثوث باستنزاف الانقلاب الإسكاني وهو ضروري في عملية تطوير الليزر للحصول على خرج أعظمي ومردود ضخ مثالي. بعد التجارب الأولية المصممة لتوليد ليزر الأشعة السينية الغير مشبع المنتج باستخدام نبضات وحيدة من مرتبة النانو ثانية وطاقة خرج من مرتبة الكيلو جول "kJ" [13-14]، تهدف التجارب حالياً وبشكل متزايد إلى تقليص حجم الليزر الموجه الذي نحتاجه للحصول على ليزر مشبع [15-18]. ونقطة التحوّل الهامة التي تم ملاحظتها هي أنّ مردود الضخ يزداد عند استخدام نبضتي ليزر أو أكثر. إنّ النبضة الأولى ستؤدي إلى توليد بلازما أولية وتتبعها النبضة الرئيسية التي تمتص بكفاءة بحيث يكون الانكسار في نبضة ليزر الأشعة السينية صغير وحجم

منطقة الربح كبير [19-25]. وهذا سيضمن لنبضة ليزر الأشعة السينية أن تنتشر وتتضخم على طول كافٍ من البلازما وبذلك ستصل هذه النبضة إلى حد الإشباع قبل أن تنكسر حزمة ليزر الأشعة السينية خارج منطقة الربح. لقد مكن استخدام الليزر ذو النبضة القصيرة من مرتبة البيكو ثانية من أن تكون طاقة الليزر الضروري لضخ عمليات إصدار الليزر في الأيونات كما في Ni-like silver منخفضة إلى عدة جولوات [26,27].

2. الهدف من البحث (Aim of Research):

1. الحصول على ليزر في المجال الطيفي للأشعة السينية اللينة (Soft X-Ray) باستخدام البلازما كوسط فعال بطريقة الإثارة التصادمية وذلك باستخدام برامج المحاكاة.
2. استخدام كل من برنامجي EHYBRID و RAYTRACE للحصول على:
 - a. طاقة خرج ليزر الأشعة السينية كتابع لطول الهدف (Target Length).
 - b. طاقة خرج ليزر الأشعة السينية كتابع للفاصل الزمني (Delay Time) بين نبضتي الليزر الأولية والرئيسية. ومقارنتها مع النتائج التجريبية.
3. كتابة برنامج جزئي ضمن برنامج EHYBRID لحساب الأطياف والإصدارية لبلازما النيكل والتي استخدمت مع برنامج ملحق (Post-Processor) لحساب شدة خط التجاوب (Resonance Line) لليزر النيكل الشبيه بالنيون.

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

3. ليزرات الأشعة السينية المولدة باستخدام الأيونات الشبيهة بالنيون

:(Ne-like ions)

يمكن أن تدرس الليزرات المولدة بطريقة تصادمية بوضع نموذج ذري يحوي مخطط أيوني مناسب " مخطط السويات الطاقية للمادة المدروسة وأي من هذه السويات ملائمة للحصول على ليزر" كما هو واضح في الشكل (1) ونقوم باستخدام معادلة المعدل (rate equation) للحصول على إسكان كل سوية كوانتية. لكي تكون هذه الحسابات دقيقة نأخذ عدد من السويات الهامة بالإضافة للسويات التي يعطينا الليزر. إنَّ دراسة عنصر نموذجي مثل النيكل، يبيِّن أنه يمكن الحصول على ربح معقول عندما تكون الكثافة الإلكترونية مساوية $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ودرجة حرارة الإلكترون 800 eV [28]. وبالتالي فقد اقتصرَت هذه الدراسة على استخدام البلازما المولدة من أهداف صلبة كوسط ملائم لتوليد الليزر بالنسبة لـ Ne-like Ni.

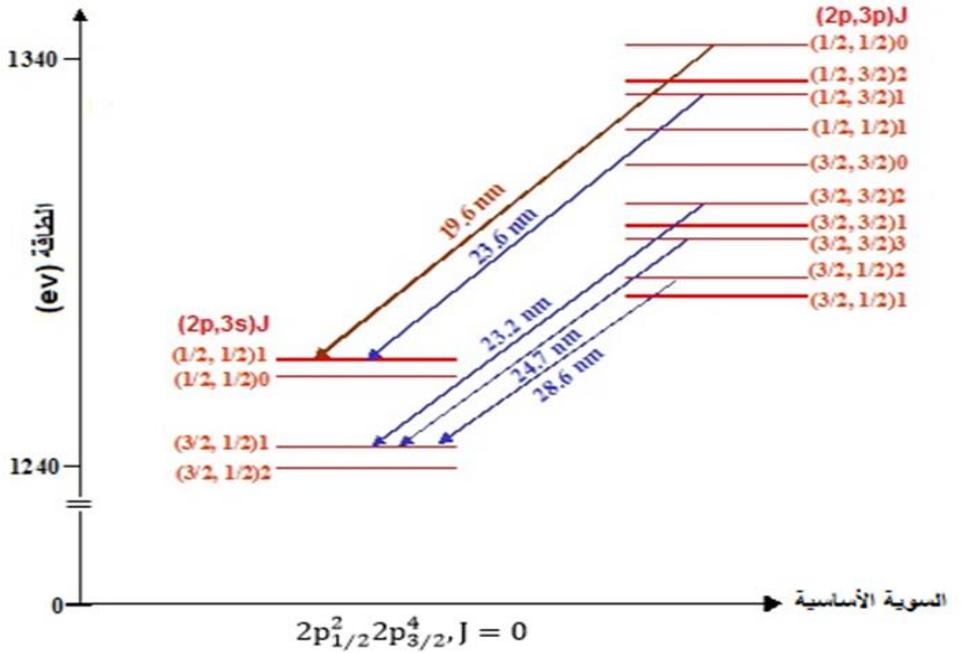
إن إثارة الإلكترون أحادي القطب من السوية الأرضية لـ Ne-like، $2s^2 2p^6$ ، يملأ السوية الليزرية العليا لـ Ne-like، $2p^5 3p$ ، يمكن أن يعبر عن معامل معدل إثارة أحادي القطب من أجل Ne-like ions بواسطة المعادلة الآتية [29]:

$$K(g, u) = \frac{1.5 \times 10^{-8}}{(Z-9)^{2.25}} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1} \quad (1)$$

حيث Z: العدد الذري للمادة الهدف. إنَّ تابعة طول موجة الليزر للعدد الذري لمادة الهدف هي تابعة خطية:

$$\lambda \cong \frac{4600}{Z-9} \text{ (\AA)} \quad (2)$$

يتطلب توليد ليزر بطول موجة أقصر باستخدام Ne-like استخدام هدف ذو عدد ذري أكبر العلاقة (1). على أي حال، لقد وجد أن توليد بلازما بشروط مناسبة من أجل الحصول على ليزر Ne-like باستخدام مواد ذات عدد ذري



Z كبير صعب. يحدث الربح بين الانتقالات $3p-3s$ في Ne-like ions في الليزر المنتج للبلازما كما هو موضح في الشكل (1):

الشكل 1 يوضح مخطط سويات الطاقة بشكل مبسط لليزر الأشعة السينية باستخدام Ne-like Ni موضحاً الأطوال الموجية الموافقة للانتقالات الليزرية الممكنة.

تحدث الانتقالات الليزرية فقط من أجل الانتقالات المسموحة حيث $(\Delta J = 0, \mp 1)$ الانتقالات $(J = 0 \rightarrow 0)$ غير مسموحة، حيث J هو العدد الكمي للعزم الزاوي الكلي. إن معدلات الإثارة أحادية القطب

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

عندما يكون J ثابتاً عند القيمة (0) تكون أكبر منها في الحالة التي يكون فيها $J = 0$ في السوية الأرضية و $J=2$ في السوية المثارة، وذلك من أجل Ne-like ions للحصول على إصدار ليزري قوي يجب أن تضمحل السوية الليزرية الدنيا بسرعة إلى السوية الأرضية. وهذا يعني أن السوية الليزرية الدنيا ستملك $J = 1$ لذلك فإن الاضمحلال الإشعاعي إلى السوية الأرضية يكون مسموحاً عندما تكون $\Delta J = -1$ وبالتالي الإصدار الليزري الأعظم من السوية الليزرية العليا يوافق $J = 0$.

ظهر في البداية أن الانتقالات $J = 2 \rightarrow 1$ تعطي ربحاً أكبر من الانتقالات $J = 0 \rightarrow 1$ في Ne-like ions عندما تستخدم نبضة ليزرية وحيدة لتوليد وضخ الوسط الليزري. إن هذا يتناقض مع معدلات الإثارة أحادية القطب المحسوبة بحيث يصبح الانتقال $J = 2 \rightarrow 1$ شاداً. تم إيجاد حلاً لهذا الشذوذ باستخدام نبضات أولية لتشكيل بلازما أولية والتي تصطدم بها نبضة الضخ الأساسية [30,28]. وهذا يقود إلى تقليل انكسار حزم ليزر الأشعة السينية وعندها تكون الانتقالات $J = 0 \rightarrow 1$ هي المسيطرة على الخرج الليزري.

4. برامج المحاكاة (Simulation Codes):

تعتبر المحاكاة الحاسوبية أداة مفيدة لتصميم وتشخيص تجارب ليزر الأشعة السينية. تساعد برامج المحاكاة التي تعتبر البلازما كمنع (fluid) على فهم تفاعل ليزر-بلازما وتمدد البلازما وقضايا الفيزياء الذرية في تجارب ليزر الأشعة السينية [33-31,28]. تساعد برامج المحاكاة أيضاً على تصميم التجارب وتساعد في إجراء دراسات لتحسين المردود و طاقة ليزر الأشعة السينية الناتج [33-31,28]. استخدمت هذه البرامج في محاكاة الليزر المنتج للبلازما منذ الأيام الأولى لدراسة تجارب اندماج الليزر [36-34]. تمثل مقارنة النتائج التي تنتجها برامج المحاكاة مع النتائج التجريبية بمثابة اختباراً لصلاحية البرنامج. مثل هذه المقارنات تكون

مهمة خصوصاً عندما لا يكون من السهل حساب بعض البارامترات مثل طاقة الليزر الممتصة وتوزع طاقة الإلكترون تجريبياً.

1.4 برنامج EHYBRID (The EHYBRID code):

إن برنامج EHYBRID هو برنامج هيدرودينامي (hydrodynamic) يحتوي على الفيزياء الذرية الذي يعتبر البلازما كمائع وهو ذو 1.5 بعد [37,31] يحاكي تفاعل الليزر مع هدف صلب والمستخدم لتوليد أوساط ليزر الأشعة السينية. يستخدم برنامج EHYBRID لغة البرمجة فورتران 77 هو برنامج Lagrangian يقسم البلازما إلى 98 خلية فراغية. يفترض أن تكون البلازما في كل خلية متساوية الحرارة، ويتم تبسيط المحاكاة العددية للبلازما بالسماح لها بالتدفق للحصول على الشكل التحليلي في الأبعاد الجانبية (أي بشكل عرضي على شعاع الليزر الوارد) بفرض أن التمدد المتماثل يأخذ الشكل الغوسي. في الاتجاه المقابل لليزر، يقوم البرنامج بحل معادلة الاستمرار للمائع (equation of continuity) ومعادلة Navier-Stokes لحساب منحني الكثافة. بما أن الكتلة ثابتة في كل خلية، فإن أبعاد الخلية تتغير تبعاً لشروط التجربة. يتم تحديد الضغوط ودرجة حرارة الإلكترونات والأيونات وكثافتهما عند مركز كل خلية في كل خطوة زمنية. يخفض انتقال الطاقة باتجاه مواز لليزر من حد التدفق الحر باعتبار حد التدفق 0.1. يفرض البرنامج أن امتصاص الليزر ضمن المادة الهدف يتم إما بواسطة امتصاص برمنشلتغ العكسي (inverse Bremsstrahlung absorption) أو بواسطة الامتصاص التجاوبي (resonance absorption) عند السطح الحرج. من أجل الامتصاص التجاوبي، فإننا نقوم بحذف 30% من طاقة الليزر التي تصل إلى منطقة الكثافة الحرجة في خلايا الكثافة الحرجة، أما الطاقة المتبقية فتعكس للوراء إلى منطقة الكثافة المنخفضة لزيادة احتمال حدوث امتصاص برمنشلتغ العكسي. بما أن

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

امتصاص برمنشلتغ العكسي عالي فإنَّ الإنقاص المفترض للطاقة عند السطح الحرج له تأثير صغير فقط على امتصاص طاقة الليزر الإجمالية. تؤخذ الخسارة في الطاقة الإشعاعية من خلال إعادة الاتحاد وإصدار برمنشلتغ وعمليات الإصدار الخطية بعين الاعتبار ضمن البرنامج. تعالج آليات الانقلاب الإسكان والتأين بشكل مستقل ذاتياً مع الهيدروديناميك وذلك باستخدام توازن طاقة الإلكترون الإجمالية. يتم ربط المسافة والزمن التابعين للفيزياء الذرية للمادة المصدرة لليزر بهيدروديناميكية البلازما [39,38].

يتضمن برنامج EHYBRID الحسابات التفصيلية لإسكانات السويات الذرية. بحيث تعالج أيونات Na-like و Ne-like و F-like ions من أجل المادة المصدرة لليزر بالتوازن الأيوني المرتبط بالزمن بشكل كلي مع المعالجة التصادمية الإشعاعية باستخدام عدداً كبيراً من السويات الذرية. منذ البداية، لقد وجد عند إجراء المحاكاة المستخدمة لبرنامج EHYBRID [41,40,28].

أنَّ الطاقة الكلية ضمن البلازما التي يعطيها البرنامج أكبر من تلك المستخدمة تجريبياً (وذلك قبل اعتبار أن 30% من طاقة الليزر امتصت بواسطة الامتصاص التجاوبي). قد تقلل من ضياعات الطاقة الناجمة عن النقل الجانبي للطاقة والتي تحدث بعد تشكل البلازما من تقدير قيمة طاقة الليزر أو قد يسخن جزء من طاقة الليزر الإلكترونات فوق الحرارية (superthermal electrons) التي لم تؤخذ بعين الاعتبار في البرنامج والتي لا تساهم في عملية الضخ للحصول على الانقلاب الإسكاني، للتغلب على هذا التناقض ندخل عامل تصحيح تجريبي f (correction factor) لتقدير طاقة الليزر المستخدمة. حيث يتم تخفيض قيمة شدة شعاع الليزر التجريبية بواسطة عامل التصحيح f ومن ثم يتم استخدامه كدخل للبرنامج، وقد تم تحديد قيمة عامل التصحيح f بالاعتماد على المرجع [42] لتكون $f = 0.3$. يمكن الحصول على المنحني الزمني والمكاني لمعامل الربح بالإضافة لذلك شروط

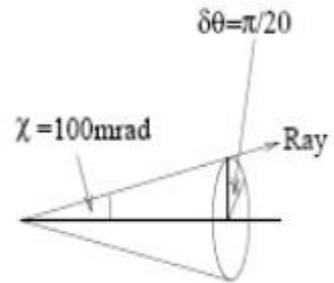
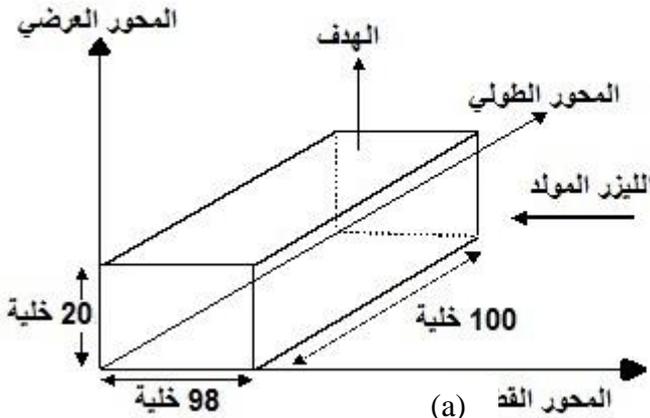
البلازما من أجل المادة المصدرة لليزر المعطاة، وكذلك يمكن حساب طاقة الضخ باستعمال برنامج EHYBRID. ويحسب معامل الربح من العلاقة:

$$G(\nu) = \frac{g_2 A_{21} \lambda_{21}^2}{8\pi} \left(\frac{n_2}{g_2} - \frac{n_1}{g_1} \right) f(\nu) \quad (3)$$

حيث: n_1, n_2 عدد الإلكترونات في السويات 1 و 2. g_1, g_2 درجة التحلل (تعدد الحالات) للسوية الليزرية الدنيا والعليا على الترتيب λ_{21} طول موجة الانتقال A_{21} معامل أينشتاين للإصدار التلقائي $f(\nu)$ تابع شكل خط الإصدار الناشئ من آليات تعريض الخط.

2.4 برنامج RAYTRACE (RAYTRACE code):

قد تمّ تطوير برنامج RAYTRACE ثلاثي الأبعاد من قِبَل Plowes [43] والمطور سابقاً من قبل Toft من نموذج أحادي البعد [44] بحيث يصف انكسار حزمة الليزر الواردة. يستخدم برنامج RAYTRACE لغة البرمجة فورتران 90 (Fortran 90). يعمل البرنامج بمتابعة المسارات لعدد كبير من الأشعة الصادرة تلقائياً من البلازما مع أخذ حالة الإشباع بعين الاعتبار. حيث تقسم البلازما إلى 98



(a)

(b)

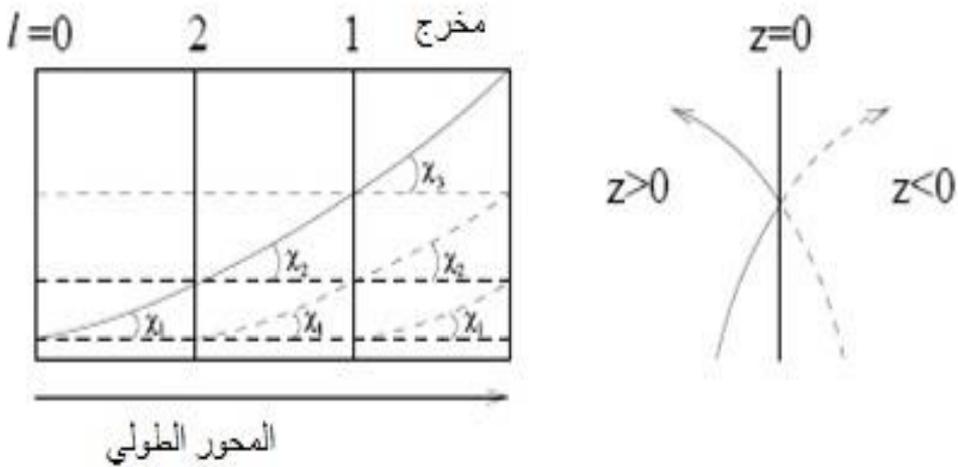
حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

خلية في الاتجاه القطري و20 خلية في الاتجاه العرضي مع 100 خلية في الاتجاه الطولي على طول البلازما (الشكل 2).

الشكل 2 (a) يوضح هندسة برنامج RAYTRACE بالنسبة لليزر المولد، المحاور العرضية والقطرية والطولية. يفترض أن تكون البلازما متناظرة حول المحور القطري في اتجاه المحور العرضي. **(b)** يبين مخروط الإشعاع الذي يبدأ عند مركز كل خلية، وزاوية رأس المخروط التي تشكلها الأشعة الخارجية 100 mrad [45].

يقوم برنامج RAYTRACE بمحاكاة الانكسار والربح لحزمة ليزر أشعة سينية المنتشرة على طول البلازما (المحور الطولي). تعطى بارامترات البلازما القطري بعيداً عن سطح الهدف من قبل، وبرنامج EHYBRID عند كل خلية **(b)** وقد تم حسابها في المستوى العرضاني باستخدام **(a)** منحنى الكثافة الغوسي المتناظر [31]. نفرض أن البلازما متجانسة طولياً على طول البلازما من أجل فترة انتشار ليزر الأشعة السينية. تؤدي فرضية التجانس على طول المحور الطولي ضمناً إلى أن البرامج قابلة للتطبيق بشكل محدد من أجل ضخ الموجة المنتشرة المتناظرة [46]، عندما تقابل حزمة ليزر الأشعة السينية وسطاً ثابتاً أثناء انتقالها فيه أو إذا لم تتغير شروط البلازما خلال الزمن لكي تنتشر نبضة ليزر الأشعة السينية على طول المحور الطولي. تخرج الأشعة الليزرية من الوجه الخلفي لكل خلية من خلايا البلازما لتشكل في النهاية مخروطاً إشعاعياً بزاوية سمتية 100 mrad. تزداد الزاوية السمتية χ بمقدار (0 ← 0.1) ميلي راديان، عندما تزداد الزاوية θ 20 من (0 ← 2π) كما هو موضح في الشكل (2).

يعطي كل شعاع من أشعة الليزر جزءاً من معدل الإصدار التلقائي الكلي في واحدة الحجم ضمن الزاوية الصلبة للحزمة، E_0 ، في الخلية معروفاً بواسطة الزاوية الصلبة الجزئية للشعاع. تصف الحلول التحليلية للمعادلات انتشار الشعاع ضمن الوسط ثلاثي الأبعاد والذي تمتلك فيه قرينة الانكسار اتجاهياً ثابتاً في المستوي العرضاني لكل خلية وقد وصف ذلك بالتفصيل عن طريق Plowes [43]، وبمعرفة جيدة بأن مسار الشعاع الناتج في المستوي العرضاني يشكل قطعاً ناقصاً. تسمح هذه النتائج لمسار الشعاع بأن يعبر الخلية ليتم حسابه ومعرفة اتجاه الشعاع ومكانه في الفراغ بعد أن يغادر الخلية. لذلك، يمكن حساب المسار الكلي للشعاع على طول المحور الطولي للبلازما. يقود افتراض وجود تجانس في الاتجاه الطولي للبلازما إلى تبسيط مفيد لتقليل الزمن اللازم لتشغيل البرنامج للقيام



بالحسابات. بالإشارة إلى الشكل (3)، يمكن حساب مسار الشعاع الليزري الذي يبدأ في المستوي (1) حتى يخرج من البلازما. يقوم البرنامج بحساب طاقة خرج ليزر

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

الأشعة السينية كتابع لطول الهدف (Target Length). وتابع للفاصل الزمني (Delay Time) بين نبضتي الليزر الهدف.

الشكل 3 يوضّح مسارات الأشعة الليزرية والتي تكون متكافئة على طول المحور الطولي للبلازما. كما يبيّن تناظر الانعكاس على طول المحور القطري [45].

يكافئ المسار الذي يقطعه الشعاع في المستوي الأولي المسار الذي يقطعه في المستوي الثاني وهكذا على طول البلازما. ولذلك لحساب المسار الذي يقطعه الشعاع من المستوي الأول حتى خروجه من البلازما، نحتاج فقط لحساب مسار الشعاع بين المستوي الأول ونقطة خروجه منه فقط. وهكذا فقد تم تعيين مسار الشعاع الذي بدأ من النقطة $l = 0$ خلف البلازما على طول المحور الطولي للبلازما حتى خروجه من البلازما، وهو مكافئ لعدد من الأشعة التي يبدأ عند كل مستوي عرضاني وتكون متطابقة في اتجاهاتها ومكانها في الفراغ. ينشأ التبسيط الثاني من تناظر الانعكاس في المستوي العرضاني. الشعاع الليزري الذي يبدأ من النقطة $z = z_0$ يتقاطع مع السطح الحرج عند $z = 0$ و بالتالي ينعكس إلى الخلف ضمن الشبكة، كما أن الشعاع التابع يكون مطابقاً للشعاع الذي بدأ من النقطة $z = -z_0$ (كما هو موضح في الشكل 3).

5. نتائج المحاكاة باستخدام برنامجي EHYBRID و

:RAYTRACE

يحاكي العمل المقدم في هذا البحث العمل التجريبي المنفذ في مختبر رذرפורد المركزي في المملكة المتحدة (Rutherford Appleton Laboratory) (RAL, UK) [47] حيث تم توليد ليزر الأشعة السينية لـ (Ne-like Ni) عند طول موجة 23.1 nm الموافق للانتقال $(3s^2 2p^5 3p^1 S_0 \rightarrow 3s^2 2p^5 3s^1 P_1)$ عن طريق تسليط حزم ليزر على أهداف من النيكل الصلب على شكل

شرائح (slabs) من خلال الضخ الضوئي باستخدام ليزر ضخ بطول موجة $1.06 \mu\text{m}$ (VULCAN glass laser)، حيث تم تشكيل البلازما الأولية (a pre – plasma) باستخدام نبضة أولية (background pulse) ذات العرض 280 ps وشدتها $2 \times 10^{13} \text{ W. cm}^{-2}$ في خط محرق (line focus) طوله 16 mm وعرضه $100 \mu\text{m}$. أما النبضة الأساسية (main pulse) فعرضها 1.2 ps وشدتها $7 \times 10^{15} \text{ W. cm}^{-2}$ في خط محرق طوله 12 mm وعرضه $100 \mu\text{m}$. أدخلنا إلى برنامج RAYTRACE معلومات مفصلة عن خرج ليزر الأشعة السينية وخواص الحزمة متضمنة الطاقة. يتم تنفيذ حسابات برنامج RAYTRACE من أجل الطول المطلوب للهدف بخطوات زمنية قدرها 1ps ويتم الحصول على طاقة الخرج الكلية بمكاملة استطاعات الخرج الناتجة على كامل الزمن. إن بنية سويا ليزر Ne-like ion معقدة ويجب أن تتضمن المحاكاة العددية لها على عدد كبير من الحالات المثارة. لقد تم تطوير مجموعة البيانات الفيزيائية للنكل والمستخدم في هذه الحسابات في Belfast [48] وتتضمن الطاقات واحتمالات الانتقال الإشعاعي من أجل 112 سوية مثارة لـ Ne-like ion. قمنا بتشغيل برنامج EHYBRID بطاقات ضخ ليزر مختلفة (نفس الطاقات المستخدمة في العمل التجريبي المأخوذ من المرجع [47]) وبعد الحصول على النتائج من برنامج EHYBRID استخدمناها كدخل لبرنامج RAYTRACE، وقمنا بتشغيله لتحديد الفاصل الزمني الأمثل بين النبضة الأولية والنبضة الرئيسية (من قمة النبضة الأولية إلى قمة النبضة الرئيسية) ولحساب طاقة ليزر الأشعة السينية الناتجة من Ne-like Ni كتابع لطول الهدف وتم مقارنة نتائج المحاكاة مع النتائج التجريبية.

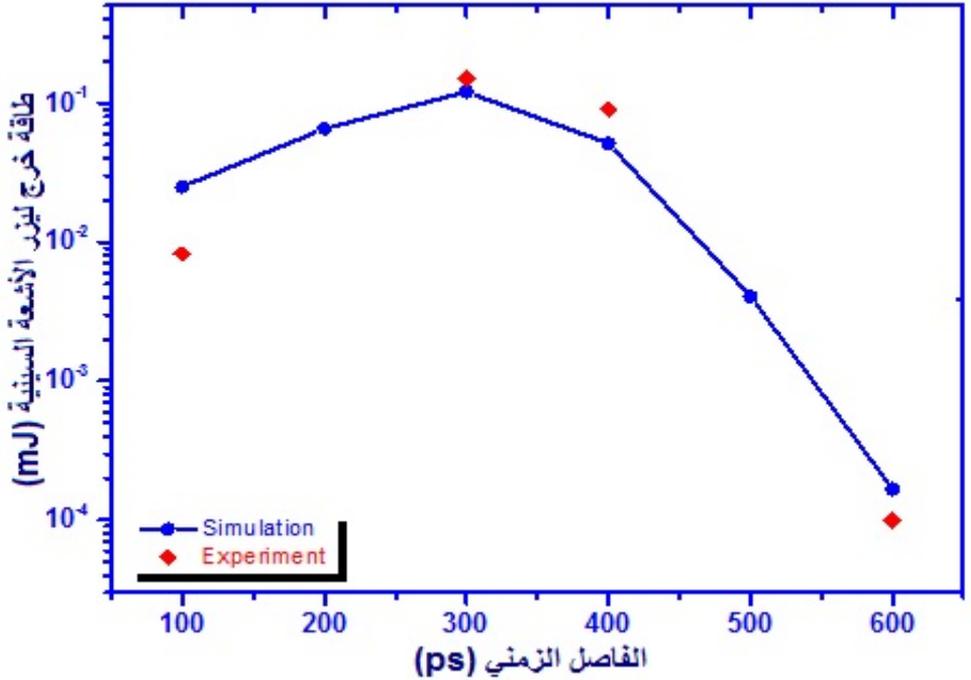
حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

تم إجراء سلسلة من التجارب على أهداف من النيكل طول كل منها 2 mm لتحديد الفاصل الزمني الأمثل بين النبضة الأولية الطويلة والنبضة الأساسية القصيرة، نلاحظ من الشكل (4) أن أفضل فاصل زمني بين نبضتي الليزر المستخدمتين تجريبياً هو 300 ps والذي يعطي أعلى طاقة خرج لنيكل ليزر الأشعة السينية. وأنه يوجد تطابق جيد بين النتائج التجريبية المأخوذة من المرجع [47] ونتائج المحاكاة.

حيث يبين الجدول (1) التالي طاقة خرج طاقة خرج ليزر Ne-like Ni الذي تم الحصول عليه باستخدام برنامجي EHYBRID و RAYTRACE عند طول الموجة 23.1 nm كتابع للفاصل الزمني بين قمتي النبضتين الرئيسية 1.2 ps و الأولية 300ps و النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها من المرجع [47].

| طاقة خرج ليزر الأشعة السينية التجريبية (mJ) | طاقة خرج ليزر الأشعة السينية باستخدام برامج المحاكاة (mJ) | الفاصل الزمني (ps) |
|---|---|--------------------|
| 0.0082 | 0.025 | 100 |
| | 0.06528 | 200 |
| 0.15 | 0.12 | 300 |
| 0.09 | 0.0512 | 400 |
| | 0.00407 | 500 |
| 1.00E-04 | 1.67E-04 | 600 |

الجدول (1)



الشكل 4 يوضح طاقة خرج ليزر Ne-like Ni الذي تم الحصول عليه باستخدام برنامجي EHYBRID و RAYTRACE عند طول الموجة 23.1 nm كتابع للفاصل الزمني بين قمتي النبضتين الرئيسية 1.2 ps و الأولية 300ps ومقارنتها مع النتائج التجريبية [47].

بعد تثبيت الفاصل الزمني بين النبضتين على القيمة 300 ps (بناءً على النتائج السابقة) قمنا بتحديد طاقة حزمة ليزر الأشعة السينية الكليّة (Ne-like Ni) الموافق للانتقال ($2p^5 3p^1 S_0 \rightarrow 2p^5 3s^1 P_1$) باستخدام برنامجي EHYBRID و RAYTRACE كتابع لطول الهدف، ومقارنته مع المنحني التجريبي الذي تم الحصول عليه باستخدام flat-field و CCD كاميرا [47]، بإجراء عدة تجارب

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

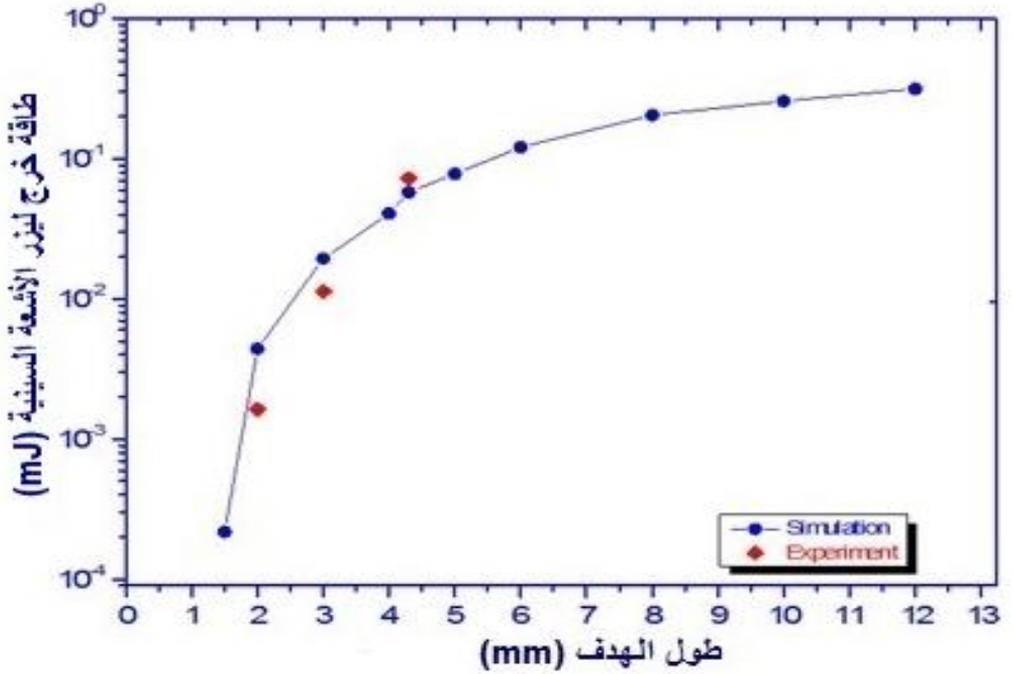
على أهداف بطول يتراوح من 2-12 mm وبعرض 100 μm وسماكة 1 μm كما هو موضح في الشكل (5).

يبين الجدول (2) التالي طاقة خرج طاقة خرج ليزر Ne-like Ni الذي تم الحصول عليه باستخدام برنامجي EHYBRID و RAYTRACE عند طول الموجة 23.1 nm كتابع لطول الهدف بين قمتي النبضتين الرئيسية 1.2 ps و الأولية 300ps و النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها من المرجع [47].

| طاقة خرج الأشعة السينية التجريبية (mJ) | طاقة خرج ليزر الأشعة السينية باستخدام برامج المحاكاة (mJ) | طول الهدف (mm) |
|---|--|-------------------|
| - | 2.18E-4 | 1.5 |
| 0.0016 | 0.00441 | 2 |
| 0.0112 | 0.0194 | 3 |
| - | 0.0407 | 4 |
| 0.07 | 0.0578 | 4.3 |
| - | 0.0781 | 5 |
| - | 0.121 | 6 |
| - | 0.205 | 8 |

| | | |
|---|-------|----|
| - | 0.258 | 10 |
| - | 0.316 | 12 |

الجدول (2)



الشكل 5 يوضح منحنى الطاقة الناتجة من خط الليزر الموافق للانتقال $2p^5 3p^1 S_o \rightarrow 2p^5 3s$ من أجل ليزر الأشعة السينية المنتج بواسطة Ne-like Ni عند 23.1 nm كتابع لطول الهدف (البلازما) والذي تم الحصول عليه من المحاكاة العددية باستخدام برنامج RAYTRACE وبرنامج EHYBRID. ومقارنتها مع النتائج التجريبية [47].

نلاحظ من الشكل (5) وجود تطابق جيد بين المنحنى التجريبي ومنحنى المحاكاة من برنامجي EHYBRID و RAYTRAC. عند طول هدف أكبر من 5 mm تصل طاقة خرج ليزر الأشعة السينية إلى مرحلة الإشباع أي الحصول على أكبر طاقة ممكنة.

6. نمذجة إصدار خط التجاوب: (Modelling of resonance)

(line emission)

تم تعديل برنامج الفيزياء الذرية والهيد وديناميكية EHYBRID ليحاكي إصدار خط الطنين. وتم حساب إصدارية الخطوط الطيفية ε عند زمن معين ضمن EHYBRID باستخدام العلاقة:

$$\varepsilon = \sum N_i A_{ij} \frac{hc}{\lambda_0} dV \quad (4)$$

حيث: N_i إسكان السوية العليا من أجل انتقال معطى، A_{ij} احتمالية الانتقال الاشعاعي من أجل الانتقال، h ثابت بلانك، c سرعة الضوء في الخلاء، λ_0 طول موجة الخط الطيفي، dV حجم كل خلية، والجمع على كامل خلايا EHYBRID. تم تعديل برنامج EHYBRID الأصلي لحساب معدلات الانتقال التلقائي A_{ij} من شدات هزاز الامتصاص (absorption oscillator) المستخدمة في تقدير توازن التأين (ionization balance). ومن ثم تم حساب شدات الخط الطيفي ل 112 سوية من Ne-like عند (3p-2s) و 642 سوية من F-like عند (3d-2p) لمحاكاة إصدار خط الطيف لبلازما النيكل. إن الإصدارية المحسوبة من المعادلة السابقة مكافئة للشدة الإشعاعية المنتجة إذا كانت البلازما رقيقة ضوئياً، ولكن في أغلب الأحيان تكون خطوط الطنين سميكة ضوئياً لأنها تمتلك شدة اهتزاز قوية. لقد تم حساب عدم الشفافية (Opacity) من خلال معامل الهروب التقريبي (escape factor) المعتمد على تابع هولستن (Holstein function) من أجل خطوط تعريض دوبلر [49-51]. وتم تقييم شدات الخطوط الطيفية بواسطة كتابة برنامج جديد (new post-processor) [52] يستخدم مع برنامج EHYBRID وذلك باستخدام محاكاة كثافات الإسكان N_i (population densities) ومعامل الهروب

T (escape factor). نستطيع إعادة كتابة المعادلة (4) لكي تعبر عن الشدة الصادرة الكلية I_{tot} لخط طيفي معين بالشكل:

$$I_{tot} = \quad (5)$$

$$\sum N_i \frac{hc}{\lambda_0} T A_{ij} dV$$

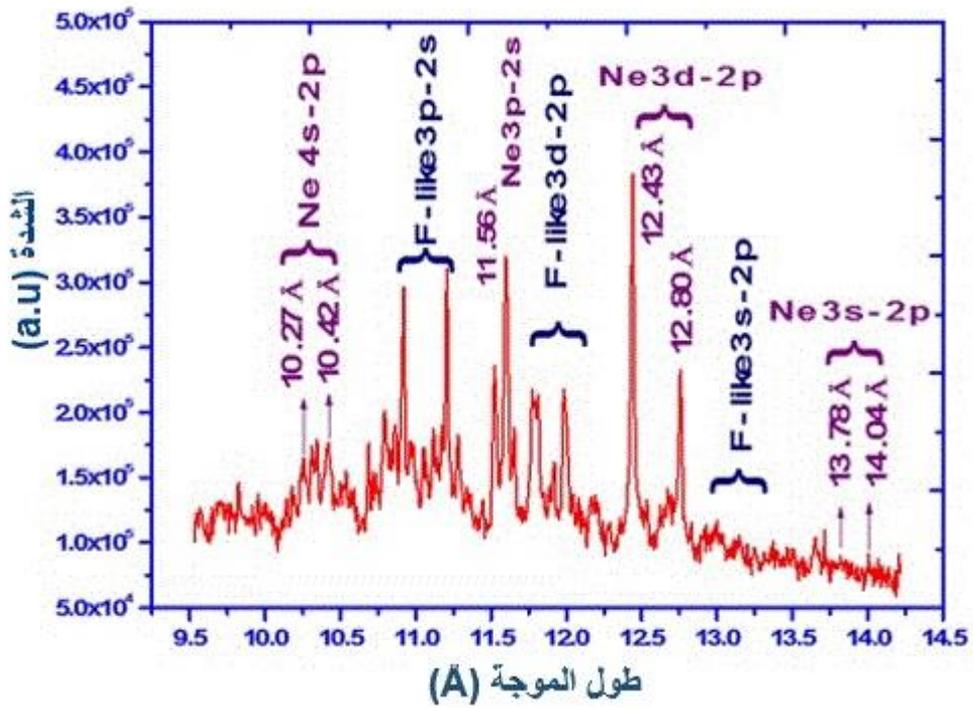
إن إسكان السويات المثارة Na-, Ne- and F-like ions في أوساط ليزر الأشعة السينية تكون في حالة توازن كوروني (coronal equilibrium) تقريباً بالنسبة للحالة الأرضية. بناء على ذلك في حساب الإصدار الناتج، لا يوجد حرج في اختيار نموذج عامل الهروب T من أجل الحساب الدقيق لتأثير عدم الشفافية. في حالة التوازن الكوروني، يسبب تأثير الإثارة الضوئية إصداراً إضافياً يوازن خسارة الإشعاع بسبب الامتصاص [53]. لقد تم الأخذ بعين الاعتبار عند إجراء عملية المحاكاة للخطوط الطيفية إسكان 11 سوية مثارة من Na-like ion و 112 سوية مثارة من Ne-like ion و 215 سوية مثارة من F-like ion. يوضّح الشكل (6.a) الطيف التجريبي لبلازما النيكل [47] الذي تم الحصول عليه تجريبياً باستخدام المقياس الطيفي (KAP crystal spectrometer) أما الشكل (6.b) فيوضّح الطيف الذي تم الحصول عليه باستخدام برنامج Ehybrid المعدل وبرنامج Post-processor.

وقد تم الأخذ بعين الاعتبار عند حساب الطيف النظري مرشح من نوع Be وبسماكة $25\mu\text{m}$ كالمستخدم في التجربة [47]. بالمقارنة بين الطيفين التجريبي والنظري نلاحظ وجود تطابق جيد. لقد تم تحديد الخطوط الطيفية لـ Ne-like باستخدام النتائج المنشورة بواسطة العالم Boiko [54]، أما من أجل F-like فقد تم تحديد الأطوال الموجية باستخدام نتائج العالم Gordon [55]. أما تحديد

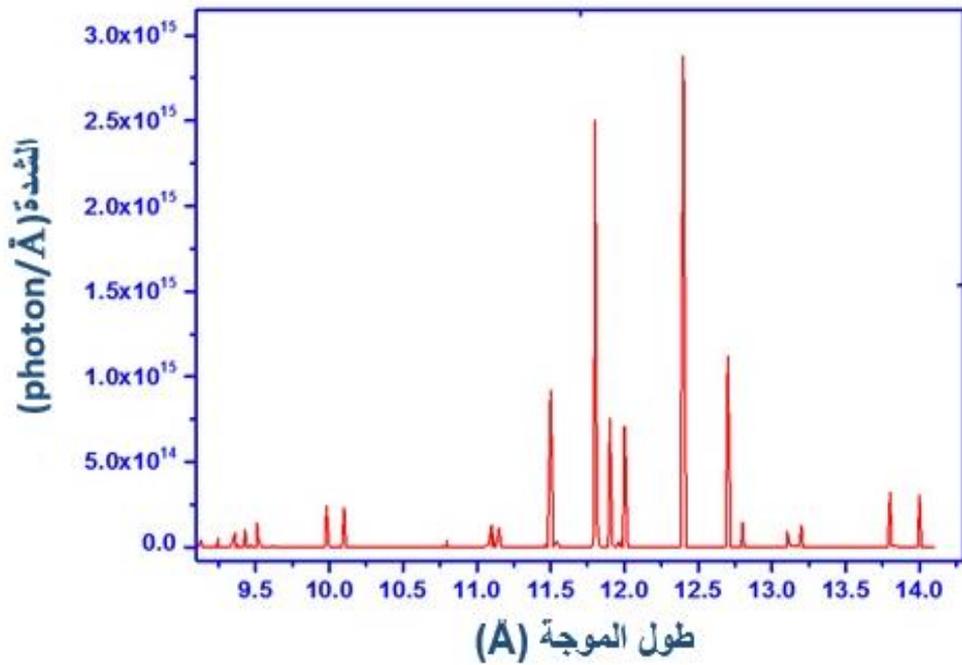
حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل
الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

الخطوط الطيفية النظرية (الأطوال الموجية) فقد تم تحديدها ضمن برنامج
Ehybrid اعتماداً على حسابات العالم cowan [56].

(a)



(b)



الشكل 6 (a) يوضّح الطيف التجريبي الذي تم تسجيله بواسطة crystal spectrometer و CCD كاميرا [47]. (b) طيف إصدار خط الطنين لبلازما النيكل والذي تم الحصول عليه باستخدام برنامج EHYBRID المعدل ومعالج بوست الجديد Post-processor.

7. الخاتمة (Conclusion):

لقد قمنا باستخدام برنامجي Ehybrid و RAYTRACE لتحديد الفاصل الزمني الأمثل بين النبضة الأولية والنبضة القصيرة الرئيسية وحساب طاقة ليزر الأشعة السينية الناتجة Ne-like Ni كتابع لطول الهدف، كما تم كتابة برنامج جزئي ضمن برنامج Ehybrid لحساب الخطوط الطيفية لبلازما النيكل، وبعد ذلك تم استخدام النتائج التي تم الحصول عليها مع برنامج ملحق Post-processor لحساب شدة خط التجاوب لليزر وتم الحصول على طيف إصدار خط التجاوب لبلازما النيكل. ومقارنتها مع النتائج المسجلة تجريبياً.

8. المراجع (References):

- [1] M. N. Rosenbluth and R. Z. Sagdeev, Eds., "Handbook of Plasma Physics", Volume 3. Physics of Laser Plasmas, A. M. Rubenchik and S. Witkowski, Eds. (Elsevier Science Publishers, B. V., 1991), Chapter 9.
- [2] A. ROCKWOOD, "Compact gain-saturated x-ray lasers down to 6.85 nm and amplification down to 5.85 nm," Optica, Vol. 5, No. 3, pp. 257-262, (2018).
- [3] Tallents, G, J., 2003. The physics of soft x-ray lasers pumped by electron collisions in laser plasmas. J. Phys. D: Appl. Phys. V. 36, No. 15, pp. 259-276.
- [4] Carillon, A., Chen, Z., Dhez, P., Dwivedi, L., Jacopy, J., Jaegle, P., Jamelot, G., Zhang, Jie., Key, M, H., Kidd, A., Klisnick, A., Kodama, R., Krishnan, J., Lewis, C, L, S., Neely, D., Norreys, P., O'Neill, D., Pert, G, J., Ramsden, S, A., Raucourt, J, P., Tallents, G, J., and Uhomobhi, J., 1992. Saturated and Near-Diffraction-Limited Operation of an XUV Laser at 23.6 nm. Phys. Rev. Lett. V. 68, No. 19, pp. 2917-2920.
- [5] Zhang, J., Zepf, M., Norreys, P, A., Dangor, A, E., Bakarezos, M., Danson, C, N., Walsh, A. Dyson, A. P. Fewes, P. Gibbon, M. H. Key, P. Lee, P. Loukakos, S. Moustazis, D. Neely, F, N., and Wark, J, S., 1996. Coherence and bandwidth measurements of harmonics generated from solid surfaces irradiated by intense picosecond laser pulses. Phys. Rev. A. V. 54. No. 2, pp. 1597-1603.
- [6] Lin, J, Y., Tallents, G, J., Smith, R., MacPhee, A, Wolfrum, G, E., Zhang, J., Eker, G., Keenan, R., Lewis, C, L, S., Neely, D., O'Rourke, R,

M, N., Pert, G, J., Pestehe, S, J., Wark, J, S., 1999. Optimization of double pulse pumping for Ni-like Sm x-ray lasers. J. Appl. Phys. V. 85, No. 2, pp. 672-675.

[7] Smith, R., Tallents, G, J., Zhang, J., Eker, G., McCabe, S., Pert G, J., Wolfrum, E., 1999. Saturation behavior of two x-ray lasing transitions in Ni-like Dy. Phys. Rev. A, V. 59, No. 1, pp. 47-59.

[8] Kuznetsov, J., Filevich, F., Dong, M., Woolston, W. L., Chao, E. H., Anderson, E. R., Bernstein, D. C., Crick, Rocca, J. J., and Menoni, C. S. 2015. Three-dimensional nanoscale molecular imaging by extreme ultraviolet laser ablation mass spectrometry. Nat. Commun. V. 6, pp. 6944.

[9] Vaschenko, G., Brewer, C., Brizuela, F., Wang, Y., Larotonda, M. A., Luther, B. M., Marconi, M. C., Rocca, J. J., Menoni, C. S., Anderson, E. H., Chao, W., Harteneck, B. D., Liddle, J. A., Liu, Y. and Attwood, D. T. 2006. Sub- 38 nm resolution tabletop microscopy with 13 nm wavelength laser light. Opt. Lett. V. 31, pp. 1214–1216.

[10] Brizuela, F., Carbajo, S., Sakdinawat, A., Alessi, D., Martz, D. H., Wang, Y., Luther, B., Goldberg, K. A., Mochi, I., Attwood, D. T., La Fontaine. B., Rocca, J. J., and Menoni, C. S. 2010. Extreme ultraviolet laser-based table-top aerial image metrology of lithographic masks. Opt. Express. V. 18, No. 14467.

[11] Meng, L. M., Alessi, D., Guilbaud, O., Wang, Y., Berrill, M., Luther, B. M., Domingue, S. R., Martz, D. H., Joyeux, D., De Rossi, S., Rocca, J. J. and Klisnick, A. 2011. Temporal coherence and spectral linewidth of an injection-seeded transient collisional soft x-ray laser. Opt. Express. V. 36, No. 2164.

- [12] RockWood, A., Wang, Y., Wang, S., Berrill, M., Shlyaptsev, V. N. and Rocca, J. J. 2018. Compact gain-saturated x-ray lasers down to 6.85 nm and amplification down to 5.85 nm. *Optica*, V. 5. No. 3, pp. 257 – 262.
- [13] Matthews, D, L., Hagelstein, P, L., Rosen, M, D., Eckart, M, J., Ceglio, N, m., Hazi, A, U., Medeck, H., MacGowam, B, J., Trebes, J, E., Whitten, B, L., Campbell, E, M., Hatcher, C, W., Hawryluk, A, M., Kauffman, R, L., Pleasance, L, D., Rambach, G., Scofield, H, J., Stone, G., and Weaver, T, A., 1985. Demonstration of a Soft X-Ray Amplifier. *Phys. Rev. Lett.* V. 54, No. 2, pp 110-114.
- [14] Lee, T, N., McLean, E, A., and Elton, R, C., 1987. Soft X-Ray Lasing in Neonlike Germanium and Copper Plasmas. *Phys. Rev. Lett.* V. 59, No. 11, pp. 1185-1188.
- [15] Nickles, P, V., Shlyaptsev, V, N., Kalachnikov, M., Schnürer, M., Will, I., and Sandner, W., 1997. Short Pulse X-Ray Laser at 32.6 nm Based on Transient Gain in Ne-like Titanium. *Phys. Rev. Lett.* V. 78, No. 14, pp. 2748-2751.
- [16] Dunn, J., Osterheld, A, L., Shepherd, R., White, W, E., Shlyaptsev, V, N., and Stewart, R, E., 1998. Demonstration of X-Ray Amplification in Transient Gain Nickel-like Palladium Scheme. *Phys. Rev. Lett.* V. 80, No. 13, pp. 2825-2828.
- [17] Warwick, P, J., Lewis, C, L, S., Kalachnikov, M, P., Nickles, P, V., Schnürer, M., Behjat, A., Demir, A., Tallents, G, J., Neely, D., Wolfrum, E., Zhang, J., Pert, G, J., 1998. Observation of high transient gain in the germanium x-ray laser at 19.6 nm. *J. Opt. Soc. Am. B.* V. 15, No. 6, pp. 1808-1814.

[18] Kuba, J., Klisnick, A., Ros, D., Fourcade, P., and Jamelot, G., 2000. Two-color transient pumping in Ni-like silver at 13.9 and 16.1 nm. Phys. Rev. A, V. 62, No. 4, pp. 43808-43815.

[19] Nilsen, J., MacGowan, B, J., Da, Silva, L, B., and Moreno, C., 1993. Prepulse technique for producing low-Z Ne-like x-ray lasers. Phys. Rev. A. V. 48, No. 6, pp. 4682-4685.

[20] Daido, H., Kato, Y., Murai, K., Ninomiya, S., Kodama, R., Yuan, G., Oshikane, Y., Takagi, M., and Takabe., 1995. Efficient Soft X-Ray Lasing at 6 to 8 nm with Nickel-like Lanthanide Ions. Phys. Rev. Lett. V. 75, No. 6, pp. 1074-1077.

[21] Cairns, G, F., Lewis, C, L, S., Lamb, M, J., A. MacPhee, G., Neely, D., Norreys, P., Key, M, H., Healy, S, B., Holden, P, B., Pert, J. G, J., Plowes, A., Tallents G, J., and Demir, A., 1996. Using low and high prepulses to enhance the $J = 0-1$ transition at 19.6 nm in the Ne-like germanium XUV laser Optics Commun. V. 123, No. 123, pp. 777-789.

[22] Behjat, A., Lin, J., Tallents, G, J., Demir, A., Kurkcuoglu, M., Lewis, C, L, S., MacPhee, A, G., McCabe, S, P., Neely, D., Wolfrum, E., Healy S, B., and Pert, G, J., 1997. The effect of multi-pulse irradiation on X-ray laser media. Optics Commun. V. 135, No. 135, pp. 49-54.

[23] Yuan, G., Murai, K., Daido, H., Kodama, R., and Kato, Y., 1995. Two - dimensional beam characteristics of tripe-pulse pumping a Ne-like Ge soft x-ray laser at 19.6 nm. Phys. Rev. A. V. 52, No. 6, pp. 4861-4866.

[24] Tommasini, R., Löwenthal, F., and Balmer, J, E., 1999. Saturation in a Ni-like Pd soft-x-ray laser at 14.7 nm. Phys. Rev. A. V. 59, No. 2, pp. 1577-1581.

- [25] Sebban, S., Daido, H., Sakaya, N., Kato, Y., Murai, K., Tang, H., Gu, Y., Huang, G., Wang, S., Klisnick, A., Zeitoun, Ph., Koike, F., and Takenaka, H., 2000. Full characterization of a high-gain saturated x-ray laser at 13.9 nm. *Phys. Rev. A*. V. 61, No. 4, pp. 043810-043819.
- [26] Dunn, J., Li, Y., Osterheld, A, L., Nilsen, J., Hunter J, R., and Shlyaptsev, V, N., 2000. Gain Saturation Regime for Laser-Driven Tabletop, Transient Ni-Like Ion X-Ray Lasers. *Phys. Rev. Lett.* V. 84, No. 21, pp. 4834-4837.
- [27] Janulewicz, K, A., Lucianetti, A., Priebe, G., Sandner, W., Nickles, P, V., 2002. A table-top collisional Ni-like Ag X-ray laser at 13.9 nm pumped by single picosecond laser pulse. *AIP Conference Proceedings*. V. 641, No. 1, pp. 26-30.
- [28] Holden, P, B., Healy, S, B., Lightbody, M, T., Pert, G, J., Plowes, J, A., Kingston, A, E., E. Robertson, Lewis, C, L, S., and Neely, D., 1994. A computational investigation of the neon-like germanium collisionally pumped laser. *J. Phys. B*. V. 27, pp. 341-367.
- [29] R. C. Elton, "X-ray lasers", Publisher Academic Press (1990).
- [30] J. Nilsen, B. J. MacGowan, L.B. Da Silva and J. C. Moreno, *Phys. Rev. A* 48, 4682 (1993).
- [31] Pert, G, J., 1983. The hybrid model and its application for studying free expansion. *J. Fluid Mech.* V. 131, pp. 401-426.
- [32] Jacquemot, S., and Bonnet, L., 1997. Investigation of Ne- and Ni-like collisional excitation schemes in plasmas driven by multiple laser pulses. *Proc. SPIE*, V. 3156, 10.1117/12.293386.
- [33] Nilsen, J., 1997. Analysis of a picosecond-laser-driven Ne-like Ti x-ray laser. *Phys. Rev. A*. V. 55, No. 4, pp. 3271-3274.

- [34] Zimmerman, G. B., and Kruer, W. L., 1975. Numerical simulation of laser-initiated fusion. *Comments Plasma Phys. Controlled Fusion*. V. 2, No. 2, pp. 51-60.
- [35] Christiansen, J. P., Ashby, D. E., T. F., and Roberts, K. V., 1974. MEDUSA a one-dimensional laser fusion code. *Computer Phys. Comm.* 7, No. 5, pp. 271- 287.
- [36] Bodner, S. E., Colombant, D. G., Gardner, J. H., Lehmberg, R. H., Obenschain, S. P., Phillips, Lee., Schmitt, A. J., Sethian, J. D., Seka, W., Verdon, C. P., and Knauer. J. P., 1998. Direct-drive laser fusion: Status and prospects. *Phys. Plasmas*. V. 5, No. 5, pp. 1901.
- [37] Pert, G. J., 1987. The use of flows with uniform velocity gradient in modelling free expansion of a polytropic gas. *Laser and Particle Beams*. V. 5, No. 4, pp. 643–658.
- [38] Pert, G. J., 1978. Algorithms for the calculation of ionization in rapidly changing plasmas. *J. Comp. Phy.* V. 27, No. 2, pp. 241-255.
- [39] Pert, G. J., 1981. Efficient integration of the time dependent collisional-radiative equations *J. Comp. Phy.* V. 39, No. 2, pp. 251-271.
- [40] G. F. Cairns, S. B. Healy, C. L. S. Lewis, G. J. Pert and E. Robertson, *J. Phys. B* 29, 4839-4854 (1996).
- [41] R. E. King, G. J. Pert, S. P. McCabe, P. A. Simms, A. G. MacPhee, C. L. S. Lewis, R. Keenan, R. M. N. O'Rourke, G. J. Tallents, S. J. Pestehe, F. Strati, D. Neely, and R. Allott, *Phys. Rev. A* **64**, 053810 (2001).
- [42] Y Abou-Ali, Q L Dong, A Demir, R E King, G J Pert and G J Tallents, "Quantitative simulations of short pulse x-ray laser," *At. Mol. Opt. Phy.*, vol. **37**, pp. 1-14, (2004).
- [43] Plowes, J. A., 1995. Ray optic of X-ray lasers. Ph. D. Thesis, University of York

- [44] Toft, D., 1979. Numerical modeling of plasmas produced by long pulse lasers. Ph. D. Thesis, University of Hull.
- [45] Robert king, "*Computational Modelling of Short Pulse X-Ray Lasers*" PhD thesis (University of York, UK) (2001).
- [46] Plowes, J, A., Pert, G, J., and Holden, P, B., 1995. Refraction compensation by target curvature in X-ray lasers. *Opt. Commun.* V. 116, pp. 260-268.
- [47] Y. Abou-Ali, G. J. Tallents, M. Edwards, R. E. King, G. J. Pert, S. J. Pestehe, F. Strati, R. Keenan, C. L. S. Lewis, S. Topping, O. Guilbaud, A. Klisnick, D. Ros, R. Clarke, D. Neely, M. Notley, A. Demire, 2003-Measurement of the duration of of X-ray laseing pumped by an optical laser pulse of picosecond duration. *Opt. Commun.* 215, 397– 406.
- [48] A. Kingston, In *X-Ray Lasere 1990*, volume 116, pages 289-296 (IOP Conf. Series, 1990).
- [49] Holstein, T., 1947. Imprisonment of Resonance Radiation in Gases. *Phys. Rev.* V. 72, No. 12, pp. 1212-1233.
- [50] Holstein, T., 1951. Imprisonment of Resonance Radiation in Gases. II. *Phys. Rev.* V. 83, No. 6, pp. 1159-1168.
- [51] Sobolev, V, V., 1957. The Diffusion of Lalpha Radiation in Nebulae and Stellar Envelopes. *Sov. Astron. Astrophys. J.* V. 1, pp. 678-689.
- [52] Abou-Ali, Y., Demir, A., Tallents, G, J., Edwards, M., King, R, E., and Pert, G, J., 2003. Comparison of simulated and experimental time resolved emission for a Ne-like nickel x-ray laser. *J. Phys. B.* V. 36, pp. 4097-4106.
- [53] Pestehe, S, J., 2001. Spectroscopic studies of X-ray laser media. Ph. D. Thesis, University of York.

حساب خرج ليزر النيكل الشبيه بالنيون المضخ بشكل تصادمي كتابع لطول الهدف والفاصل
الزمني وكذلك بعض الوسائط الأخرى باستخدام برامج المحاكاة

[54] Boiko, V. A., Faenov, A. Ya. and Pikuz, 1978- X-ray spectroscopy of multiply charged ions from laser plasmas. S. A. J. *Quant. Spect. Radiat. Trans.* V. 19. pp. 11-50.

[55] Gordon, H., Hobby, M. G., and Peacock, N. J. 1980- Classification of the x-ray spectra of transitions in the Ne, F and O I isoelectronic sequences of the elements from iron to bromine and in the Na I isoelectronic sequence of gallium to bromine. J. Phys. B.13. pp. 1985-1999.

[56] Cowan, R. D., 1968- Theoretical Calculation of Atomic Spectra Using Digital Computers. J. Opt. Soc. Am. V. 58, No. 6, pp. 808-818.

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network (WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

* الدكتور ناجي ابراهيم محمد

** لجين محمد موسى

الملخص

يعد التطبيق الأكثر شيوعاً لشبكات حساسات الجسم اللاسلكية (WBAN) في مجال الرعاية الصحية. عندما يتواجد مجموعة من الأشخاص يحملون شبكة WBAN داخل منطقة مثل المستشفى، يمكن أن تتداخل الإشارات اللاسلكية المرسله مع بعضها البعض، مما يؤدي إلى تدهور الإنتاجية بالإضافة إلى فقدان الإشارة بسبب حركة جسم الإنسان. لذلك، من الأهمية بمكان تخفيف التداخل بين شبكات WBANs من أجل الحفاظ على موثوقية النظام. تم اقتراح استخدام البروتوكول IEEE802.15.6 متعدد القنوات والذي يسمح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة، بالإضافة إلى اقتراح خوارزمية لتخفيف التداخل بين شبكات WBANs. تم إجراء المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB والمقارنة مع البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 من حيث مجموعة من مقاييس الأداء، حيث بينت النتائج أن IEEE802.15.6 يحقق نسبة أقل من الرزم المفقودة وتخامد المسار، بالإضافة إلى قيم منخفضة للتأخير ومعدل إنتاجية أعلى، مع استهلاك أقل للطاقة من البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 في نطاقات محددة، كما تم استنتاج أن المخططات البيانية لمقاييس الأداء ليست عشوائية إنما يتقارب سلوكها مع سلوك التوزيع الاحتمالي لمجموع تابعين غاوسيين في سيناريوهات WBAN المتعددة، ويرجع هذا السلوك إلى نظرية الحدود المركزية والتي تشير إلى أن مجموع

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات
IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

عدد من المتغيرات العشوائية، بغض النظر عن التوزيع الذي تنتمي إليه في الأصل،
يتقارب مع التوزيع الغاوسي.

الكلمات المفتاحية: IEEE802.15.6، IEEE802.15.4، MAC، WBAN، متعدد
القنوات، تخفيف التداخل.

* مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات -
جامعة طرطوس - سوريا

** طالبة ماجستير في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات
والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا

Reducing interference between Wireless Body Area Network(WBANs) based on IEEE802.15.4 and IEEE802.15.6 multi-channel technologies

*Dr. Naji Ibrahim Mohamad

**Loujain Mohamad Mousa

□ ABSTRACT □

The most popular application of WBANs is in healthcare. When a set of people who have a WBAN are in a small area like the hospital, the transmitted wireless signals can interfere with each other leading to signal loss due to body movement. Therefore, it is critical to mitigate the interference between WBANs in order to keep system reliability. It has been proposed to use a multi-channel IEEE802.15.6 protocol which allows multi-transmissions of data over different channels, in addition to proposing an algorithm to mitigate the interference between WBANs. The simulation was performed using MATLAB and compared the results with the IEEE802.15.4 protocol through a set of metrics. The results showed that the IEEE802.15.6 is overpassing the traditional protocol through lower values of dropped packets, pathloss, delay, energy consumed and higher values of throughput. it was concluded that the graphical of the metrics are not random, instead of that, its behavior converges with the sum of two gaussian functions, this is due to the fact that the sum of a number

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات
IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات

of random variables converges with the gaussian distribution according to the central limit theory (CLT).

Keywords: IEEE802.15.4, IEEE802.15.6, MAC, WBAN, Multi-Channel, Interference Mitigation.

* Teacher, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

** Master student, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.

1- المقدمة والدراسات المرجعية

تستخدم شبكات الجسم اللاسلكية (WBAN) Wireless Body Area Network على نطاق واسع في المجال الطبي حيث يمكن وضع عقد الاستشعار في جسم الإنسان لمراقبة الإشارات الحيوية [1]. عندما يكون العديد من المرضى داخل منطقة صغيرة مثل المستشفى، قد تتداخل الإشارات اللاسلكية لشبكات WBAN مع بعضها البعض، حيث أظهرت الدراسات التي أجريت في [2][3] أن التداخل يقلل من الأداء من حيث نسبة الرزم المستلمة والاستجابة. من ناحية أخرى، تناولت العديد من الأبحاث السابقة آليات مختلفة لتخفيف التداخل بين شبكات WBANs، حيث بين الباحثون في [4] آلية القفز بين القنوات (channel hopping)، والتي تقوم على تبديل قناة العمل إلى قناة أخرى تتضمن تداخلات أقل وجودة نقل أفضل، لكن بيّنت النتائج أنّ هذه الآلية تزيد من التأخير واستهلاك الطاقة لأنه يتم اختيار القناة الجديدة بشكل عشوائي دون إجراء تحسس للقنوات، مما قد يؤدي إلى التصادم مع شبكة أخرى تختار القناة نفسها. من ناحية أخرى، اقترح الباحثون في [5] آلية تهدف إلى اكتشاف الشبكات المجاورة المتداخلة والتعاون فيما بينها من خلال تشكيل جدول زمنية مشتركة، لكن أظهرت النتائج ازدياداً في قيم التأخير لأن هذه الآلية تتطلب تبادل معلومات إضافية من أجل تحقيق التزامن والذي يعتبر مهمّة صعبة بسبب حركية شبكة WBAN. أيضاً، وضّح الباحثون في [6] فعالية استخدام شبكات WBANs في المجال الطبي، حيث تضمنت الدراسة ثلاث سيناريوهات بدءاً من وجود مريض واحد داخل غرفة في المستشفى إلى وجود مريضين داخل غرفة واحدة، ومن ثم جناح فيه ثلاث غرف وكل غرفة تحوي مريضين. وبمقارنة السيناريوهات الثلاثة، بيّنت النتائج تزايداً في التأخير والحمل وانخفاضاً في الإنتاجية مع ازدياد عدد المرضى بسبب تضاعف حجم البيانات المرسلّة والمستقبلة بين عقد الحساسات والمنسقات. لذلك تبين أنه من الضروري التخفيف من التداخل قدر الإمكان مع تزايد شبكات WBANs لضمان مستويات عالية من جودة الخدمة. تعمل بروتوكولات MAC الحالية على قناة واحدة، مما يسبب تصادمات عند الوصول إلى الوسط، لذلك تعتبر بروتوكولات MAC متعددة

القنوات الأفضل لزيادة الإنتاجية في مختلف الشبكات اللاسلكية [7]. بدافع من التحديات المذكورة أعلاه، تم ضمن هذا العمل اقتراح استخدام البروتوكول IEEE802.15.6 متعدد القنوات والذي يسمح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة، والمقارنة مع أداء البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 من حيث مجموعة من المقاييس حيث بينت النتائج أن IEEE802.15.6 يتفوق على البروتوكول التقليدي ضمن بيئة محددة. كما تم استنتاج أن سلوك مقاييس الأداء يتبع شكلاً تقريبياً لمجموع تابعين غاوسيين في سيناريوهات WBAN المتعددة.

2- هدف البحث وأهميته

تبرز أهمية البحث في دراسة تأثير التداخل بين شبكات WBANs نظراً لوجودها داخل منطقة محددة، وتحسين موثوقية وإنتاجية النظام. وتتجلى أهمية البحث أيضاً في تحسين الأداء وجودة الخدمة من خلال السماح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة. بغية تحقيق الهدف المطلوب تم اقتراح خوارزمية لتخفيف التداخل بين شبكات WBAN المجاورة كما تم دراسة البروتوكولات IEEE802.15.6 متعدد القنوات و IEEE802.15.4 التقليدي والمقارنة بينهما من حيث مجموعة من مقاييس الأداء.

3- طرائق البحث ومواده

3-1 البروتوكول IEEE 802.15.4

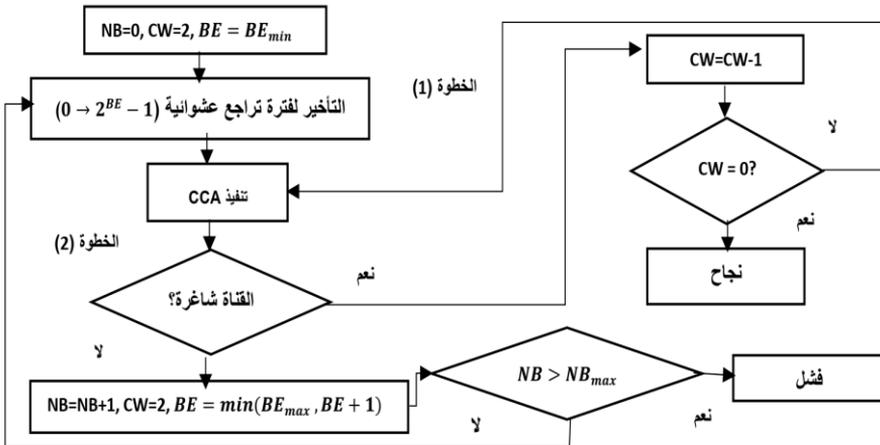
يعتبر IEEE 802.15.4 التقنية اللاسلكية التقليدية لشبكات WBAN [8].



الشكل (1): بنية الإطار للبروتوكول IEEE 802.15.4 [8]

يتم إدارة الوصول إلى القناة من خلال الإطار (superframe) الموضح في الشكل (1)، والذي يتكون من جزء غير نشط (inactive) يسمح للعقد بالذهاب إلى وضع النوم؛ بينما ينقسم الجزء النشط إلى فترتين: فترة الوصول بالتنافس Contention Access Period

(CAP)، وفيها يتم استخدام تقنية (CSMA/CA)، وفترة عدم التنافس Contention (CFP) Free Period، حيث يتم تخصيص حيزات زمنية للعقد من قبل المنسق. تتم تهيئة المتغيرات NB و CW و BE إلى 0 و 2 و BE_{min} على التوالي كما يوضح الشكل (2) حيث NB هو عدد مرات التراجع، CW هو حجم نافذة الازدحام و BE هو Backoff Exponent. عند استقبال المنارة، يتم تأخير أي نشاط لعدد من فترات التراجع ضمن المجال $(0 \rightarrow 2^{BE} - 1)$. ثم يتم إجراء تحسس للقناة، إذا تم تقييمها على أنها مشغولة، يتم ضبط CW على $2 \times NB$ وزيادة NB و BE بمقدار 1، بحيث $BE \leq BE_{max}$. إذا كانت قيمة NB أقل من NB_{max} ، تعود الخوارزمية إلى الخطوة (1)؛ وإلا لن تنجح العقدة في الوصول إلى القناة. إذا تم تقييم القناة على أنها شاغرة، يتم تقليل CW بمقدار 1. إذا كانت $CW > 0$ ، تعود الخوارزمية إلى الخطوة (2)؛ وإلا يبدأ الإرسال [8].



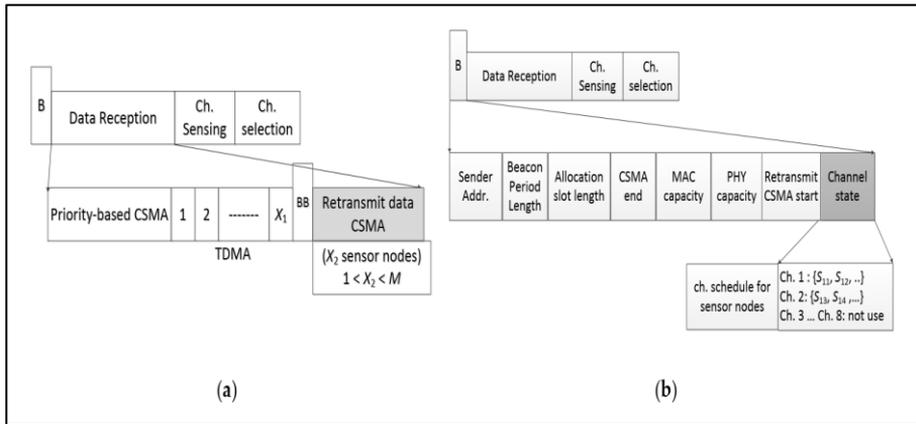
الشكل (2): خوارزمية CSMA/CA الخاصة بالبروتوكول IEEE802.15.4

3-2 البروتوكول IEEE 802.15.6 متعدد القنوات

تم اقتراح استخدام البروتوكول (IEEE802.15.6) MAC متعدد القنوات لتخفيف التداخل بين شبكات WBANS [9]. يوضح الشكل (3) الإطار الخاص بهذا المعيار والذي يتضمّن رسالتين منارة (B, BB)، الجزء CSMA/CA القائم على الأولوية، الجزء TDMA للأولويات المنخفضة والجزء CSMA/CA لإعادة إرسال الرزم المفقودة. يتم استخدام هذا الإطار للتكيف مع نقل البيانات ذات الأولويات المختلفة بالإضافة إلى تبادل

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

الرسائل بين شبكات WBANS واختيار القنوات. يتم إرسال أول رزمة منارة في بداية الإطار من قبل المنسق كما هو موضح في الشكل (3-b). في الحقل (Channel-state)، يقوم المنسق ببث قائمة قنوات البيانات إلى عقد الحساسات بالإضافة إلى القنوات التي لا يمكن لهذه العقد استخدامها. في الحقل المخصص لاستقبال البيانات كما يوضح الشكل (3-a)، تستخدم تقنيات الوصول إلى الوسط CSMA/CA و TDMA، حيث أنه في الجزء CSMA/CA، يمكن فقط للمستخدمين ذي الأولوية العالية الوصول إلى القناة، بينما تصل العقد الأخرى إلى القناة في الجزء TDMA. في حالة الرزم المفقودة، يقوم المنسق ببث رسالة منارة ثانية تسمى BB بعد الجزء TDMA. تتكون رسالة المنارة الثانية من قائمة العقد التي تحتاج إلى إعادة الإرسال حيث يمكن للعقد التي فقدت الرزم إعادة إرسالها في الجزء المخصص من الإطار بالاعتماد على تقنية CSMA/CA [9].



الشكل (3): بنية الإطار للبروتوكول IEEE 802.15.6 متعدد القنوات a- الإرسال بين شبكات WBANS ؛ b- رسالة المنارة [9]

3-2-1 تخفيف التداخل بين شبكات WBANS

بفرض أن شبكات WBANS تعمل على طيف مكون من K قناة، ومن بين مجموعة القنوات هذه، توجد قناة مشتركة لتبادل الرسائل بين منسقات شبكات WBANS و ($K - 1$) قناة للإرسال داخل شبكة WBANS. تضم كل شبكة WBANS قناة تحكم واحدة و

M_{DATA} قناة بيانات، حيث يتم استخدام قناة التحكم لإرسال رزم المنارة وإشعارات الوصول (ACK) من المنسق إلى عقد الحساسات، بينما يتم استخدام قناة البيانات لنقل المعلومات التي تم جمعها من عقد الحساسات إلى المنسق [9]. تعطى خوارزمية تخفيف التداخل كما هو موضح في الشكل (4)، حيث يتحسس كل منسق القناة بالاعتماد على قيمة $SINR$ من خلال الكشف عن مستوى الطاقة ومن ثم ينشئ قائمة من القنوات المتاحة لديه (IdleCh) ويقوم بتبادل قائمة القنوات هذه مع جيرانه على بعد قفزة واحدة [9]. في حالة وجود أي منسق مجاور له نفس قائمة القنوات الشاغرة، فسيتبادل المنسق الرسائل للعثور على قنوات أخرى حيث يتم التحقق من مستوى التداخل وتحسب كل شبكة WBAN قيمة الأولوية وفق العلاقة [9]:

$$Pval_i = \frac{\Delta C_i}{C_{max}} \times \frac{\Delta TI_i}{\Delta T} \quad (1)$$

حيث: ΔT إجمالي زمن التشغيل، ΔTI_i عدد الإطارات المتداخلة، C_i معدل الاتصالات داخل القناة خلال ΔT ، C_{max} المعدل الكلي للقناة.

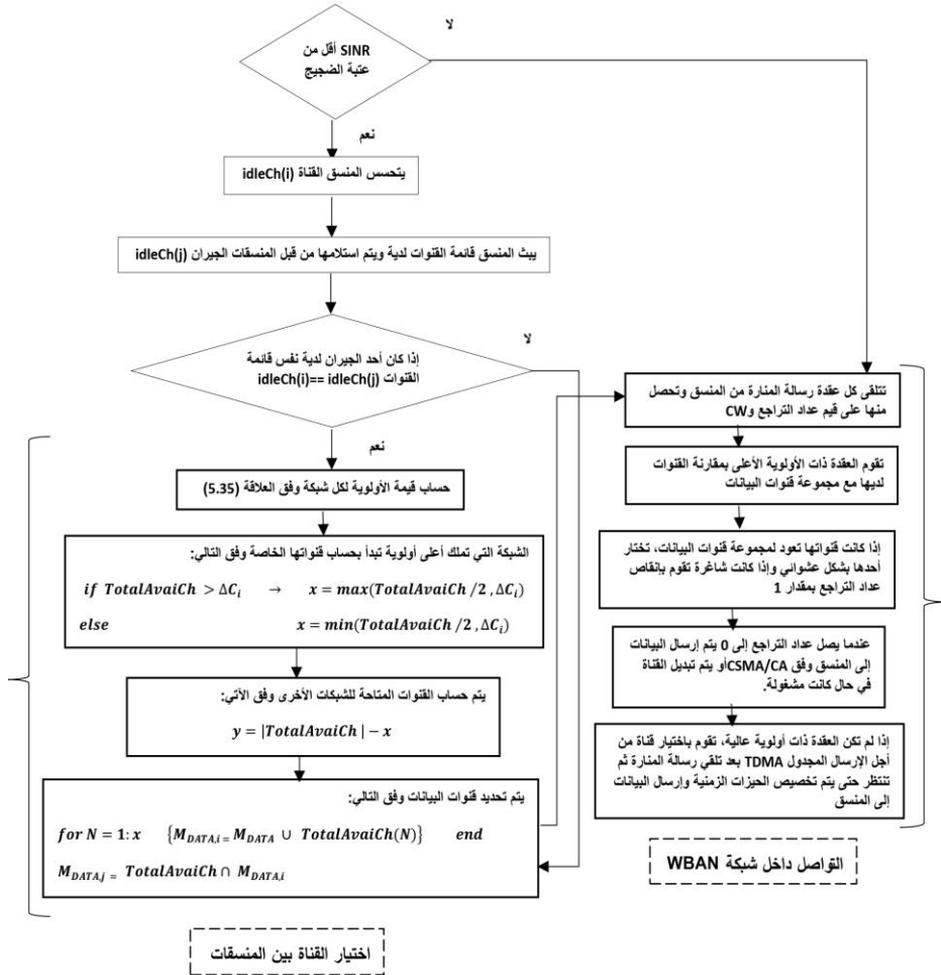
يكون لشبكة WBAN التي تملك أكبر قيمة ($Pval$)، أولوية أعلى للوصول إلى القنوات المتاحة، حيث يتم مقارنة العدد الكلي للقنوات (Total Available Channel) مع المعدل ΔC_i ، ثم حساب عدد القنوات المتاحة للشبكة الحالية. ومن ثم تحصل شبكات WBAN الأخرى على قنواتها، وأخيراً يتم حساب قنوات البيانات لكل شبكة WBAN كما توضح خوارزمية تخفيف التداخل (اختيار القناة بين المنسقات) [9].

عندما تعثر شبكة WBAN على مجموعة قنوات البيانات الخاصة بها والتي لا تتداخل مع الجوار، يبدأ الاتصال داخل شبكة WBAN كما تبين الخوارزمية (التواصل داخل شبكة WBAN) [9]، حيث تتلقى العقدة رسالة المنارة من المنسق، وتحدد قيمة عداد التراجع (backoff_counter) وقيمة نافذة الازدحام CW. تحصل العقدة ذات الأولوية الأعلى على قناة البيانات ويتم تقليل عداد التراجع بمقدار 1 إذا كانت القناة شاغرة، وعندما يصل العداد إلى القيمة 0 يتم إرسال رزم البيانات إلى المنسق بالاعتماد على CSMA/CA، بينما ترسل العقدة ذات الأولوية المنخفضة البيانات في الحيزات

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات
IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات

المخصصة لها من قبل المنسق بالاعتماد على TDMA. في حالة فشل الإرسال، تقوم العقدة بتجميع البيانات ومن ثم ترسل رزمة واحدة تحتوي على البيانات المفقودة بالإضافة إلى جميع البيانات التي تم إنشاؤها وعدم إرسالها، وتنتظر رسالة المنارة الثانية، وتكرر الخطوات السابقة من الخوارزمية في الجزء CSMA/CA الخاص بإعادة الإرسال.

لتجنب التصادم في المجال الزمني، يتحسس كل منسق قناة التحكم قبل إرسال المنارة وتظل العقدة مستيقظة للاستماع إليها. بعد تلقي الرسالة، تكون العقدة على علم بقناة البيانات وجدولة TDMA ويتم إيقاف الراديو بعد الإرسال. في نهاية عملية نقل البيانات، يتم تشغيل العقدة للاستماع إلى رسائل (ACK) والمنارة التالية. لذلك، فهو يقلل من الطاقة المستهلكة في التحسس والاستماع للقناة[9].



الشكل (4): خوارزمية تخفيف التداخل بين شبكات WBAN

3-3 تحليل مقاييس الأداء

3-3-1 احتمال الإرسال الناجح

بفرض أنه لدينا N شبكة WBAN وأن كل شبكة تتكون من M عقدة استشعار ومنسق واحد و C قناة. يتم تقسيم كل قناة إلى T حيز زمني وإجمالي الرزم المولدة خلال T حيز زمني هي G رزمة. باعتبار إجمالي عدد دورات العمل (عدد الفترات التي يكون فيها الحساس في الوضع النشط active) لعقد الحساسات هو K دورة وتعطى بالعلاقة [10]:

$$Duty Cycle(k) = 2^{SO-BO} ; \quad 0 \leq SO \leq BO \leq 14 \quad (2)$$

حيث: SO متغير يحدد الفترة النشطة من الإطار (active period)، BO متغير يحدد طول الإطار (length of superframe). يتم حساب عدد الرزم المستلمة بنجاح لدى المنسق وفق العلاقة [9]:

$$P_s = G \times p_s \quad (3)$$

حيث: p_s احتمال استلام الرزمة بنجاح لدى المنسق. يعبر عن عدد الرزم المفقودة من خلال الفرق بين العدد الكلي للرزم ضمن الحيز الزمني (G) وعدد الرزم المستلمة بنجاح (P_s) ويعطى بالعلاقة [9]:

$$Dropped\ Packets(D) = G - P_s \quad (4)$$

يعبر معدل الخطأ في الرزم Packet Error Rate (PER) عن النسبة بين العدد الكلي للرزم المفقودة والرزم المولدة، ويعطى بالعلاقة [11]:

$$PER = \frac{Dropped\ Packets}{Generated\ Packets} \times 100\% = \frac{D}{G} \times 100\% \quad (5)$$

في حالة الإرسال داخل شبكة WBAN، يحدث التصادم عندما ترسل عقدتان الرزم في وقت واحد عبر القناة نفسها عند الحيز الزمني t_i ، وبالتالي يعطى احتمال الإرسال الناجح عند الحيز t_i عندما تكون القناة شاغرة وفق الآتي [9]:

$$p_{s,i}^k = p_{idle}^k \times p_s(t_i) \quad (6)$$

حيث: $p_{s,i}^k$ هو احتمال استلام الرزمة بنجاح لدى المنسق من أجل دورة عمل k ، p_{idle}^k هو احتمال وجود القناة شاغرة من أجل دورة عمل k ، $p_s(t_i)$ هو احتمال الإرسال الناجح في الحيز الزمني t_i . يتم تمثيل $p_s(t_i)$ من خلال برنولي (Bernoulli trial) وذلك عندما تحاول عقدة أخرى نقل الرزم، ويعبر عنه بالعلاقة [9]:

$$p_s(t_i) = p_i \binom{M}{1} q(1-q)^{M-1} \quad (7)$$

حيث: q هو احتمال أن تقوم العقدة باستشعار نجاح للقناة، M عدد عقد الحساسات في كل شبكة، p_i احتمال أن ترسل العقدة الرزم في الحيز t_i . تعطى q و p_i وفق الآتي [9]:

$$q = \frac{1}{CW} \quad , \quad p_i = \frac{1}{T} \quad (8)$$

حيث: \bar{T} عدد الحيزات الزمنية في كل قناة، CW حجم نافذة الازدحام. وبالتالي، يعطى احتمال الإرسال الناجح من أجل K دورة عمل بالعلاقة [9]:

$$p_s = \sum_{K=1}^K p_s^k = \sum_{K=1}^K \sum_{i=1}^T p_{idle}^k p_i \binom{M}{1} q(1-q)^{M-1} \quad (9)$$

3-3-2 الإنتاجية وزمن الإرسال

يتم قياس الإنتاجية بواسطة عدد الرزم المستلمة بنجاح في الوقت المحدد، ويُعرّف زمن الإرسال بأنه إجمالي الزمن اللازم لإرسال الرزم بما في ذلك زمن التحسس T_s ، زمن إرسال رزم البيانات T_{data} ، زمن استلام الإشعار T_{ack} ، زمن استلام المنارة T_B و T_{BB} ، والتأخير الناجم عن إعادة الإرسال $T_{d,R}$ ، ويعطى بالعلاقة [9]:

$$T_i = T_s + T_{data} + T_{ack} + T_B + T_{BB} + T_{d,R} \quad (10)$$

وبالتالي، يعطى التأخير الكلي للإرسال كالاتي [9]:

$$T_D = \sum_{i=1}^G T_i \quad (11)$$

ويعبر عن الإنتاجية من خلال النسبة بين الرزم المستلمة بنجاح لدى المنسق ومعدل التأخير الكلي للإرسال في الشبكة [9]:

$$Throughput = \frac{P_S}{T_D} \quad (12)$$

3-3-3 تخامد المسار والطاقة المستهلكة

يعبر تخامد المسار عن التوهين في قدرة الإشارة المستقبلية، والتي يتم إرسالها من قبل المنسق (المرسل) إلى الوحدة الطبية المسؤولة عن المرضى (المستقبل). يقاس التخامد بوحدة الديسبل (db) ويعطى بالعلاقة [12]:

$$pathloss(free\ space) = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (13)$$

حيث: d هي المسافة بين المرسل والمستقبل، و λ طول الموجة.

تعمل شبكة WBAN على مقربة من جسم الإنسان، والذي ينتج عنه تخامد إضافي باعتبار الجسم البشري هو وسط الانتشار بين عقد الحساسات والمنسق مما يؤدي إلى تدهور الأداء بسبب التأثير السلبي للجسم البشري على قناة الانتشار (ظلال الجسم). وبالتالي، يعطى تخامد المسار الكلي بالعلاقة [12]:

$$pathloss = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 + 40 \log \left(\frac{distance}{d} \right)^{3.38} \quad (14)$$

حيث: $distance$ هي المسافة بين عقدتين جيران، و 3.38 هي pathloss exponent للجسم البشري.

تتوزع الطاقة المستهلكة E_C ما بين الطاقة اللازمة للإرسال والاستقبال، والطاقة اللازمة للاستيقاظ من وضع النوم وتقييم القناة وغيرها، وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_C = (E_t + E_r + E_{sw} + E_{wakeup} + E_{bff}) \times PER \quad (15)$$

حيث: PER معدل الخطأ في الرزم، E_{bff} الطاقة المستهلكة أثناء عملية التراجع وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_{bff} = E_s + E_{CCA} \quad (16)$$

حيث: E_{CCA} الطاقة المستهلكة أثناء تقييم القناة على أنها شاغرة أو مشغولة، E_s الطاقة المستهلكة أثناء تحسس الوسط.

تشير E_t إلى الطاقة المستهلكة في الإرسال وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_t = (P_{LO} + P_{PA}) \times t_{tx} \quad (17)$$

حيث: t_{tx} الزمن اللازم لإرسال الرزم، P_{LO} الاستطاعة المستهلكة من قبل دائرة الحساس وعندما يكون الحساس في وضع الإرسال تعطى بالعلاقة [13]:

$$P_{LO} = Supply Voltage \times Transmit Current \quad (18)$$

حيث: *Supply Voltage* هو الجهد المطبق على الدارة ويقاس بوحدة الفولت (V)،
Transmit Current هو تيار الإرسال في الدارة ويقاس بوحدة الملي أمبير
 (mA).

P_{PA} هي الطاقة المستهلكة من قبل المضخم (amplifier) وتعطى بالعلاقة [13]:

$$P_{PA} = 1/\eta \times P_{out} \quad (19)$$

حيث: P_{out} مستوى الاستطاعة الخارجة من المضخم، η الفعالية (power efficiency)

تعتبر E_r عن الطاقة المستهلكة في الاستقبال وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_t = (P_{LO} + P_{RX}) \times t_{rx} \quad (20)$$

حيث: P_{RX} الاستطاعة المستهلكة من قبل المكونات النشطة في دارة الحساس، t_{rx} زمن استقبال الرزم. وعندما يكون الحساس في وضع الاستقبال تعطى P_{LO} بالعلاقة [13]:

$$P_{LO} = \text{Supply Voltage} \times \text{Receive Current} \quad (21)$$

حيث: *Receive Current* هو تيار الاستقبال في الدارة ويقاس بوحدة (mA).

تعتبر E_{wakeup} عن الطاقة المستهلكة أثناء استيقاظ الحساسات وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_{wakeup} = P_{LO} \times t_{st} \quad (22)$$

حيث: t_{st} الزمن اللازم حتى تستيقظ جميع مكونات دارة الحساس.

تشير E_{sw} إلى الطاقة المستهلكة أثناء تبديل الحساس بين وضع الإرسال والاستقبال وتعطى بالعلاقة [13]:

$$E_{sw} = P_{LO} \times t_{sw} \quad (23)$$

حيث: t_{sw} الزمن اللازم للتبديل بين وضع الإرسال والاستقبال.

4-النتائج والمناقشة

تم في هذا الجزء من العمل دراسة تأثير التداخل المحتمل بين شبكات WBANS وإثبات فعالية الآلية المقترحة في تحسين موثوقية وأداء النظام. تم تقييم أداء البروتوكول

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network (WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات

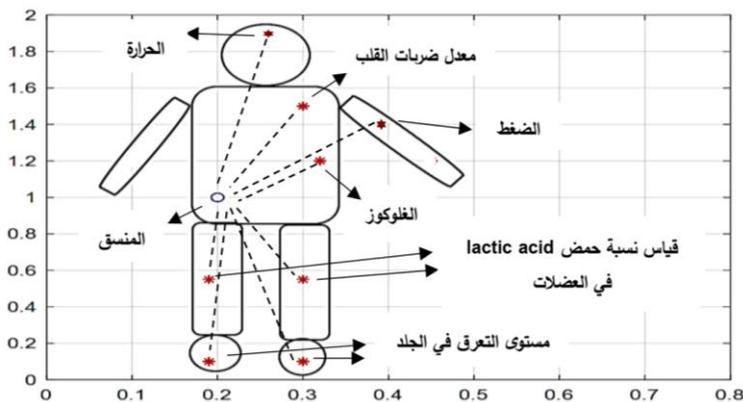
IEEE802.15.6 من خلال عمليات المحاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB(R2018b)، والمقارنة مع أداء البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 من خلال مجموعة من مقاييس الأداء حيث نهدف إلى اشتقاق هذه المقاييس فيما يتعلق بعدد دورات العمل وذلك من أجل سيناريوهات WBAN المتعددة والتي تتضمن زيادة كثافة الشبكة، أي زيادة عدد المرضى حتى 24 مريض (24 شبكة WBANs) ضمن منطقة المحاكاة (جناح في المستشفى) وإظهار إلى أي مدى يمكن للبروتوكول IEEE802.15.6 المحافظة على قيم مقبولة لمقاييس الأداء. تتكون كل شبكة من منسق واحد و 8 عقد حساسات موضحة في الشكل (5)، ويتم تلخيص بارامترات المحاكاة كما هو موضح في الجدول (1).

يتم العمل في النطاق (ISM) (2400-2483.5 MHz)، وبالتالي يكون عرض المجال الترددي (Bandwidth) للنطاق 2.4GHz هو 83.5 MHz والذي يمكن ان يكون مقسم لـ 13 قناة على الأكثر [14].

الجدول (1): بارامترات المحاكاة

| البارامتر | قيمه |
|-------------------------------------|--------------------------|
| عدد شبكات WBANs | 1-24 |
| عدد الحساسات في كل شبكة WBAN | عقدة منسق و 8 عقد حساسات |
| عدد القنوات في كل شبكة WBAN | 5 قنوات |
| عدد القنوات الإجمالي المتاح للشبكات | 13 قناة |
| منطقة المحاكاة | 20 meters×20 meters |
| مجال الإرسال | 4 meters |
| المسافة بين المنسق والعقد | 0.6-1.4 meters |
| معدل البيانات | 250 kbps |
| حجم المنارة | 15 bytes |
| طول الإطار superframe | 100 ms (milli second) |
| زمن تنفيذ CCA | 0.01 ms (milli second) |
| عدد حيزات TDMA في الإطار | 4-6 حيزات |

| | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| 2.4 GHz | التردد |
| 10 رزمة في الثانية | معدل وصول الرزم |
| 17.4 mA (milli Amber) | تيار الإرسال (Transmit Current) |
| 19.7 mA (milli Amber) | تيار الاستقبال (Receive Current) |
| 2 mJ (milli Joule) | الطاقة المستهلكة عند كل تشغيل للقناة |
| 3.3 Volt | الجهد (Supply Voltage) |
| 83.5 MHz | عرض المجال الترددي Bandwidth |

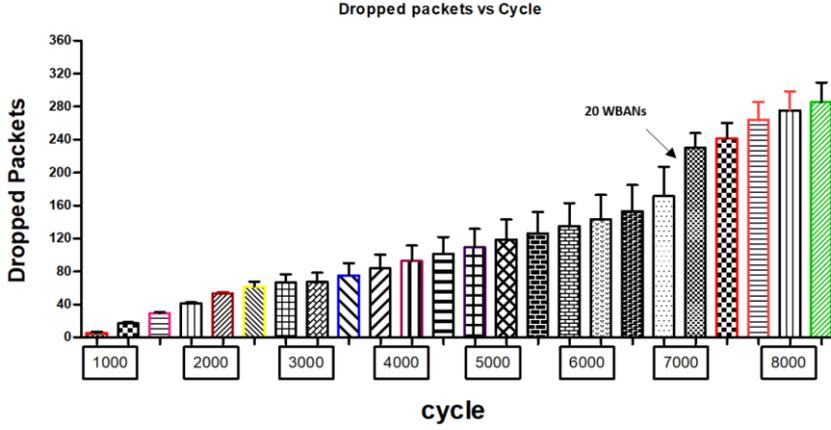


الشكل (5): مواضع عقد الحساسات ضمن الجسم البشري

4-1 معدل الرزم المفقودة في شبكات WBANs

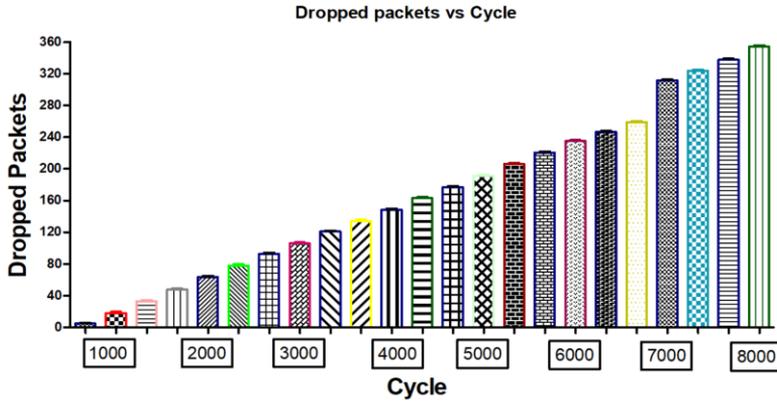
يوضح الشكل (6) إجمالي الرزم المفقودة مع تزايد كثافة الشبكة (حتى 24 WBANs) وذلك من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول IEEE802.15.6 متعدد القنوات. تعبر الأعمدة عن عدد شبكات WBANs ضمن منطقة المحاكاة، بدءاً من العمود الأول الذي يبين وجود شبكة واحدة في منطقة المحاكاة وانتهاءً بالعمود 24 والذي يعبر عن وجود (24 WBANs) ضمن منطقة المحاكاة. يبين الشكل أن عدد الرزم المفقودة منخفض نسبياً حتى كثافة (20 WBANs) تقريباً، مع ازدياد الكثافة (أكثر من 20 WBANs) نلاحظ قفزة وارتفاع كبير في عدد الرزم المفقودة.

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6 متعدد القنوات



الشكل (6): عدد الرزم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول IEEE802.15.6

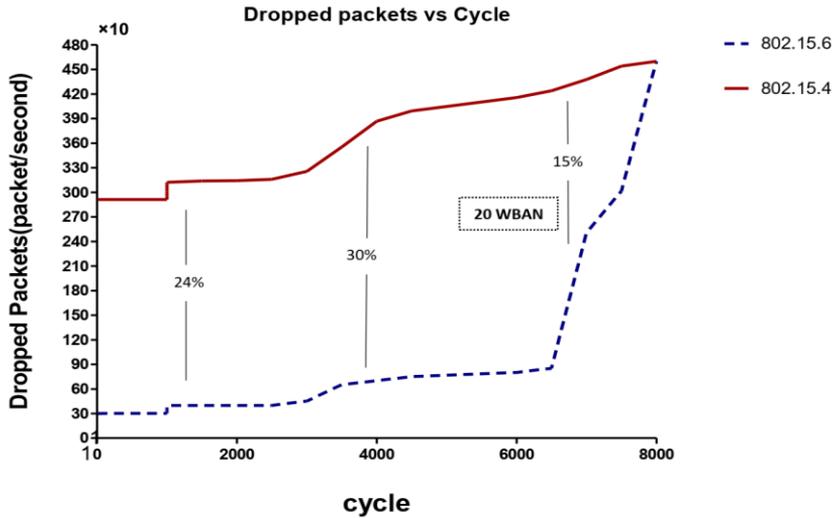
يوضح الشكل (7) إجمالي الرزم المفقودة مع تزايد كثافة الشبكة (حتى 24 WBANs) وذلك من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول التقليدي IEEE802.15.4 حيث يبين الشكل أن عدد الرزم المفقودة يزداد بشكل كبير مع تزايد عدد شبكات WBANs ضمن منطقة المحاكاة.



الشكل (7): عدد الرزم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام البروتوكول IEEE802.15.4

لتفسير النتائج السابقة بشكل أوضح، يبين الشكل (8) المخطط البياني لعدد الرزم المفقودة الموضحة في العلاقة (4) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من

IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يكون عدد الرزم المفقودة كبيراً في حالة البروتوكول التقليدي لأن العقدة سوف تنتظر عدد من فترات التراجع عندما تكون القناة مشغولة بينما نرى انخفاضاً واضحاً في عدد الرزم المفقودة في حالة البروتوكول IEEE802.15.6 بسبب خوارزمية تخفيف التداخل المقترحة، ويلاحظ أنه سيتم إعادة إرسال أي رزم مفقودة في الجزء المخصص لها من الإطار. لكن هذا الانخفاض يكون حتى كثافة 20 WBANs، مع تزايد عدد الشبكات (تزايد عدد الحساسات التي تكون في الوضع النشط) يزداد عدد دورات العمل لعقد الحساسات، وبالتالي يزداد فقدان الرزم بشكل كبير حتى يقارب قيم البروتوكول التقليدي. يعود السبب في ذلك إلى أن عدد القنوات لكل شبكة WBAN هو 4 بينما يبلغ عدد القنوات الإجمالية المتاحة للشبكات 13 قناة كما يوضح الجدول (1). وبالتالي، أكثر من شبكة WBAN تحتاج لإعادة استخدام القناة، مما أدى إلى فقدان الرزم لدى المنسق.

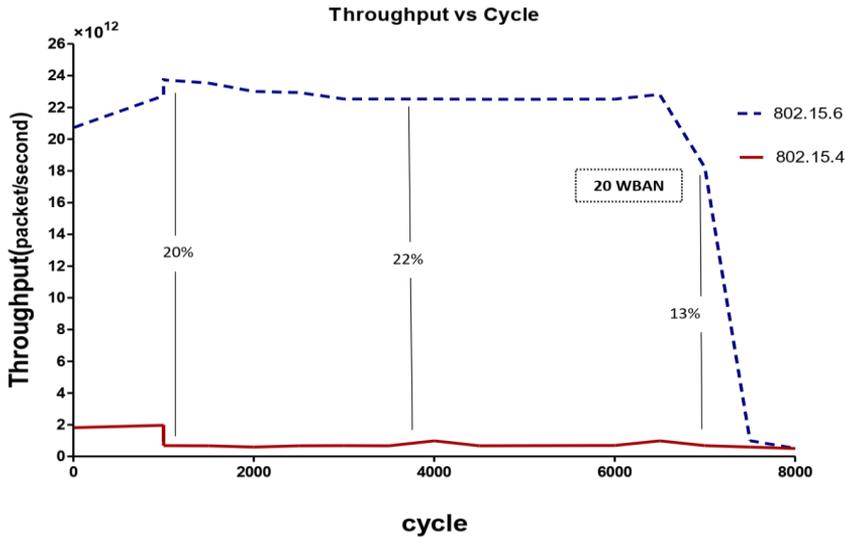


الشكل (8): إجمالي الرزم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من

IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

4-2 معدل الإنتاجية في شبكات WBANs

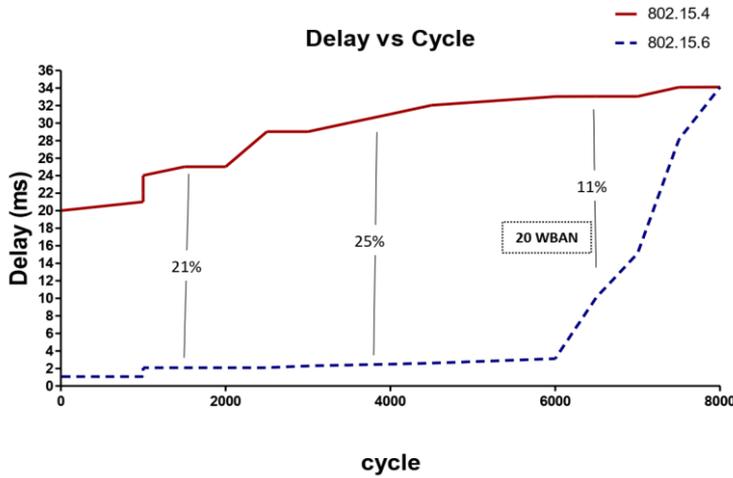
يوضح الشكل (9) المخطط البياني لمعدل الإنتاجية الموضح في العلاقة (12) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل ارتفاعاً في قيم الإنتاجية عند استخدام البروتوكول متعدد القنوات يقابله انخفاض ملحوظ للقيم في حالة البروتوكول التقليدي وذلك مع تزايد كثافة الشبكة حتى 20 WBANs، ويفسر ذلك بأنه في البروتوكول متعدد القنوات ترسل العقدة البيانات الطارئة في الجزء CSMA من الاطار؛ إذا كانت القناة مشغولة، فستتحول العقدة إلى قناة أخرى بينما في البروتوكول التقليدي عندما يكون الوسط مشغولاً، تقفل العقدة عداد التراجع وتنتظر حتى تصبح القناة شاغرة. عندما تتجاوز الكثافة الـ 20 شبكة، تنخفض الإنتاجية بشكل كبير في حالة البروتوكول IEEE802.15.6 لقيم قريبة نسبياً من البروتوكول التقليدي نظراً لأن أي عمليات إرسال فاشلة سيتم إعادة إرسالها في الجزء CSMA، وبالتالي ستحتل البيانات الطارئة القناة بينما يتعين على البيانات المجدولة الانتظار لأنها ترسل في الجزء TDMA دون تبديل القناة.



الشكل (9): معدل الإنتاجية من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

3-4 معدل التأخير في شبكات WBANs

يوضح الشكل (10) المخطط البياني لمعدل التأخير الموضح في العلاقة (10) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل قيمةً منخفضةً للتأخير عند استخدام البروتوكول المقترح مع تزايد الكثافة حتى 20 WBANS، لأنه كما ذكرنا سابقاً تقوم العقدة بتبديل القناة عندما تجد الوسط مشغولاً كما يتم إعادة إرسال الرزم الفاشلة في الجزء المخصص من الإطار بالاعتماد على CSMA/CA، يقابلها ازدياد في التأخير في حالة البروتوكول التقليدي نتيجة انتظار العقد للحصول على القناة الشاغرة. عندما يتجاوز عدد WBANS الـ 20 شبكة، يرتفع التأخير بشكل كبير في حالة البروتوكول المقترح لقيم قريبة نسبياً من البروتوكول التقليدي لأنه مع ازدياد الكثافة يزداد عدد الرزم المفقودة بسبب الحاجة لإعادة استخدام القنوات من قبل بعض شبكات WBANS.

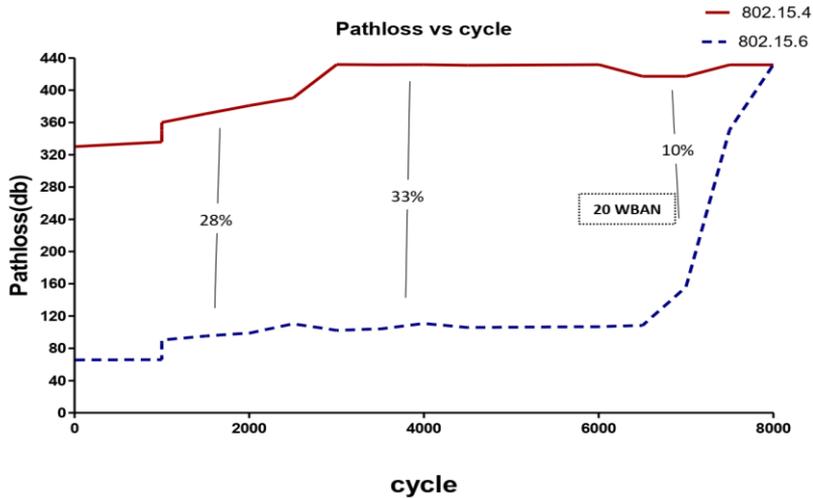


الشكل (10): معدل التأخير من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

4-4 معدل تخادم المسار في شبكات WBANS

يوضح الشكل (11) المخطط البياني لتخادم المسار الموضح في العلاقة (14) من أجل عدد من دورات العمل وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل أن قيم التخادم في حالة البروتوكول متعدد

القنوات أقل منها عند اعتماد البروتوكول التقليدي وذلك مع تزايد عدد WBANS حتى 20 شبكة، وذلك بسبب خوارزمية التواصل المقترحة حيث في حالة فقد رزمة بسبب مشكلات الاتصال الناتجة عن تأثير ظلال الجسم، فإن إعادة إرسالها مباشرة غير مجدية كما في حالة البروتوكول التقليدي، لأن القناة ستكون على الأرجح في نفس الظروف بسبب حركات الجسم البطيئة، بالتالي تقوم العقدة بتجميع البيانات وإرسال رزمة واحدة تحتوي على البيانات المفقودة. يزداد تخامد المسار من أجل IEEE802.15.6 مع ازدياد كثافة الشبكة (أكثر من 20 WBANS) ويلامس قيم التخامد للبروتوكول التقليدي بسبب ازدياد تأثير ظلال الجسم نتيجة زيادة عدد المرضى ضمن منطقة المحاكاة وارتفاع قيم التأخير والرزم المفقودة مما يؤثر على عملية تجميع البيانات.



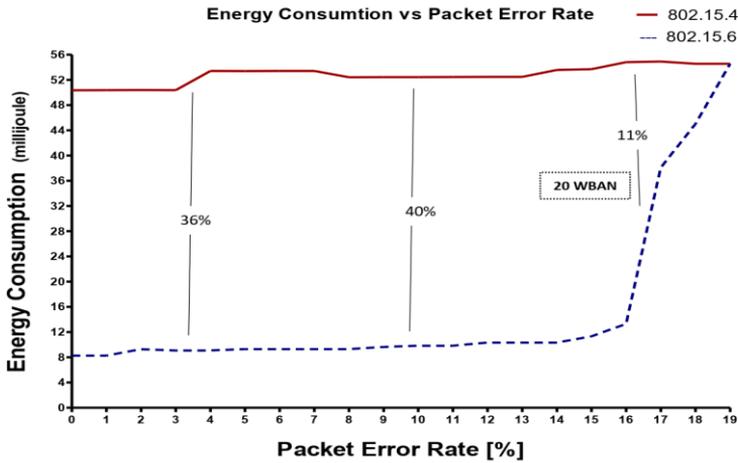
الشكل (11): تخامد المسار من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من

IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

4-5 معدل الطاقة المستهلكة في شبكات WBANS

يوضح الشكل (12) المخطط البياني لمعدل الطاقة المستهلكة الموضح في العلاقة (15) من أجل نسب مختلفة من معدل الخطأ في الرزم وذلك عند استخدام كل من IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4، حيث يبين الشكل انخفاضاً في استهلاك الطاقة عند استخدام البروتوكول متعدد القنوات مع تزايد كثافة الشبكة حتى 20 WBANS، لأنه

بعد تلقي رسالة المنارة يتم إيقاف الراديو الخاص بالعقدة وفي نهاية الإرسال، يتم إعادة تشغيله للاستماع إلى رسائل ACK والمنارة. بالمقابل يكون لدينا استهلاك طاقة كبير في حالة البروتوكول IEEE802.15.4 ناتج عن الاستماع الزائد overhearing والتصادمات التي تجعل عمليات إعادة الإرسال ضرورية. من ناحية أخرى، يزداد إجمالي استهلاك الطاقة في الإرسال والاستقبال مع زيادة عدد شبكات WBAN (أكثر من 20) في حالة البروتوكول المقترح لتقارب قيم البروتوكول التقليدي وذلك بسبب زيادة عدد رزم التحكم، لأن المفاوضات بين شبكات WBAN تعتبر الخطوة الضرورية التي تساعد المنسق في التعرف على الشبكة والبيئة.



الشكل (12): معدل الطاقة المستهلكة من أجل نسب مختلفة من معدل الخطأ في الرزم عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

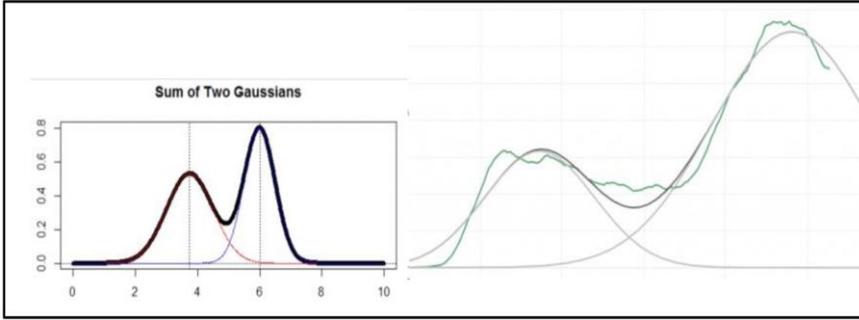
4-6 نموذج مجموع توزيعين غاوسيين sum of two gaussian

هو عبارة عن مزيج خطي لاثنتين من توابع غاوس (Mixture of Gaussians) كما هو موضح في الشكل (13)، ويعبر عنه بالعلاقة:

$$g(x) = y_1(x) + y_2(x) \quad ; \quad y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (24)$$

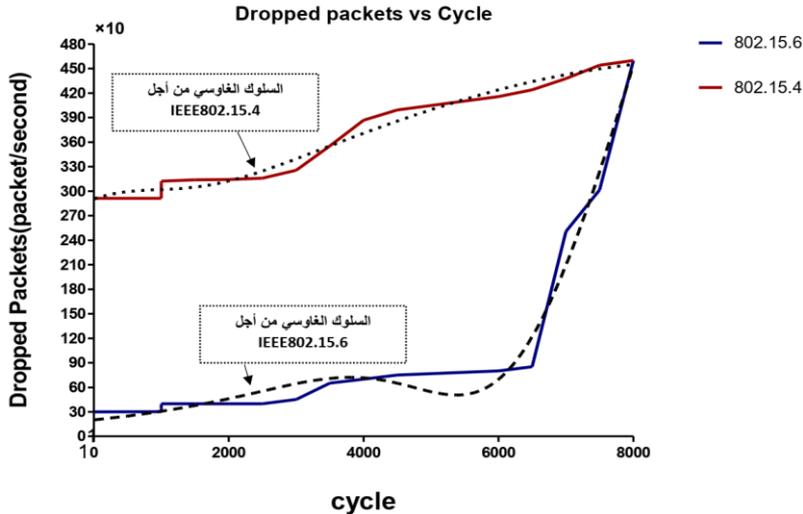
حيث: $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ المطال، μ المتوسط، σ الانحراف المعياري.

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات

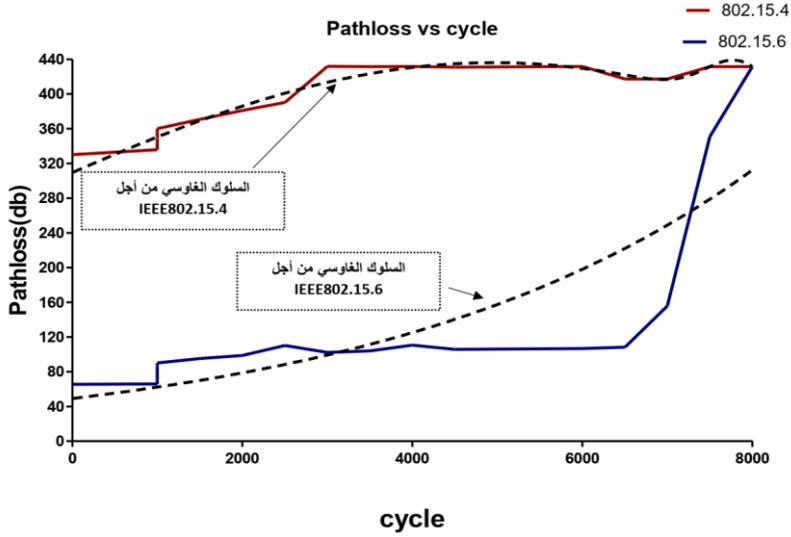


الشكل (13): مجموع توزيعين غاوسيين sum of two gaussian [15]

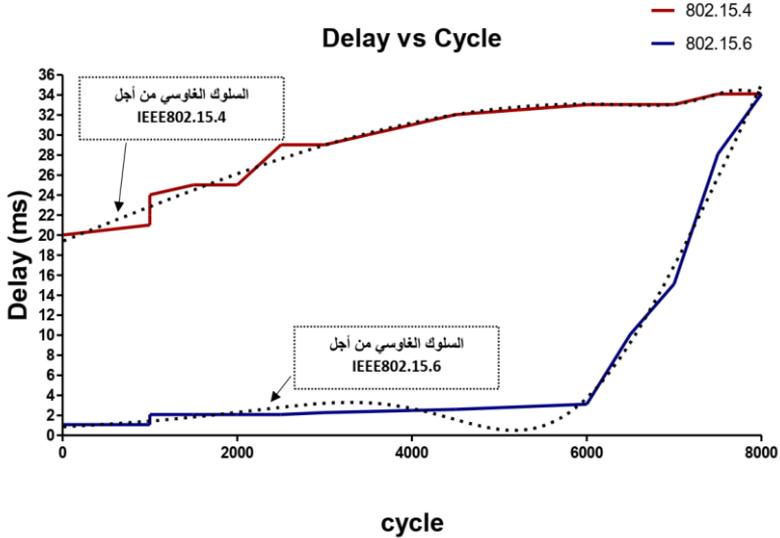
إن الهدف من دراسة هذا النموذج هو إثبات أن المخططات البيانية لمقاييس الأداء ليست عشوائية إنما يتقارب سلوكها مع سلوك التوزيع الاحتمالي لمجموع تابعين غاوسيين، ويعود السبب في ذلك إلى نظرية الحدود المركزية والتي تشير إلى أن أي كمية مادية تتضمن مجموع عدد من العمليات المستقلة تتبع توزيع Gaussian. على سبيل المثال، في إطار نمودجي لمتابعة المرضى، هناك عدة مصادر محتملة للأخطاء؛ خطأ في إدخال البيانات، خطأ في قياس الإشارات الحيوية، حيث من المرجح أن يتبع التأثير التراكمي لجميع أشكال الخطأ هذه التوزيع الغاوسي [15].



الشكل (14): السلوك الغاوسي للرزيم المفقودة من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

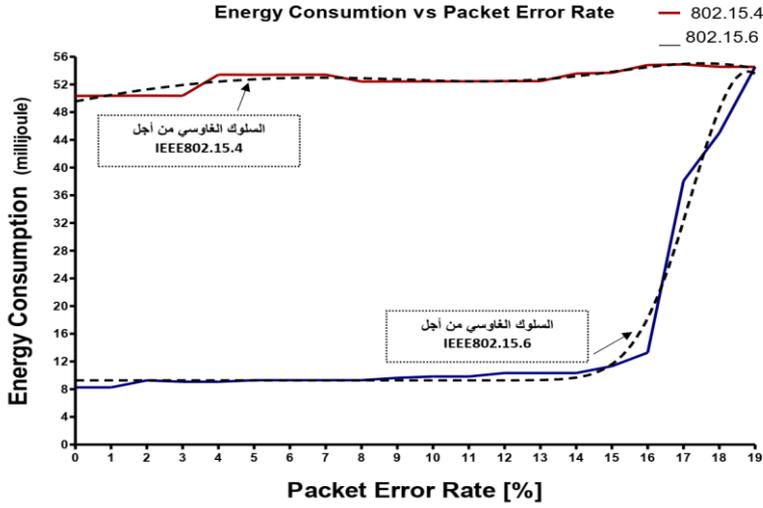


الشكل (15): السلوك الغاوسي لتخامد المسار من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

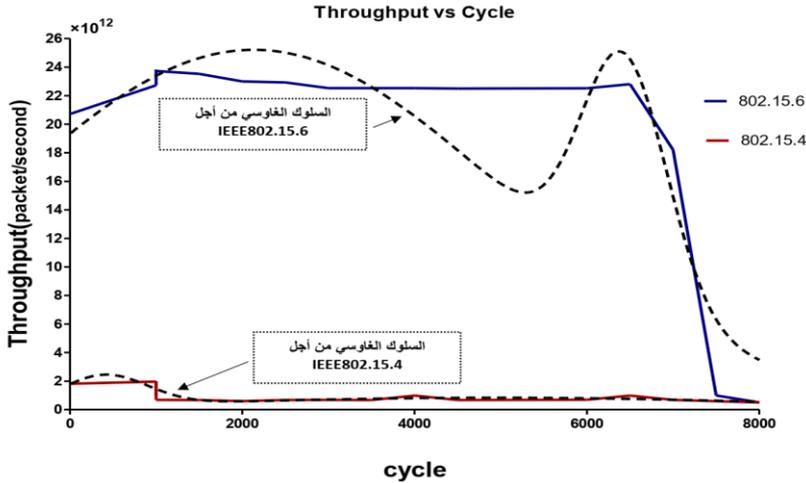


الشكل (16): السلوك الغاوسي لمعدل التأخير من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

تخفيف التداخل بين شبكات Wireless Body Area Network(WBAN) بالاعتماد على تقنيات IEEE802.15.6 و IEEE802.15.4 متعدد القنوات



الشكل (17): السلوك الغاوسي للطاقة المستهلكة من أجل نسب مختلفة من معدل الخطأ في الرزم عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6



الشكل (18): السلوك الغاوسي لمعدل الإنتاجية من أجل عدد من دورات العمل عند استخدام كل من IEEE802.15.4 و IEEE802.15.6

5-الاستنتاجات والتوصيات

1- اعتمد البحث في استخدام النهج المتبع على الانطلاق من نقاط الضعف الأساسية في الدراسات السابقة، والتي كانت تحاول اعتماد أساليب تتطلب المزامنة بين شبكات WBANs

وتبادل معلومات إضافية مما يؤثر سلباً على جودة الخدمة.

2- تضمن العمل دراسة المعيار IEEE802.15.4 والذي يعتبر التقنية اللاسلكية التقليدية لشبكات WBAN، كما تم اقتراح استخدام المعيار IEEE802.15.6 متعدد القنوات والذي يسمح بالإرسال المتعدد للبيانات في وقت واحد عبر قنوات مختلفة، بالإضافة إلى ذلك، تم اقتراح خوارزمية لتخفيف التداخل بين شبكات WBAN.

3- للتأكد من فعالية النهج المتبع قمنا بإجراء محاكاة باستخدام البيئة البرمجية MATLAB، ويمكن أن نجل الاستنتاجات التي توصلنا إليها وفق ما يلي:

a- في حالة تزايد كثافة الشبكة حتى WBAN 20، بين المعيار متعدد القنوات تناقصاً في قيم الرزم المفقودة، التأخير، تخامد المسار، الطاقة المستهلكة وارتفاعاً في قيم الإنتاجية بالمقارنة مع البروتوكول التقليدي، ويعود ذلك إلى خوارزمية تخفيف التداخل المقترحة، حيث تتحول العقدة إلى قناة أخرى عندما تجد الوسط مشغولاً، بينما في المعيار التقليدي تقفل العقدة عداد التراجع وتنتظر حتى يصبح الوسط شاغراً.

b- عندما تزايد كثافة الشبكة لأكثر من WBAN 20، أظهر النهج المتبع قيماً غير مقبولة لمقاييس الأداء تتقارب إلى قيم البروتوكول التقليدي، نظراً للحاجة إلى إعادة استخدام القناة، كذلك أي عمليات إرسال فاشلة للرزم ذات الأولوية سيتم إعادة إرسالها في الجزء CSMA/CA، وبالتالي يتعين على البيانات ذات الأولوية المنخفضة الانتظار حتى نهاية الإرسال لأنها ترسل في الجزء TDMA دون تبديل القناة.

c- يتبع سلوك مقاييس الأداء شكلاً تقريبياً لمجموع تابعين غاوسيين ويرجع هذا السلوك إلى نظرية الحدود المركزية والتي تشير إلى أن مجموع عدد من المتغيرات العشوائية، بغض النظر عن التوزيع الذي تنتمي إليه في الأصل، يتقارب مع التوزيع الغاوسي.

ومن التوصيات المستقبلية:

- تحسين خوارزمية العمل المتبعة بحيث تحافظ على جودة الأداء مع ازدياد الكثافة
لأكثر من 20 WBANs.

6- المراجع

- [1] Filipe, L.; Fdrex-Riverola, F.; Costa, N.; Pereira, A. **2015**, Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications, International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 11. 21-37.
- [2] Sarra, E.; Benayoune, S.; Mouncla, H.; Mehaoua, A. **2014**, Coexistence improvement of wearable body area network (WBAN) in medical environment. international conference on communications (ICC), pp. 5694-5699.
- [3] Sarra, E.; Ezzedine, T. **2016**, Performance improvement of the wireless body area network (WBAN) under interferences, international conference on e-health networking IEEE, pp. 1-6.
- [4] Astrin, A. **2012**, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.6: Wireless Body Area Networks, Institute of Electrical Engineer (IEEE), vol. 112. 169-174.
- [5] Liu, B.; Yan, Z.; Chen, C. **2017**, Medium Access Control for Wireless Body Area Networks with QoS Provisioning and Energy Efficient Design, IEEE transactions on mobile computing, vol. 16. 422-434.
- [6] Alkubaily, M. **2020**, Study the Effectiveness of Patient's Monitoring in Hospitals Using Wireless Body Sensor Networks, Tishreen University Journal –Engineering Sciences Series, vol. 42. no. 3.
- [7] Wei, Z.; Sun, Y.; Ji, Y. **2017**, A Study on Coexistence Capability Evaluations of the Enhanced Channel Hopping Mechanism in WBANs, Sensors, vol. 17. 1-51.
- [8] Adappa, A. S.; Kumar, K. D.; Boyapati, A. **2019**, Implementation of unslotted and slotted CSMA/CA for 802.11 and 802.15.4 protocol, In Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), pp. 1-7.
- [9] LE, Thien Thi Thanh; MOH, Sangman. **2018**, Hybrid multi-channel MAC protocol for WBANs with inter-WBAN interference mitigation, Sensors, vol. 18. 13-73.
- [10] Huynh, D. T.; Chen, M. **2016**, An energy efficiency solution for WBAN in healthcare monitoring system, International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), pp. 685-690.

- [11] Cavallari, R.; Martelli, F.; Rosini, R.; Buratti, C.; Verdone, R. **2014**, A Survey on Wireless Body Area Networks: Technologies and Design Challenges, IEEE communications surveys & tutorials, vol. 16. no. 3.
- [12] Nahali, A.; Hamdi, A.; Gautier, M.; Courtay, A.; Braham, R. **2019**, Energy Modeling of Wireless Body Area Networks with On-Body Communication Channel Characterization, International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), pp. 220-225.
- [13] Biswas, S.; Roy, S. D.; Chandra, A. **2019**, Cross-layer energy model for beacon-enabled 802.15. 4 networks. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, vol. 10. 4209-4224.
- [14] Li, C.; Zhang, B.; Yuan, X.; Ullah, S.; Vasilakos, A.V. **2018**, MC-MAC: A Multi-channel Based MAC Scheme for Interference Mitigation in WBANs, Wireless Network, vol. 24. 719-733.
- [15] Kabal, P. **2019**, Generating Gaussian Pseudo-Random Variates, Technical Report, Dept. Electrical & Computer Engineering, McGill University. Vol.12. 41pp.

تصميم متحكم يعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر

الدكتور عباس صندوق *

الدكتور غيث ورقوزق **

المهندس معنز دبلو ***

الملخص:

يقدم البحث منهجية جديدة للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر باستخدام متحكم يعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة، وذلك باستخدام المقطع الخافض /Buck-Converter/، لمعرفة فاعلية المتحكم المقترح في التحكم بسرعة محرك تيار المستمر، تم مقارنته بمتحكم /PI/، يعتمد المتحكم المقترح على شبكة عصبونية عائمة تعالج إشارة خطأ السرعة الزاوية للمحرك ومشتقتها وذلك للتحكم بالجهد المغذي للمحرك.

الكلمات المفتاحية:

نظام القدرة الكهربائية، محرك التيار المستمر، الشبكات العصبونية العائمة /ANFIS/، الذكاء الصناعي (AI)، المقطع الخافض للجهد /Buck Converter/، /PI/.

* استاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

** استاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

*** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

Design Controller depend in his work on Neural Fuzzy Networks to Control DC Motor's Speed

Dr. Abbas Sandok*

Dr. Ghaith Warkozek **

Eng. Moataz Dablo ***

Abstract:

The Research Presents a New Methodology for Controlling DC Motor's Speed by using Controller Depends on an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, using buck converter, to see The Effectiveness of the Proposed Controller in Controlling The Speed of a Dc Motor, Compared to a PI Controller, The Proposed Controller Depends on an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System That Processes the Angular Velocity Error Signal of the Motor and its Derivative Signal in order to Control the Voltage That Feeds the Motor.

Keywords: Power System, Dc Motor, Electric Power System, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System /ANFIS/, Artificial Intelligence (Ai), Buck Converter /, / PI / .

* Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

** Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

1- مقدمة:

الآلات الكهربائية تشغل دوراً هاماً في شتى مجالات الحياة ، حيث تستعمل في نظام القدرة الكهربائية، على سبيل المثال كمولد في المحطات الكهربائية من أجل الحصول على القدرة الكهربائية ، وكمحرك في المصاعد الكهربائية من أجل الحصول على القدرة الميكانيكية [1] .

يعتبر التحكم بسرعة المحركات من الأمور الغاية في الأهمية وذلك من أجل الأداء الجيد والفعال للآلة، ومن المعروف عند زيادة التحميل على المحرك تقل السرعة وبنخفاض الحمولة تزداد السرعة، من هنا لابد أن يتم التحكم بسرعة المحرك .

إن استخدام الذكاء الصناعي في مجال التحكم من الطرق الجديدة والحديثة [2,10]، وتزيد من الموثوقية وسرعة معالجة وتقلل من الخطأ البشري، من أجل ذلك سنصمم متحكم يعتمد على الشبكات العصبونية العائمة (والتي هي جزء من تطبيقات الذكاء الصناعي) يهدف إلى تحسين استجابة سرعة المحرك عن طريق التحكم بالجهد المطبق على المحرك، يتم تدريب المتحكم على قيم تعتمد على خبرة نظام الخبير، وتؤخذ من أكثر القيم تداولاً للتحكم بالسرعة، وكذلك الحال بالنسبة لقيم المعالجة لهذه التغيرات.

2- هدف البحث:

يتناول دراسة سلوك محرك تيار المستمر وفي هذه الحالة محرك تيار مستمر ذو تهييج دائم، ودراسة استجابة هذا المحرك لتغيرات الحمل عند تطبيق سرعة معينة مرجعية التي من الممكن أن يواجهها المحرك في عمله، وكيفية الحفاظ على استمرارية عمله بجودة ووثوقية عالية.

يهدف البحث إلى مايلي:

1- الاطلاع على عمل الآلات الكهربائية من خلال معرفة طرق التحكم بها ودور التحكم في مخرجات الآلة الكهربائية.

2- دراسة مبدأ عمل الشبكات العصبونية العائمة وطرق نمذجتها.

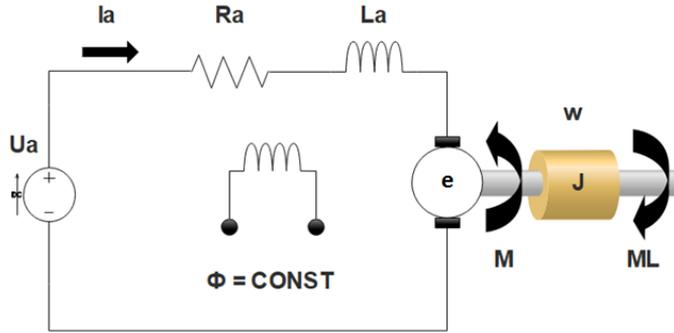
3- إجراء مقارنة بين متحكم /PI/ ومتحكم يعتمد على الشبكات العصبونية العائمة لاختيار الطريقة الأفضل بينهما.

3- مواد وطرق البحث:

لقد اعتمدنا في البحث طريقة النمذجة والمحاكاة لمحرك بوضع النموذج الرياضي لمحرك التيار المستمر ذو التهيج الدائم المدروس باستخدام بيئة الـ SIMULINK في برنامج MATLAB ، وتم الاعتماد على الشبكة العصبونية العائمة لتقوم بعملية التعامل مع اشارة خطأ السرعة الزاوية ومشتقتها ومعالجتهما من أجل التحكم، وقد تمت عملية تدريب الشبكة المقترحة باستخدام برنامج الماتلاب.

3-1- نموذج النظام المدروس:

يظهر الشكل الدارة المكافئة لآلة التيار المستمر ذات تهيج دائم، حيث تتكون من وشيعة المتحرض ومن القوة المحركة الكهربائية كما يبين الشكل (1):



الشكل (1) دارة آلة تيار مستمر ذات تهيج دائم.

من الدارة المكافئة يمكن أن نكتب في الحالة العابرة عند عمل الآلة كمحرك في الربع الأول من خلال العلاقات التالية:

$$U_a = R_a * I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + e \quad (1)$$

$$M = K * I_a : K = C * \phi \quad (2)$$

$$e = K * w \quad (3)$$

$$\Delta w = w_0 - w \quad (4)$$

$$M_S = M - M_L = J \frac{d w}{d t} \quad (5)$$

باصلاح المعادلة رقم (5)

$$\frac{d w}{d t} = \frac{1}{J} * (M - M_L) = \frac{1}{J} * (K * I_a - M_L) \quad (6)$$

$$w = \int \frac{1}{J} * (K * I_a - M_L) dt \quad (7)$$

نعوض بالمعادلة رقم (3)

$$e = K * \int \frac{1}{J} * (K * I_a - M_L) dt \quad (8)$$

وبالتالي المعادلة رقم (8) تمثل معادلة موديل المحرك والتي سنستخدمها للنمذجة لاحقاً.

في الحالة المستقرة يكون:

$$U_a = R_a * I_a + e \rightarrow U_a - e = R_a * I_a \quad (9)$$

حيث :

| | |
|---|-------|
| ثابت الآلة | K |
| الثابت الميكانيكي للآلة | C |
| عزم الآلة - N.m | M |
| عزم الحمولة - N.m | M_L |
| عزم التسارع - N.m | M_S |
| ثابت العطالة - kg.m ² | J |
| السرعة الزاوية على فراغ - rad/sec | w_0 |
| السرعة الزاوية عند نقطة العمل - rad/sec | w |

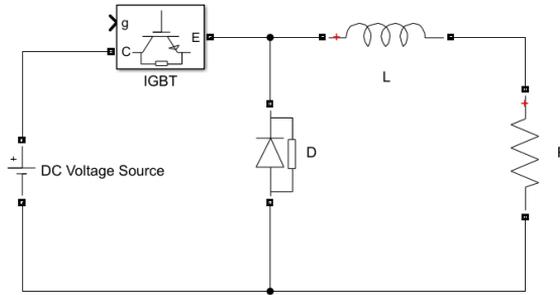
3-2- المقطع الخافض:

يبين الشكل (2) دائرة مقطع خافض للجهد /Buck-Converter/، والتي تتكون من جهد الدخل /DC Voltage Source/ وترانزستور وديود، أما الخرج فيكون من حمولة أومية أو تحريضية أو كلاهما، الهدف من دائرة المقطع هو الحصول على جهد خرج V_{out} أصغر من جهد الدخل V_{in} وقابل للتغير [3]، حيث العلاقة بينهما هي:

$$V_{out} = \frac{t_{on}}{T} * V_{in} = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} * V_{in} = d * V_{in}$$

حيث :

| | |
|---|-----------|
| جهد الدخل - volt | V_{in} |
| جهد الخرج - volt | V_{out} |
| زمن تمرير الترانزستور ، حالة الوصل - sec | t_{on} |
| زمن عدم تمرير الترانزستور، حالة الفصل - sec | t_{off} |
| الدور - sec | T |
| دور العمل / Duty Cycle / | d |



الشكل (2) دائرة مقطع خافض للجهد

3-3- بنية الشبكة العصبونية العائمة (ANFIS) المستخدمة:

هي مزيج من الشبكات العصبونية الاصطناعية والأنظمة العائمة بحيث يتم استخدام خوارزميات الشبكات العصبونية الصناعية لتحديد بارامترات النظام العائم[5].

يكون دخل الشبكة التي لدينا عبارة عن دخلان e_w و e_w حيث e_w هو خطأ السرعة الزاوية لدوران المحرك بين الإشارة المرجعية (المرغوبة) وإشارة خرج النظام الذي لدينا و e_w هي مشتق خطأ السرعة الزاوية، وخرج الشبكة هي Ref إشار مرجعية تقارن مع تيار المتحرض I_a وذلك من أجل نبضات المقطع الخافض للجهد، حيث تم جمع المعطيات من حالات مختلفة للحمولة والمعالجة من قبل متحكم PI تقليدي، تم ضرب مشتق السرعة الزاوية بمعامل تخفيض من أجل أن يتلائم مع دخل المتحكم المذكور أعلاه.

لتصميم هذا النظام في بيئة الماتلاب نقوم بكتابة الكود في برنامج الماتلاب:

```
data = anfis(trainingData)
```

عن طريق هذا الكود يولد نظام /ANFIS/ بنوع تاكاجي-سيجونو [4]، ويعمل الكود على ضبط البارامترات ذاتياً باستخدام معطيات التدريب والتي هي دخل وخرج المتحكم ، ومن ثم يتم توليد بنية ANFIS ذاتياص من قبل برنامج الماتلاب، وتخرن ضمن ملف ببرنامج الماتلاب بنافذة Workspace له لاحقه ./fis/.

وخوارزمية التدريب التي يتم استخدامها بالكود هي عبارة عن دمج بين خوارزمية الانتشار الخلفي [6] وطريقة المربعات الصغرى [7].

3-4 التدريب:

يتم وضع معطيات التدريب بمصفوفة مكونة من ثلاثة أعمدة ، أول عمودين منها e_w و e_w وهما خطأ السرعة الزاوية لدوران المحرك ومشتقه، والعمود الثالث هوة Ref إشار مرجعية تم شرحها أعلاه، ثم نكتب الكود بواجهة الـ *Command windows* ببرنامج الماتلاب

```
data=anfis(Train_Data);
```

وسوف يظهر لنا على نفس الشاشة مايلى موضحة بالشكل (3):

ANFIS info:

```
Number of nodes: 21
Number of linear parameters: 12
Number of nonlinear parameters: 12
Total number of parameters: 24
Number of training data pairs: 55396
Number of checking data pairs: 0
Number of fuzzy rules: 4
```

الشكل (3-a) خرج الماتلاب بعد تنفيذ الكود.

```
Start training ANFIS ...

 1   16.6106
 2   16.5768
 3   16.5439
 4   16.5113
 5   16.4788

Step size increases to 0.011000 after epoch 5.
 6   16.4456
 7   16.4076
 8   16.3673
 9   16.3237

Step size increases to 0.012100 after epoch 9.
10   16.2762

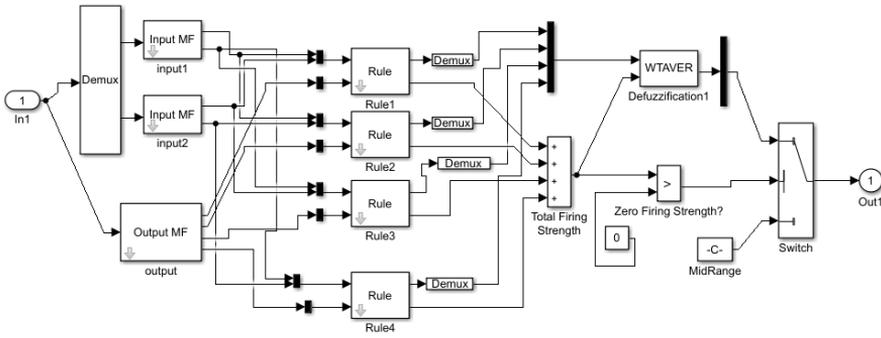
Minimal training RMSE = 16.276241
```

الشكل (3-b) اظهار خرج الماتلاب بعد تنفيذ الكود

وهي عبارة عن تشكيل شبكة *ANFIS* ضمن برنامج الماتلاب مؤلفة من 21 عقدة و 12 بارامتر خطي و 12 بارامتر غير خطي وعدد أزواج التدريب 55396 ومن أربع قواعد عائمة .

والشكل (3-b) بين التدريب لشبكة *ANFIS* حيث يعمل على اظهار قيم الخفاء لمجموعة من القيم المدربة للوصول إلى أصغر قيمة خطأ عند التدريب، ولا نستطيع أن نوقف الكود حتى ينتهي من جميع القيم التي وضعناها للتدريب.

وعندما يتم فتحها من واجهة ال *SIMULINK* كما بالشكل (4):



الشكل (4) شكل شبكة *ANFIS* بعد التدريب.

تتألف شبكة *ANFIS* من عدة طبقات:

الطبقة الأولى (طبقة الدخل) : تتكون من مدخلان وتتعامل مباشرة معهما حيث تقوم هذه الطبقة بحساب نسبة المشاركة لكل مدخل.

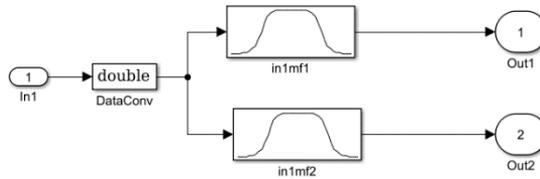
الطبقة الثانية : تقوم بحساب قوة القواعد الموضوعية وتابع الانتماء الموجود بها، والتي في هذه الحالة ولدت ذاتياً من قبل البرنامج.

الطبقة الثالثة : طبقة القواعد حيث تقوم بانجاز عملية AND العائمة، و حساب نسبة قوة قاعدة معينة إلى القواعد الأخرى، وعلاقتها مع بعضها.

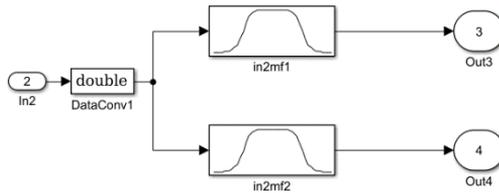
الطبقة الرابعة : تقوم في هذه الطبقة بإضافة بعض المتغيرات التي تسلسل البيانات، وتعمل على دمج القواعد.

الطبقة الخامسة (فك التعويم) : هي الطبقة التي من خلالها يتم تجميع الخرج وينتج الجواب النهائي.

القواعد العائم لهم شكل التابع gbellmf وهو تابع انتماء ذو شكل الجرس [5]، وموضحين بالشكلين رقم (5) ورقم (6).



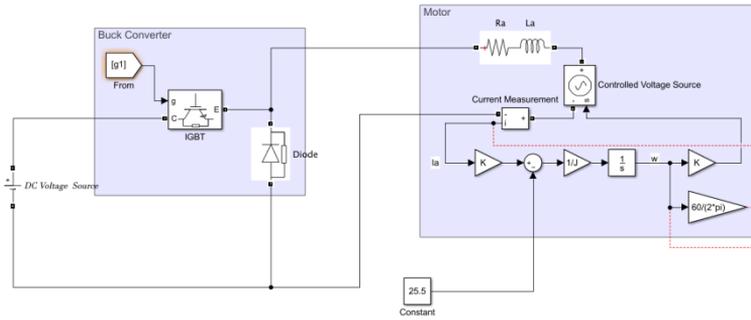
الشكل (5) مكونات بلوك input 1



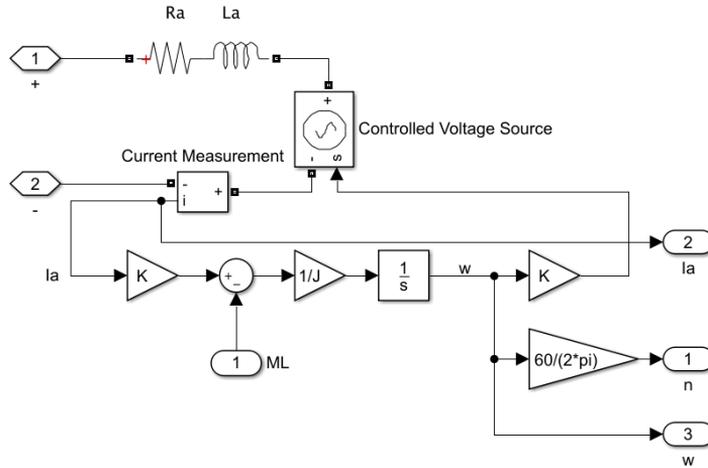
الشكل (6) مكونات بلوك input 2

3-5 المحاكاة الحاسوبية:

تم نمذجة الدارة في بنية Matlab-Simulink [8,9]، والمكونة من مقطع خافض للجهد والموضحة بالشكل (7)، ومن دارة محرك تيار مستمر ذو التهيج الدائم مستخدمين المعادلة رقم (8) من أجل نمذجة المحرك والموضحة بالشكل (8)

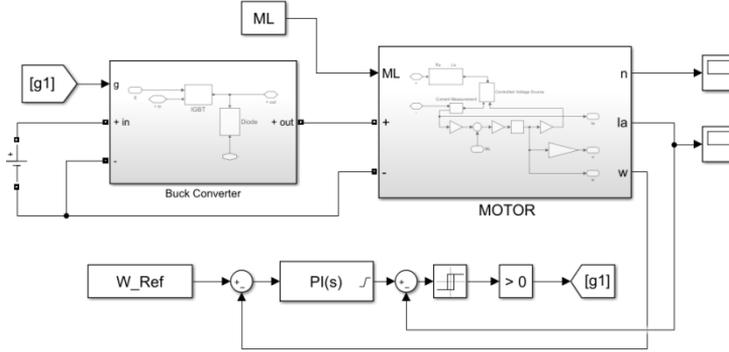


الشكل (7) دارة المقطع الخافض موصولة مع دارة المحرك

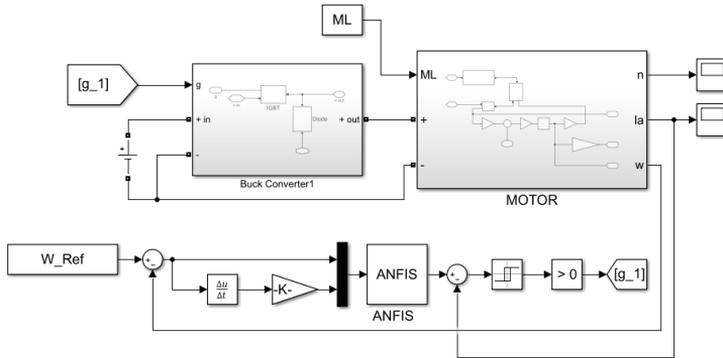


الشكل (8) دارة محرك التيار المستمر ذو التهيج الدائم

ويبين الشكل (9) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم PI ذو ثوابت $K_p = 50$ و $K_I = 0.1$ ، ويبين الشكل (10) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم ANFIS المقترح .



الشكل (9) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم PI .

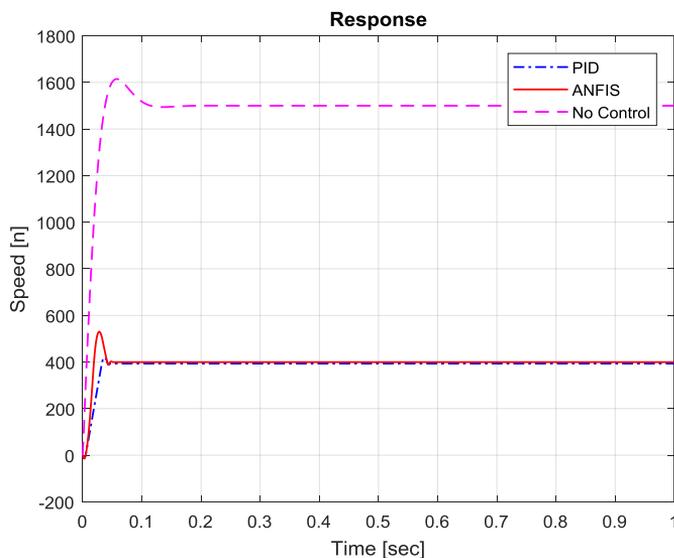


الشكل (10) نموذج المحرك مع المقطع مع منظومة التحكم بمتحكم ANFIS .

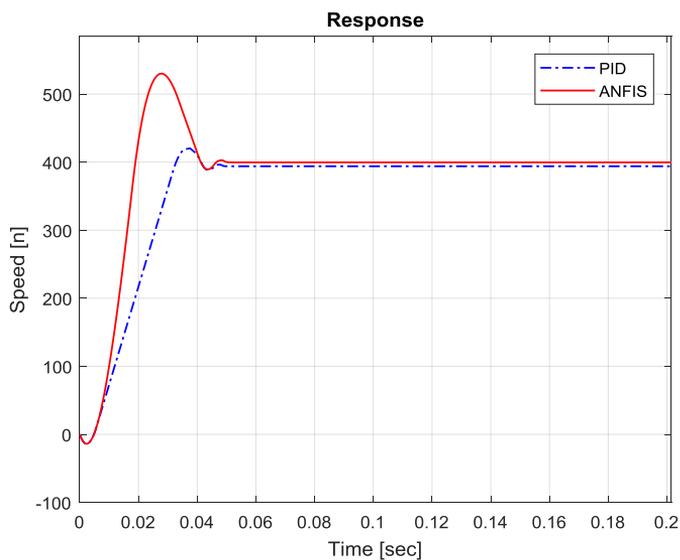
4- النتائج ومناقشتها:

في أغلب الأحيان يطلب من المحركات الكهربائية العمل على سرعات معينة لأحمال معينة أو الحفاظ على سرعة معينة مع تغير الحمل الميكانيكي على خرج المحرك /والذي قد يكون مصعد أو سير ميكانيكي/.

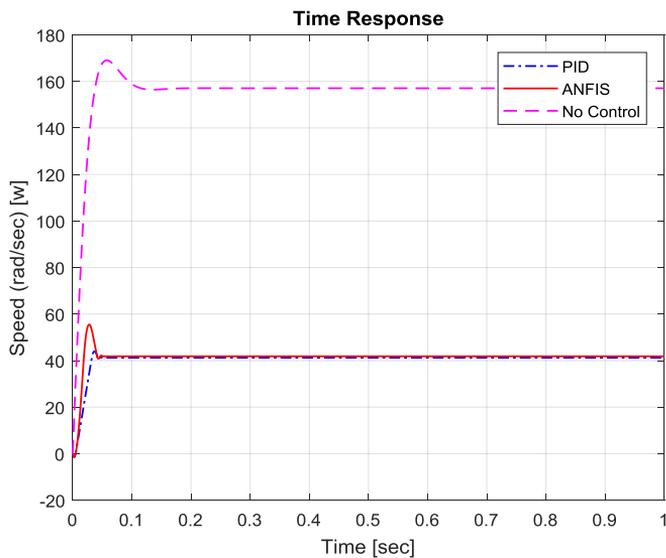
- تم تطبيق الشبكة العصبونية العائمة الناتجة من الكود، والتي تكون بصيغة ملف له لاحقة /fis/ بنافذة Workspace ببرنامج الماتلاب، ومن ثم يتم تحميل الملف / ببرنامج Simlink / على النموذج، ومقارنة الاشارة الناتجة مع اشارة نفس النموذج مع متحكم من نوع /PI/، تم تطبيق في هذه الحالة حمولة ميكانيكية ثابتة وسرعة مرجعية 400 rpm فكانت الاستجابة كما هو موضح بالأشكال التالية :



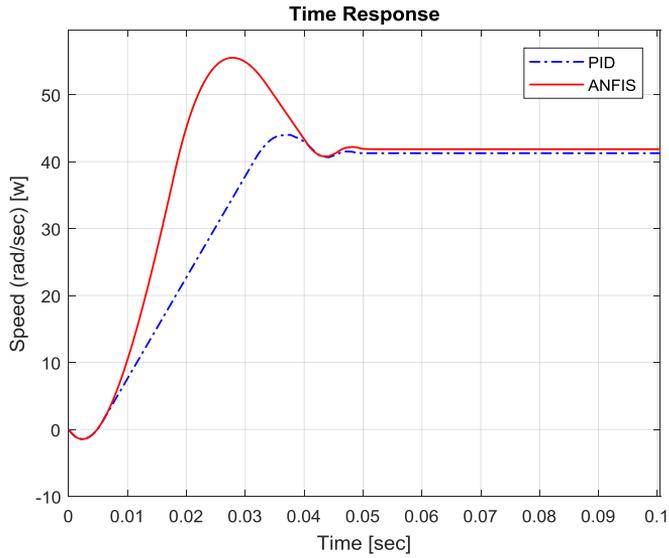
الشكل (11-a) الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك.



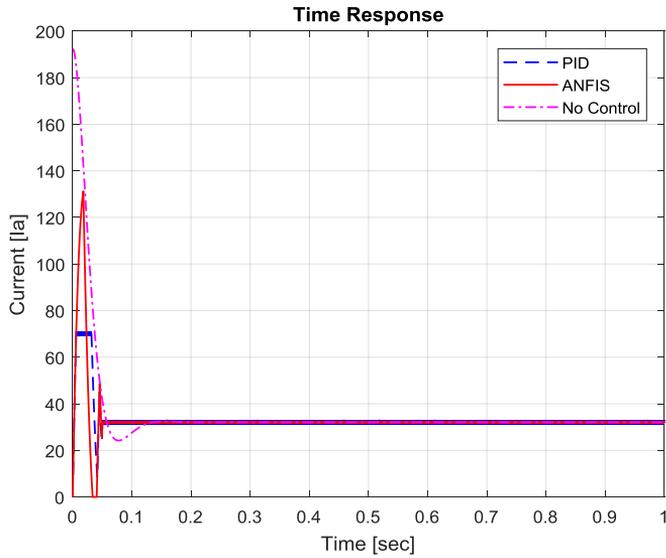
الشكل (11-b) الاستجابة الزمنية لتغيير سرعة المحرك



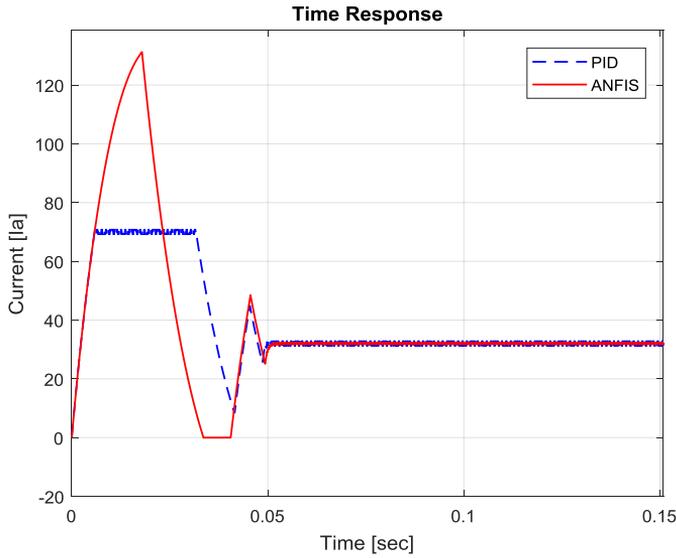
الشكل (12-a) الاستجابة الزمنية لتغيير السرعة الزاوية للمحرك.



الشكل (12-b) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك



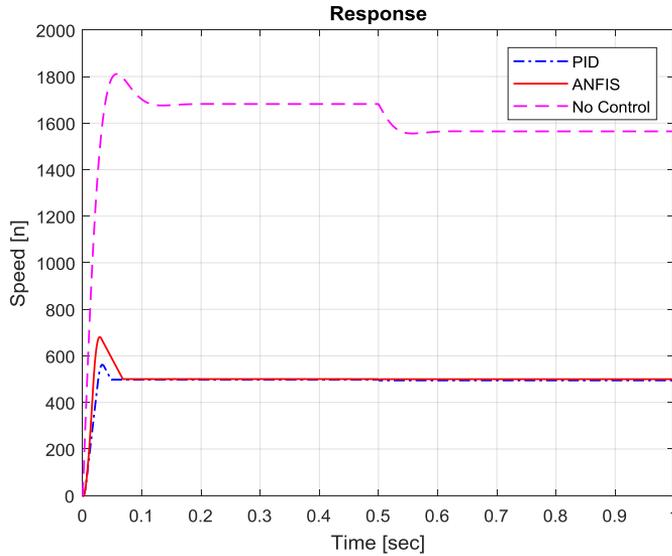
الشكل (13 -a) الاستجابة الزمنية لتيار المتحرض للمحرك.



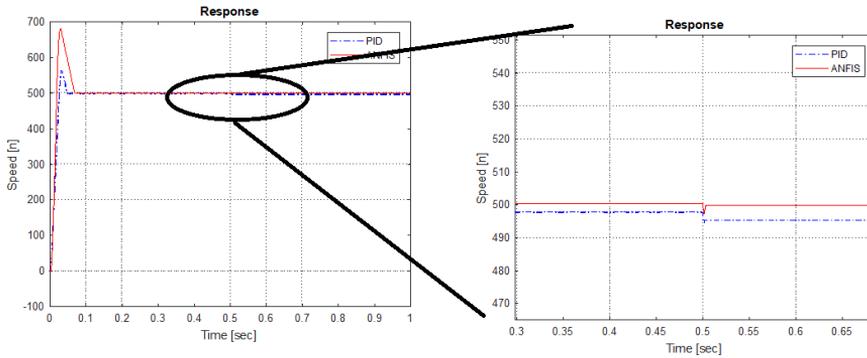
الشكل (b- 13) الاستجابة الزمنية لتيار المتحرض للمحرك.

في مخطط الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك /والموضحة بالشكل (11) a و b / نرى أن منحنى السرعة بوجود المتحكم المقترح /ANFIS/ وصل للسرعة المرجعية /400 rpm/ أما منحنى السرعة بوجود المتحكم /PI/ وصل لسرعة أقل من السرعة المرجعية، وفي مخطط الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك /والموضحة بالشكل (12) a و b / نرى أن منحنى السرعة الزاوية بوجود المتحكم المقترح وصل للسرعة الزاوية المرجعية /41.88 rad/sec/ التي تقابل السرعة المرجعية /400 rpm/، أما منحنى السرعة الزاوية بوجود المتحكم /PI/ وصل لسرعة زاوية أقل، ونرى في مخطط الاستجابة الزمنية لتيار المتحرض للمحرك /والموضحة بالشكل (13) a و b / أن تغير التيار بوجود المتحكم المقترح له تجاوز أعظمي كبير ويستقر بعد الوصول للسرعة المرجعية المطلوبة، أما بوجود المتحكم /PI/ نرى أن التيار قيمه متغيره غير مستقره حتى بعد زمن 0.05 . sec

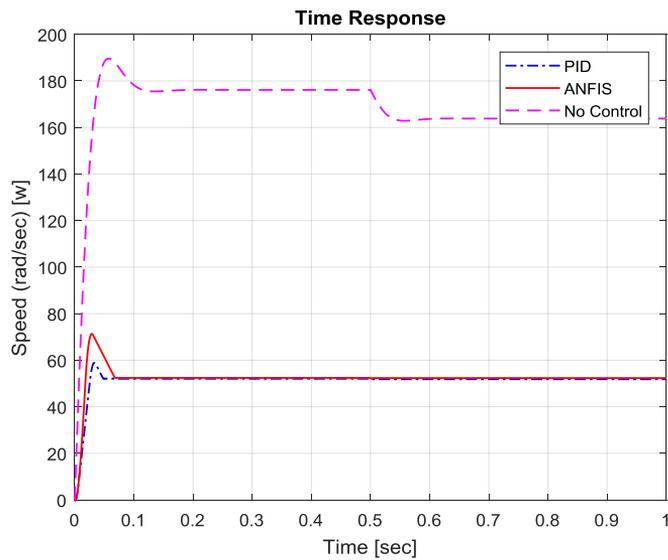
- سندرس أداء المتحكم ببنية /ANFIS/ في حال زيادة التحميل من /10 Nm/ إلى /20 Nm/ مع تثبيت سرعة المحرك على سرعة مرجعية 500 rpm، سيتم رسم الاستجابة الزمنية للسرعة والسرعة الزاوية وتيار المتحرض للمحرك.



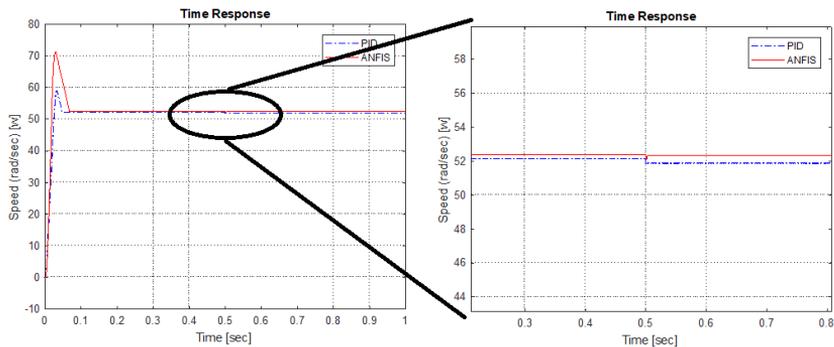
الشكل (14-a) الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



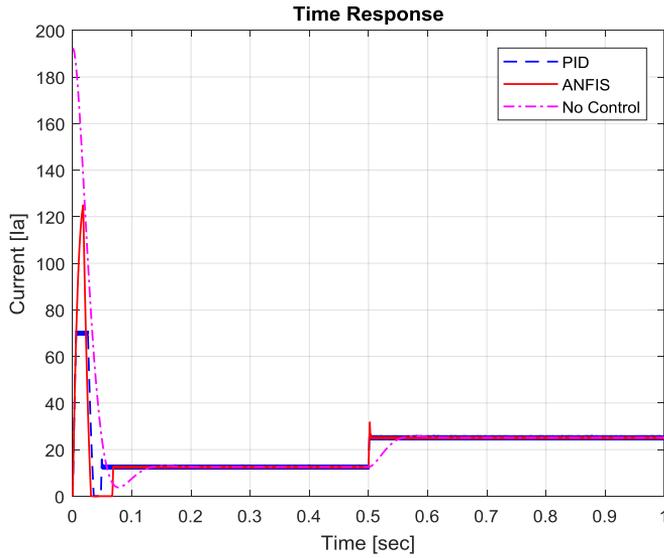
الشكل (14-b) الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



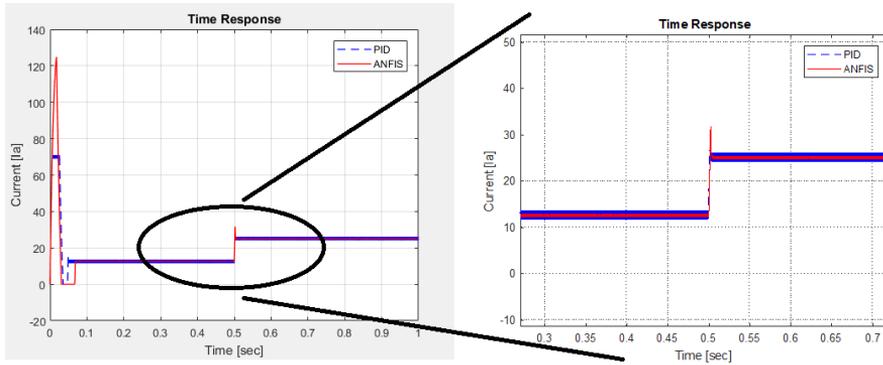
الشكل (15-a) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك



الشكل (15-b) الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك.



الشكل (16-a) الاستجابة الزمنية لتغير تيار المتحرض.



الشكل (16-b) الاستجابة الزمنية لتغير تيار المتحرض.

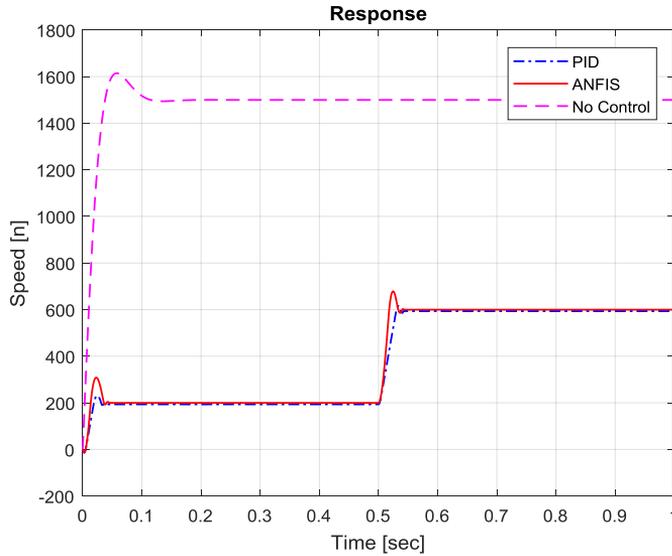
في حال زيادة التحميل من 10 إلى 20 Nm مع تثبيت سرعة المحرك على سرعة مرجعية /500 rpm/ ، نرى أن مخطط الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك /والموضحة بالشكل (14) a و b/ وتغير السرعة الزاوية للمحرك /والموضحة بالشكل (15) a و b/ وتغير تيار المتحرض للمحرك /والموضح بالشكل (16) a و b/ نجد

أن إشارة النموذج الذي يحتوي المتحكم المقترح /ANFIS/ أفضل وزمن العودة للسرعة المطلوبة أقل من إشارة النموذج الذي يحتوي على متحكم /PI/ التي تكون أقل استقراراً. ونلاحظ عند تغير الحمل في الزمن /0.5 sec/ من 10 إلى 20 NM أن النموذج الذي يحوي المتحكم /ANFIS/ استغرق بمعالجة التغير زمن أقل من النموذج الذي يحوي المتحكم /PI/ موضحين بالجدول (1):

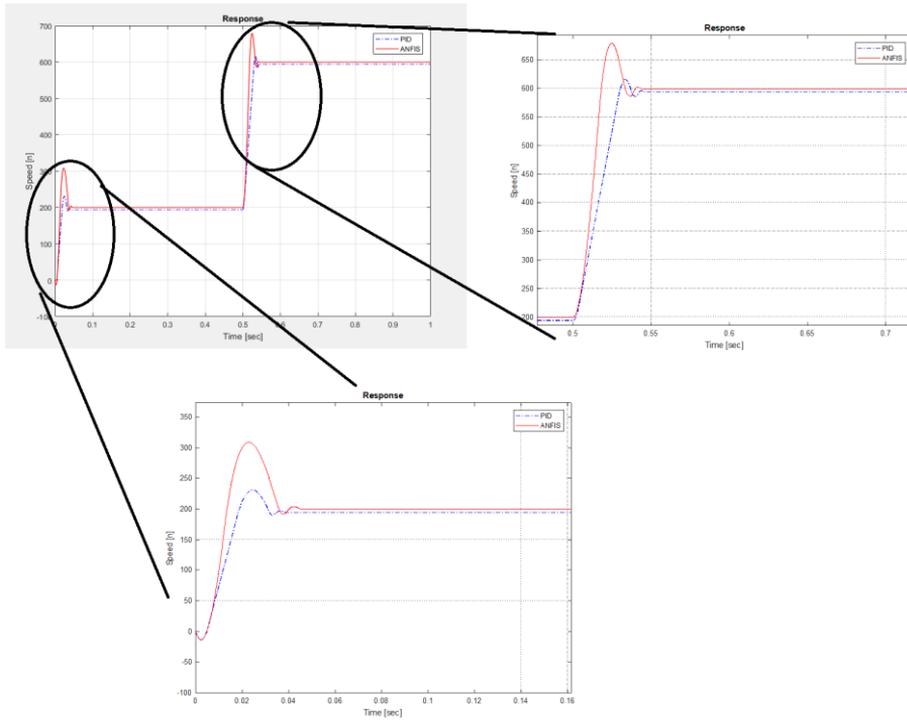
جدول (1) الزمن المستغرق لمعالجة التغير

| المتحكم | زمن الذي يستغرقه المتحكم لمعالجة تغير الحمولة |
|---------|---|
| ANFIS | بحدود 0.005 sec |
| PI | أكبر من 0.2 sec |

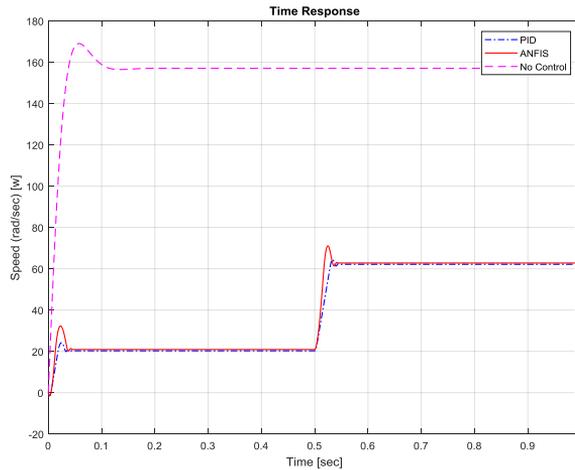
- سندرس أداء المتحكم ببنية /ANFIS/ في حال تغير السرعة من /200 rpm/ ولغاية /600 rpm/ مع ثبات الحمولة، سيتم رسم الاستجابة الزمنية للسرعة والسرعة الزاوية وتيار المتحرض للمحرك.



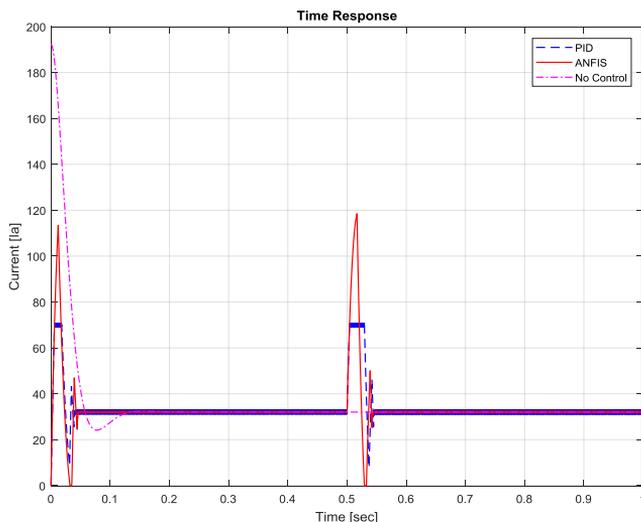
الشكل (17-a) : الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



الشكل (17-b) : الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك



الشكل (18) : الاستجابة الزمنية لتغير السرعة الزاوية للمحرك.



الشكل (19) : الاستجابة الزمنية لتغير تيار المتحرض.

في حال تغير السرعة من 200 إلى 600 rpm في اللحظة (0.5 sec) مع ثبات الحمولة نرى أن مخطط الاستجابة الزمنية لتغير سرعة المحرك /والموضحة بالشكل (17) a و b/ وتغير السرعة الزاوية للمحرك /والموضحة بالشكل(18)// وتغير تيار المتحرض للمحرك /والموضح بالشكل (19)// نجد أن إشارة النموذج الذي يحتوي المتحكم المقترح /ANFIS/ أفضل أيضاً وأكثر استقراراً وانسيابية من نفس النموذج الذي يحتوي على متحكم /PI/.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

نستنتج من خلال النتائج التي حصلنا عليها:

- 1- يتمتع المتحكم المعتمد في عمله على الشبكات العصبونية العائمة بالقدرة على تحسين أداء المحرك .
- 2- كان أداء المتحكم المصمم أفضل من المتحكم التقليدي وذلك لوصوله إلى القيمة المرجعية بحالات عمل مختلفة.
- 3- يعتمد أداء المتحكم المصمم على الذكاء الصناعي، ويمكن أن يتعلم بشكل مستمر من خلال توسيع قاعدة البيانات المستخدمة للتدريب.

التوصيات:

- 1- الاستفادة من البحث في ربط الذكاء الصناعي مع متحكم /PI/ .
- 2- استكمال البحث بدراسة تغيرات الأعطال على المحركات.
- 3- تطبيق المتحكم على المحرك التحريضي.
- 4- الاستفادة من البحث وتطبيقه في نظام الطاقة البديلة /الطاقة الشمسية/.

6- المراجع:

- [1] ONG C, 1998 – Dynamic Simulation of Electric Machinery.
Prentice Hall, PTR, New Jersey USA, 643p.
- [2] UKIL A, 2007 – Intelligent Systems and Signal Processing in
Power Engineering. Springer, NewYork USA, 379p.
- [3] RASHID M, 2001 – POWER ELECTRONICS HANDBOOK.
ACADEMIC PRESS, NewYork USA, 892p.
- [4] JANG J, 1993 – ANFIS: Adaptive Network based Fuzzy
Inference System, IEEE Transactions on Systems Man and
Cybernetics, VOL.23, NO.3.
- [5] JANG J, 1997 – Neuro Fuzzy And Soft Computing. Prentice
Hall, PTR, USA, 640p.
- [6] E.RUMELHART D – Backpropagation: The Basic Theory .
- [7] FENG D, 1998 – Total Least Mean Squares Algorithm, IEEE
TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL.46, NO.8.
- [8] ALHAZORY M, WARKOZEK G, 2020 – Modelling and
Simulation of Electric Power Systems. Damascus University, First
Edition,335p. **In Arabic**

[9] MERHEJ M, 2017 – Electric Power Systems Modeling and Simulation. Tishreen University,261p. **In Arabic**

[10] Al-Masoud T,2018 – Design Fuzzy Logic Controller Logical to Control Motor DC, Al-Baath University Journal, Vol.40, NO.61. **In Arabic**

