

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 12

1444 هـ - 2023 م

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

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

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
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 : 2138071 31 963 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
34-11	م. ابراهيم الأحمد د. محمد نعال د. محمود شعار	تحليل الثغرات الأمنية في بروتوكول الدخول الموحد Open ID Connect من خلال تطبيق هجمات MIX-UP
72-35	م. بشرى حسن د. منى القبيلي	تحسين بارامترات جودة الخدمة في شبكات انترنت الأشياء باستخدام البروتوكول (OpenFlow)
92-73	م. رعد الألفي د. عبد الكريم السالم	تحليل أداء نظام QPSK الضوئي المترابط
132-93	م. عبد الرزاق الابراهيم د. بسيم عمران	دراسة وتصميم نظام تحكم ضبابي في العنفات الريحية للعمل عند سرعات الرياح العالية
154-133	م. علاء الرفاعي د. عباس صندوق د. رائد الشرع	" التوفير الطاقى لجهاز التكييف المنزلى باستخدام الطاقة الشمسية "

تحليل الثغرات الأمنية في بروتوكول الدخول الموحد Open ID Connect من خلال تطبيق هجمات MIX-UP

م. ابراهيم الأحمد*، د. محمد أيمن نعال**، د. محمود شعاع***

الملخص

تعمل أنظمة تسجيل الدخول الموحد (SSO) على تبسيط اجراءات تسجيل الدخول باستخدام مزود الهوية (IDP)، لكن هذه الأنظمة المستخدمة على نطاق واسع توفر خصوصية قليلة للمستخدم ونتيجة لذلك يمكن لمزود الهوية مثل (google أو Facebook) معرفة الكثير عن سلوك المستخدم على الويب. من الواضح أن هذا الأمر غير مرغوب فيه لأسباب تتعلق بالخصوصية ولا سيما للمستخدمين المهتمين بالخصوصية والذين يرغبون في تقليل المعلومات المتعلقة بسلوك الوصول إلى الويب والتي يكشفونها لمنظمات الطرف الثالث.

تم في هذا البحث إجراء دراسة عملية واسعة النطاق لبروتوكول الدخول الموحد OpenID Connect من خلال تحليل مراحل عمل البروتوكول بالإضافة لذكر العيوب والثغرات الأمنية الخاصة به. كما تم تقديم تحليلاً منهجياً لخصوصية وصول المستخدم لأنظمة تسجيل الدخول الموحد ووصف مدى سهولة الوصول إلى معلومات المستخدم. تم تطبيق هجوم Mix-up على البروتوكول من خلال استخدام local API مبني على ASP.net وتم من خلاله الحصول على رموز ID token والتي تمكن المهاجم من بناء Access token الذي يتيح إمكانية الوصول لموارد المستخدم . تم أيضاً تحليل كفاءة الهجوم على منصات online من خلال تحديد عدد الرموز التي تم الوصول إليها عند تطبيق الهجوم .

كلمات مفتاحية: الدخول الموحد، مزود الهوية، مزود الخدمة، OpenID Connect.

*طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم هندسة الحواسيب، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

**أستاذ مساعد في قسم هندسة الحواسيب، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية ، جامعة حلب

***مدرس في قسم هندسة الحواسيب، كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية ، جامعة حلب

Analysis of security gaps on Single Sign-On Protocol "Open ID Connect" by MIX-UP Attacks

Ibrahim ALAHMAD*, Mouhamad Ayman NAAL **, Mahmoud SHAAR **

Abstract

Single Sign-On (SSO) systems simplify the process for logging in with an identity provider (IDP). However, these widely used systems provide little privacy to the user and as a result, an identity provider (such as google or Facebook) can learn a lot about user behavior on the web. This is clearly not desirable for privacy reasons, particularly for privacy-conscious users who want to reduce the information about web access behavior that they disclose to third-party organizations.

In this paper, a large-scale practical study of the Single Sign-On Protocol "OpenID Connect" was carried out by analyzing the stages of the protocol's work, in addition to mentioning its security flaws and vulnerabilities. A systematic analysis of the privacy of user access to single sign-on systems was also presented and a description of the ease of accessing user information.

A Mix-up attack was applied on the protocol using a local API based on ASP.net, through which ID token were obtained, which enables the attacker to build an Access token that allows access to user resources. The efficiency of the attack on online platforms was also analyzed by determining the number of tokens that were accessed when the attack was applied.

Key Words: Single Sign-On, Identity Provider, Service Provider, OpenID Connect.

*PhdStudent, Dept.of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Electron Engineering, University of Aleppo

** Dept. of Computer Engineering, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, University of Aleppo

1- مقدمة:

يعتبر الدخول الموحد (SSO) مفهوماً للتفويض على مصادقة المستخدمين على مزود الخدمة (SP) من خلال طرف ثالث يدعى مزود الهوية (IDP)[1]. يعتبر بروتوكول OpenID Connect أحدث نسخة من بروتوكولات الدخول الموحد، تم إصدار هذا البروتوكول في عام 2014 وقد دعمته الكثير من الشركات الكبيرة مثل Amazon, Google, PayPal, Microsoft[2].

2- أهمية البحث وهدفه:

يهدف هذا البحث إلى تقديم دراسة تحليلية شاملة ومفصلة لبروتوكول الدخول الموحد OpenID Connect ولمراحل عمله بالتفصيل، وتحليل تطبيق هجوم MIX up على البروتوكول وفق سيناريوهين الأول على API local تم استخدام بيئة ASP MVC في انشائه والثاني سرقة الرموز من منصات تستخدم البروتوكول online ، النتائج التي تم الحصول عليها تمثل مقدار الوصول إلى رموز ID token الخاصة بالمستخدم والتي تدخل في بناء Access token للوصول لبيانات المستخدم .

3 - بروتوكول OpenID Connect:

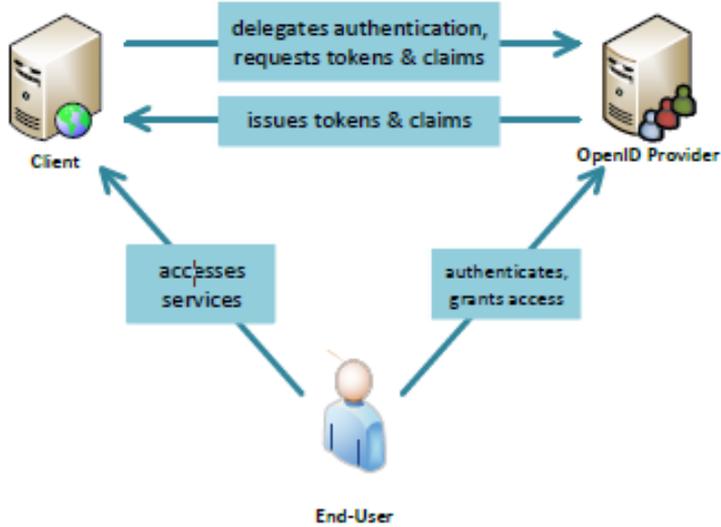
سنتناول في هذه الفقرة وصفاً عاماً لبروتوكول OI DC ثم المراحل التفصيلية لعمله ثم توصيفاً لنقاط الضعف والنقاط الحرجة في هذا البروتوكول.

3-1 الوصف العام لبروتوكول OpenID Connect:

يسمح بروتوكول OpenID Connect بمصادقة المستخدمين على مزودات الخدمة باستخدام الحسابات الموجودة عند مزود الهوية. صمم OI DC بالاعتماد على بروتوكول OAuth لتمكين مصادقة المستخدمين كما تضمن ميزة جديدة فيه وهي مرحلة التسجيل الديناميكي والاكتشاف وتحقيق الثقة بشكل أوتوماتيكي بين مزود الخدمة (SP) ومزود الهوية (Idp) [3].

تحليل الثغرات الأمنية في بروتوكول الدخول الموحد Open ID Connect من خلال تطبيق هجمات MIX-UP

هناك ثلاثة أطراف مختلفة ضمن بروتوكول OIDC. العلاقة بين هذه الأطراف موضحة في الشكل (1).



الشكل (1) العلاقة بين الأطراف الثلاثة في بروتوكول OIDC

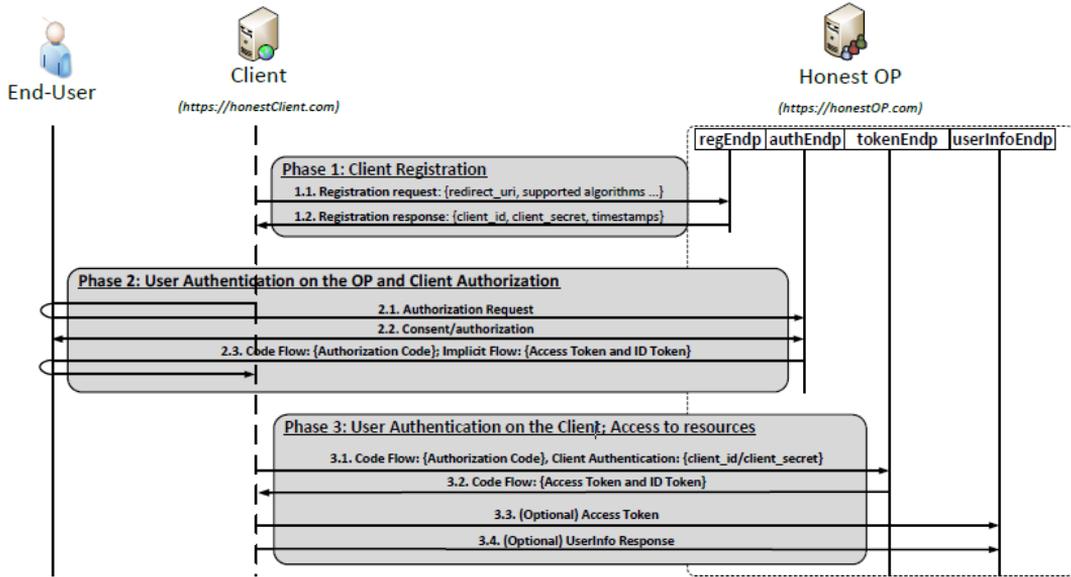
يتولى كل طرف من هذه الأطراف دوراً مختلفاً كالتالي:

- المستخدم النهائي (End-User): يريد الوصول إلى خدمات العميل (مزود الخدمة) وبالتالي يحتاج لإثبات هويته للعميل. كما أنه لديه إمكانية لتفويض العميل للوصول إلى مجموعة محددة من موارده المخزنة في مزود الهوية (OP).
- العميل (Client): تطبيق يوفر خدمات معينة التي تتطلب المصادقة على المستخدم النهائي. عملية المصادقة يتم توكيلها إلى مزود الهوية (OP).
- مزود الهوية (OpenID Provider): يعالج المصادقة على المستخدم النهائي وإصدار رمز المصادقة الذي يحتوي على مجموعة محددة من المطالبات التي

تثبت هوية المستخدم النهائي. بالإضافة إلى أنه يمكنه إصدار رمز ترخيص من أجل السماح للعميل للوصول إلى موارد المستخدم النهائي.

2-3 مراحل عمل بروتوكول OpenID Connect:

تمر عملية تنفيذ بروتوكول OIDC بثلاثة مراحل، وهي مرحلة التسجيل الديناميكي والاكتشاف، ومرحلة المصادقة على المستخدم عند مزود الهوية، ومرحلة المصادقة على الرموز وقد تم توضيح هذه المراحل في الشكل (2). [3]



الشكل (2) مراحل التنفيذ في بروتوكول OpenIDConnect

3-2-1 المرحلة الأولى: مرحلة التسجيل الديناميكي والاكتشاف (Client Registration):

يوضح الشكل (3) [3] مرحلة التسجيل الأولى بدقة أكثر:

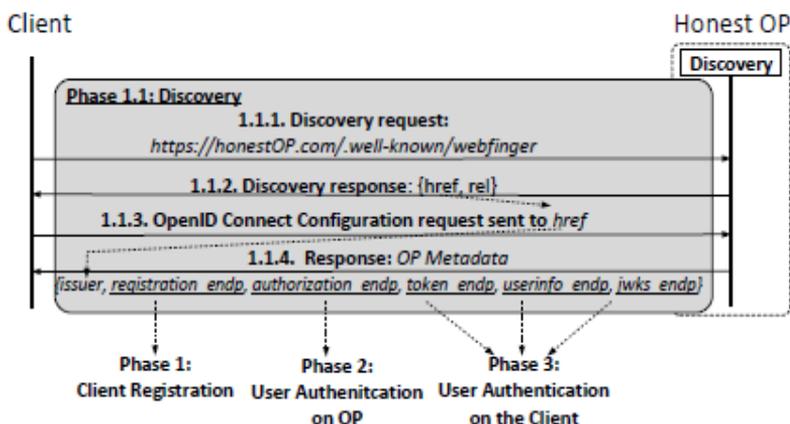
في البداية يقدم المستخدم هويته مثلا (alice@honestOP.com) الى العميل للحصول على الخدمات. من اجل المصادقة على المستخدم العميل يحتاج لاكتشاف مزود الهوية (OP) الذي يتحكم بهوية المستخدم alias.



الشكل (3) مرحلة التسجيل الديناميكي في OpenIDConnect

تقسم المرحلة الاولى لخطوتين:

- الخطوة الأولى (الاكتشاف): يرسل العميل طلبا إلى نقطة نهاية الاكتشاف (Discovery endpoint) ويسترجع معلومات (OP's configuration) تتضمن مواقع نقط النهاية. يبين الشكل (4) تفاصيل مرحلة الاكتشاف تظهر فيها البيانات (metadata) التي يتلقاها العميل ومدى تأثيرها على مراحل البروتوكول. نلاحظ ان هذه البيانات تحتوي جميع المعلومات المتعلقة بالبروتوكول: (نقاط النهاية_ خوارزميات توقيع وتشفير الرسائل- المفاتيح العامة للبروتوكول).



الشكل (4) لمحة تفصيلية عن مرحلة الاكتشاف في OIDC

الخطوة الثانية (التسجيل الديناميكي): العميل يسجل تلقائياً في مزود الهوية (OP) حيث يرسل عنوانه الخاص مثلاً (<http://client.com>) إلى عنوان نقطة نهاية التسجيل فيقوم OP بالاستجابة وارسال الزوج (client_id/ client_secret) وهي رموز سرية بين العميل ومزود الهوية (OP) تمثل أوراق اعتماد العميل.

3-2-2 المرحلة الثانية: المصادقة على المستخدم عند مزود الهوية (User Authentication on the OP):

يقوم العميل بتوجيه المستخدم غير المصادق عليه إلى نقطة نهاية التفويض (Authorization Endpoint) (يتم توجيه المستخدم إلى عنوان مسجل عليه مسبقاً هوية العميل). تتم مصادقة المستخدم النهائي على OP باستخدام اوراق اعتماده. يقوم OP بإرسال كود تفويض (Authorization code) يتضمن (Access token, ID token) وهذا الكود وسيط بين العميل والمستخدم يستطيع من خلاله العميل الوصول لموارد محددة للمستخدم والتأكد من هوية المستخدم النهائي.

3-2-3 المرحلة الثالثة: مرحلة المصادقة على الرموز (User Authentication) : (on the OP – ID and Access Token)

بعد أن يستقبل العميل الكود (code) في نهاية المرحلة الثانية يرسله إلى نقطة نهاية الرموز ويرسل أوراق اعتماده من المرحلة الاولى (client_id and client_secret) ثم يستجيب مزود الهوية ويرسل له الرمز (Access token, ID token) ثم يقوم العميل بالتحقق من الرموز ويقوم بالمصادقة النهائية للمستخدم.

3-3 محتويات ID Token :

يعتبر id token رمزاً سرياً يحوي معلومات (claims) عن هوية المستخدم النهائي وبنية بياناته JSON Web Token (JWT). يبين الشكل (5) مثالا عن id token [5][4]

```
Header: { "alg": "HS256" }
Body: {
  "iss": "http://openidConnectProvider.com/",
  "sub": "user1",
  "exp": 1444148908,
  "iat": 1444148308,
  "nonce": "40c6b33b9a2e",
  "aud": "http://client.com/",
}
Signature: AF45JF93LKD76D....
```

الشكل (5) مثال عن id token

نلاحظ أن id token يتألف من ثلاثة أجزاء:

أولاً: الرأس: يحوي معلومات تتضمن خوارزمية التشفير المستخدمة.

ثانياً: الجسم: يحتوي المعلومات المحتاجة للمصادقة على المستخدم النهائي وتتضمن:

- هوية المستخدم النهائي: وتتألف من جزئين:

- Issuer (iss): لمعرفة مزود الهوية.
 - Subject (sub): لمعرفة هوية المستخدم.
 - وكلاهما يستخدمان لتحديد هوية المستخدم النهائي.
 - الطابع الزمني (iat) timestamp وفترة الصلاحية (exp) expired يعرفان الفترة الزمنية لإنتاج وانتهاء الرمز.
 - Nonce: سلسلة عشوائية ترسل من العميل خلال طلب المصادقة تستخدم لتخفيف الهجمات.
 - Audience (aud): لتحديد العملاء الذين ينتمي رمز الهوية لهم.
- ثالثاً: التوقيع: يزود بموثوقية id token.

3-4 نقاط الضعف في بروتوكول OpenID Connect:

الجديد في بروتوكول OIDC هو مرحلة التسجيل الديناميكي والاكتشاف وهي لم تكن موجودة في البروتوكولات السابقة وقد شكلت نقطة ضعف أساسية في هذا البروتوكول حيث استطاع المهاجمون التدخل في المعلومات (عناوين نقط النهاية) المرسله إلى العميل أثناء مرحلة الاستكشاف واستبدالها بعناوين خاصة بالمهاجمين فتصبح عملية تبادل المعلومات بين العميل والمهاجم خلال مراحل عمل البروتوكول [6]، كما أن بناء بروتوكول OIDC من عدة طبقات سمح بتدخل المهاجمين بين أية مرحلتين من المراحل الثلاثة [7].

سنتناول بالتفصيل الدراسات السابقة التي استفادت من نقاط الضعف في تطوير هجمات جديدة على هذا البروتوكول وأدوات لتحليل واختبار مدى سرية.

4- الدراسات السابقة:

اهتمت العديد من الدراسات السابقة في بروتوكولات الدخول الموحد باختبارها وتحليلها وتحديد الثغرات الأمنية فيها. نستعرض فيما يأتي أهم هذه الدراسات.

قام الباحثون في [1] بتقديم أداة لاختبار الهجمات على بروتوكول الدخول OIDC واختبار الهجمات المطورة (هجمات نقط النهاية الخبيثة) التي يتم فيها اكتشاف مزود الهوية في مرحلة الاكتشاف وهذا ساعد في فهم أفضل لتدفق الرسائل ضمن البروتوكول. كما قام الباحثون في [3] بإجراء تحليل معمق للسمة الجديدة في بروتوكول OIDC وهي مرحلة التسجيل الديناميكي والاكتشاف وقدموا نوعاً جديداً من الهجمات (Malicious Endpoints) ينتمي إلى صنف الهجمات من الدرجة الثانية حيث تقوم الهجمة على مرحلتين. يستغل هذا الهجوم المعلومات المتبادلة بين أطراف البروتوكول بين المراحل الثلاثة. وقد تمكنوا من كسر خصوصية المستخدم وتوضيح عيوب المزايا الجديدة وبالتالي لا يمكن ضمان أمن البروتوكول بالشكل الحالي حيث يسعى المهاجم في هذه الهجمات (Malicious Endpoints Attacks) لسرقة الوثائق بين العميل (Client) ومزود الهوية (OP) كما يسعى لسرقة رمز التفويض (token_access) الذي يسمح بالوصول لموارد المستخدم.

كذلك قام الباحثون في [4] بتحليل الهجمات المعروفة على بروتوكول OIDC وتصنيف هذه الهجمات إلى صنفين أساسيين هما:

هجمات المرحلة الواحدة: هي الهجمات التي تطبق على إحدى مراحل عمل البروتوكول.
هجمات المرحلتين: هي الهجمات التي تعتمد على أكثر من مرحلة من مراحل البروتوكول أثناء الهجوم.

وقد قدم الباحثون أداة لتحسين سرية البروتوكول وتحديد الثغرات الأمنية ضمنه.

يوضح ها البحث أن بناء بروتوكول OIDC من عدة طبقات يسمح بتدخل المهاجمين بين أية مرحلتين من المراحل الثلاثة مما يتيح المجال لدراسة أعمق لهذه المراحل وإمكانية اختراقها.

وقام الباحثون في [6] بإجراء تحليل سري ومعمق لبروتوكول الدخول الموحد OpenID Connect وتم بناء نموذج مطور من OpenID Connect حيث تم توظيف الخصائص السرية للبروتوكول لتجنب الهجمات المكتشفة سابقا والهجمات الجديدة. وفي [7] تمت دراسة الخصائص الأمنية لبروتوكول googleOIDC وتم فحصه على مجموعة من العملاء وتم تطبيق صنف من الهجمات يمكن من خلالها الحصول على رموز المستخدم ومن ثم استخدامها لانتحال شخصية المستخدم للوصول إلى العملاء كما قدموا مجموعة من النصائح المستقبلية التي يجب أخذها في الأنظمة المستقبلية بالنسبة لكل من مزود الخدمة "RP" ومزود الهوية "OP".

5- الثغرات الأمنية في OIDC:

1- التصيد (Phishing) : هناك نوعان من هذا النمط من الهجمات:

1. صفحة OP المخادعة : يمكن لمزود الخدمة المخادع RP إعادة توجيه المستخدم إلى صفحة OP المخادعة حيث يتم خداع المستخدم لإدخال بيانات اعتماد OP الخاصة به [4].
2. انتحال العالم (Realm Spoofing): يمكن لـ RP صياغة طلب مصادقة مع openid.realm مضبوط على مجال موثوق به والإشارة إلى الرجوع إلى الصفحة الخاصة به بدون التحقق من معلوماته. سيؤكد OP الخاص بالمستخدم للمستخدم أنه يسجل الدخول إلى المجال الموثوق به ، بينما في الواقع يتم إعادة توجيههم مرة أخرى إلى RP.

2. الهجمات المتعلقة بالجلسة (Session Related Attacks): يسهل OpenID

للمستخدم الحصول على العديد من جلسات المصادقة النشطة وهذا يوفر المزيد من الفرص للوصول لموقع ضار لاستغلال نقاط الضعف في OP و RPs أخرى نظراً لأن المستخدم لديه بالفعل جلسة مصادقة [8]. بعض المشكلات المحددة المذكورة أدناه:

مبادلة الجلسة: لا يقترح البروتوكول آلية لربط جلسة OpenID بمتصفح المستخدم، مما يسمح لمهاجم الويب بإجبار متصفح المستخدم على تهيئة جلسة مصادق عليها كمهاجم. وبالتالي يمكن للمهاجم بدء الجلسة في RP، والمصادقة في OP وخداع الضحية للوصول إلى RP (على الرغم من تسجيل المستخدم للدخول كمهاجم). لن يدرك المستخدم أنه قام بتسجيل الدخول باعتباره المهاجم وقد يكشف عن معلومات حساسة في RP.

CSRF Cross-site request forgery: بمجرد أن يقوم المستخدم بتسجيل الدخول ، قد يتمكن المهاجمون من تنفيذ سلسلة من هجمات CSRF (طلب تزوير عبر المواقع) ضد OP أو مواقع RP الأخرى حيث تم تسجيل دخول المستخدم.

CSS Cross-site Scripting: بمجرد أن يقوم المستخدم بتسجيل الدخول ، قد يتمكن المهاجمون من تنفيذ سلسلة من هجمات XSS (البرمجة النصية عبر المواقع) ضد OP أو مواقع RP الأخرى حيث تم تسجيل دخول المستخدم.

خصوصية البيانات: يعرف مزود الخدمة OpenID الخاص بك كل موقع تقوم بتسجيل الدخول إليه باستخدام بيانات اعتمادك. لا توجد طريقة في البروتوكول (على عكس بطاقات المعلومات) لإخفاء هذه المعلومات من IdP نظراً لأن OP أصبح مكاناً مركزياً

لجميع أنشطة تسجيل الدخول عبر جميع المواقع، يمكن ل OP الخبيث تتبع نشاط المستخدم بسهولة على الإنترنت.

3. المخاطر المركزية: يعتبر حساب IdP الخاص بالمستخدم أكثر قيمة للقراصنة. حيث يقومون بالاختراق مرة واحدة ولديهم إمكانية الوصول إلى مواقع متعددة . كلما نجح موفر الهوية أكثر، زاد ربح القراصنة. لا يقدم العديد من موفري الهوية اليوم مصادقة متصاعدة و / أو مستويات مصادقة (والتي يمكن أن تختلف حسب سياق المعاملة) .ومن ثم فإما أن تكون التجربة مبالغ في التعامل مع المعاملات عديمة القيمة أو أقل أمانًا للمعاملات ذات القيمة.

4. أمن الخلفية الضعيفة: توفر العديد من المواقع أساليب مصادقة قوية للمستخدمين لتسجيل الدخول؛ مع السماح باسترداد حساب البريد الإلكتروني. يجب أن يكون استرداد الحساب الذي يعتمد فقط على الوصول إلى البريد الإلكتروني غير مقبول لأي OP .

5. علاقة مشتركة في المعرف: إذا كان المستخدمون يستخدمون نفس معرف OpenID في مواقع RP المختلفة، فيمكن لمواقع RP أن تتجمع معًا وترتبط معلومات او نشاط المستخدم معًا .إذا كان لدى المستخدم عمليات تسجيل دخول مستقلة في مواقع RP المختلفة، فهذا غير ممكن أو على الأقل يصعب تحقيقه.

6. سلاسل المعرف المشتركة: هناك العديد من المشكلات المتعلقة بإدخال المستخدم معرف OpenID الخاص به، يعد إدخال سلسلة المعرف تحديًا لقابلية الاستخدام للمستخدمين. يصبح الأمر أكثر صعوبة نظرًا لأنه لا تستخدم جميع عمليات التشغيل نفس الأسلوب (على سبيل المثال، user.op.com أو op.com/user أو أيًا كان.com/openid/user) يسمح إدخال المستخدم لنفس المعرف في أماكن متعددة بعلاقة مشتركة بين RPs.

6- تطبيق هجوم Mix-up باستخدام ASP.net :

1-6 افتراضات الهجوم :

- ✓ يتصل RP بأكثر من مزود هوية OAuth (IdPs) أحدهما تحت سيطرة المهاجم. (على سبيل المثال ، تم تشغيل IdP بواسطة المهاجم نفسه).
- ✓ يستخدم RP نفس redirect_uri للعديد من مزودي الهوية ويستخدم قيمة "الحالة" لتحديد مزود الهوية الذي يأتي الرد منه.
- ✓ ملاحظة: إذا لم يكن التحقق من redirect_uri في IdP مطابقاً تماماً لقيمة مسجلة مسبقاً ، فقد يتم تخفيف هذا الافتراض.
- ✓ يُطلق على IdP الخاضع لسيطرة المهاجم اسم AldP (Attacker IdP) ويسمى IdP غير الضار HIdP (Honest IdP).

2-6 مراحل الهجوم :

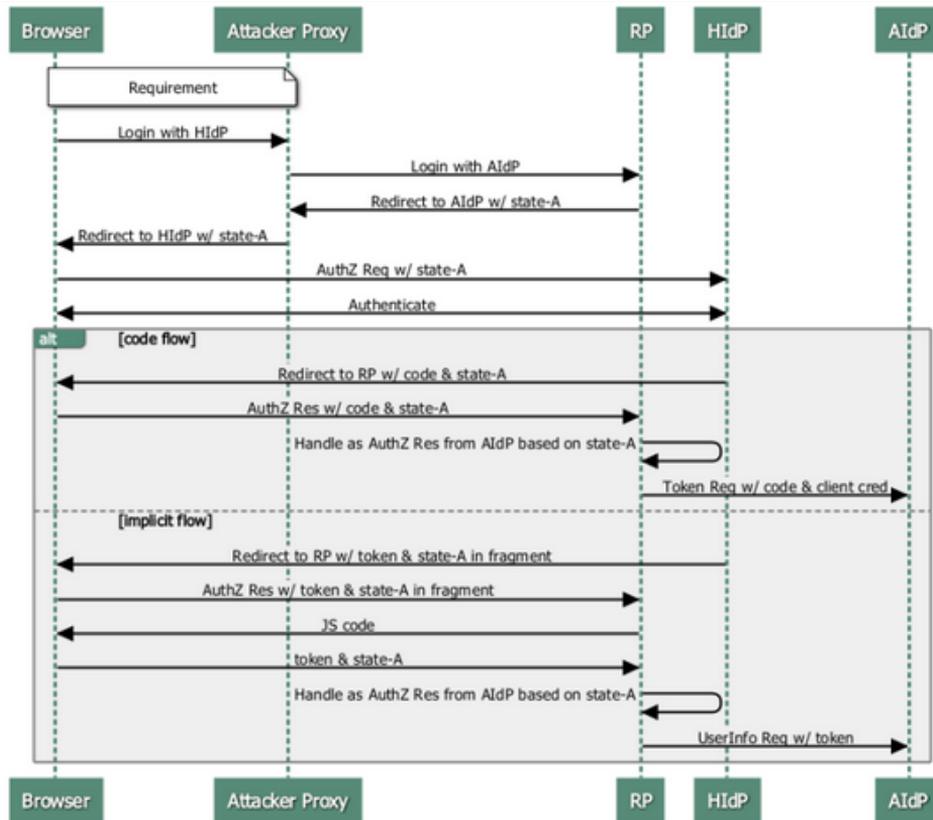
- ✓ المرحلة 1: يحصل المهاجم على رمز الضحية من HIdP.

يبين الشكل (6) خطوات هذه المرحلة [9] وهي كالتالي:

1. ينقر المستخدم النهائي على زر "تسجيل الدخول باستخدام HIdP" من أي صفحة من صفحات مزود الخدمة RP.
2. المهاجم يتصل مع RP ويرسل طلب "تسجيل الدخول باستخدام AldP" إلى RP. بعد ذلك ، يتلقى استجابة إعادة التوجيه عند نقطة نهاية التفويض لـ AldP.

3. يقوم المهاجم بإرجاع استجابة إعادة التوجيه إلى المتصفح بحيث يتم نقلها إلى نقطة نهاية التحويل الخاصة بـ HidP. ومع ذلك أثناء العملية ، تستخدم قيمة الحالة المرتبطة بطلب التفويض لـ AidP الذي تلقاه في الخطوة 2.
4. ينقر المستخدم النهائي على "موافقة" في HidP.
5. يُعيد HidP المستخدم النهائي إلى redirect_uri الخاص بـ RP مع الحالة، مع الرمز المرتبط به.
6. يقوم RP عند تلقي الرمز المميز بتقييم قيمة الحالة وتحديد أن استجابة التفويض من AidP.
7. يرسل RP الكود والرموز المميزة إلى نقطة نهاية الرمز المميز لـ AidP ونقاط نهاية API بحيث يتم تسليم الرموز المميز لـ HidP إلى المهاجم.

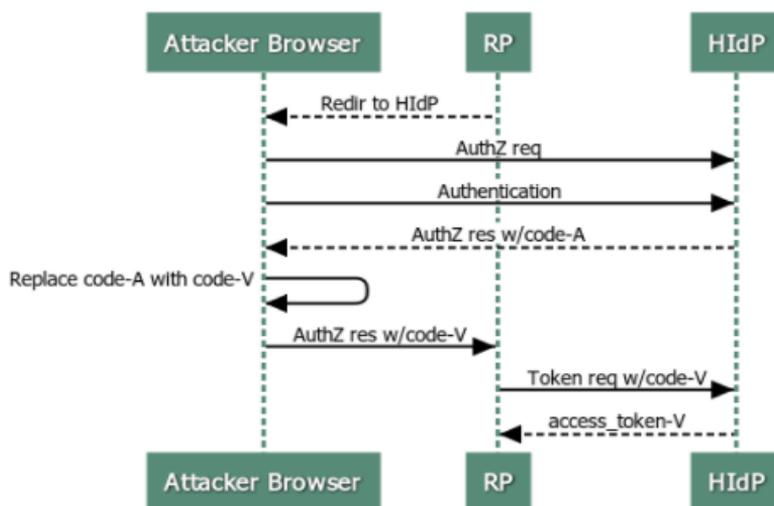
تحليل الثغرات الأمنية في بروتوكول الدخول الموحد Open ID Connect من خلال تطبيق هجمات MIX-UP



الشكل (6) خطوات هجوم ال MIX-UP

✓ المرحلة 2: استخدام رمز الضحية code V .

هنا يتصرف RP كما لو أنه يقدم خدمات للضحية بينما في الحقيقة المستخدم هو المهاجم. إذا أظهر RP البيانات ، يمكن للمهاجم رؤيتها. إذا كان رمز الوصول يسمح لـ RP بتعديل المورد ، فيمكن للمهاجم تعديل مورد الضحية ويوضح الشكل (7) هذه المرحلة.

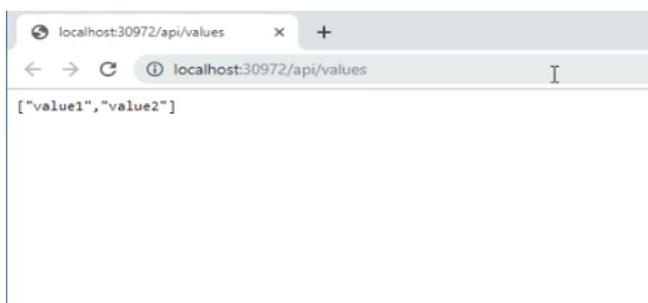


الشكل (7) استخدام كود الضحية من قبل المهاجم

3-6 تنفيذ الهجوم على API :

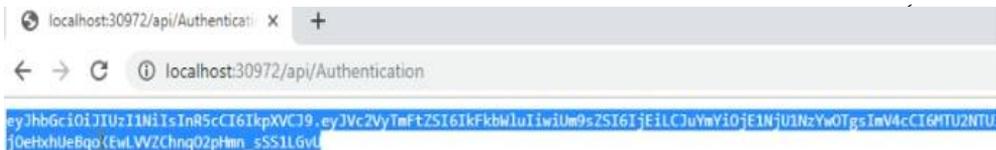
- ✓ عند نجاح الهجوم سنحصل على المعلومات بصيغة JSON.
- ✓ عند تطبيق الهجوم سيتم الحصول على قيم المستخدم والتي تكون محمية قبل الهجوم.

يوضح الشكل (8) القيم التي تم الحصول عليها الخاصة بالمستخدم حيث تمر تخزين قيم المستخدم في سلسلتين مشفرتين الأولى هي 1 value والثانية هي value2 أي أن قيم بيانات المستخدم مخزنة في متحولين ضمن API بالتالي سيتم بناء token المستخدم من متحولين



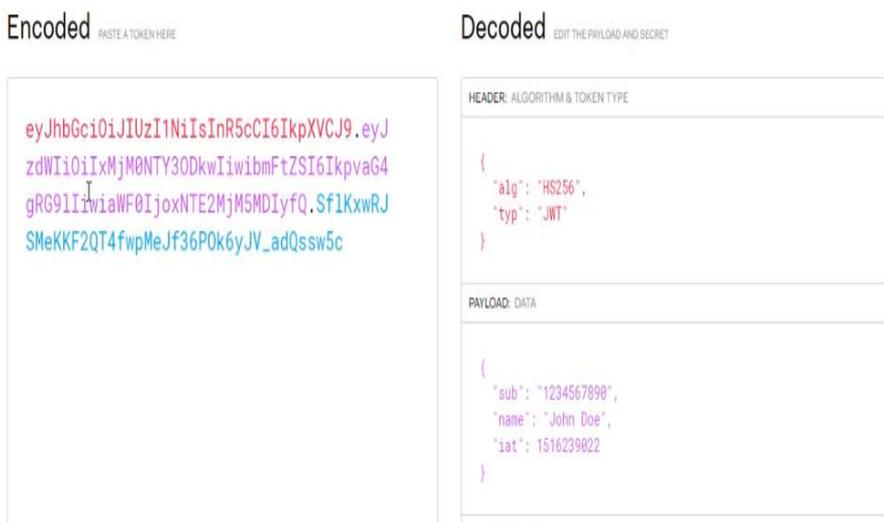
الشكل (8) قيم رموز المستخدم المحمية قبل الهجوم

✓ بعد تطبيق الهجوم نحصل على رمز المستخدم ID_token.



الشكل (9) قيم رمز الوصول id token بعد تطبيق الهجوم

✓ بعد تطبيق الهجوم نحصل على رمز المستخدم id_token والذي يكون مشفر باستخدام jwt سنقوم بفك التشفير باستخدام خدمات jwt بعد فك تشفير id_token نحصل على رموز المستخدم يوضح الشكل 10 عملية فك التشفير.



الشكل (10) قيم رمز المستخدم id token بعد فك تشفيرها

✓ بعد ذلك نحصل على token الذي سنخدمه في تسجيل الدخول والحصول على موارد المستخدم.

تكون نتائج الهجوم واثرها على البروتوكول منحصرة في الحصول على token المستخدم الذي سيستخدمه المهاجم من اجل الوصول إلى البروتوكول حيث سيجتاز حماية البروتوكول ويصل لبيانات المستخدم مما يعني خسارة بيانات المستخدم وحسابه .

6-4 تطبيق الهجوم على المواقع online:

يقوم الهجوم المطبق بسرقة مجموعة من الرموز الخاصة بحساب المستخدم وهي على النحو الآتي في الجدول (1):

الجدول (1) الرموز الخاصة برمز المستخدم id token

الرمز	تنسيق البيانات	المعنى
Alg	String	تشير إلى الخوارزمية التي تم استخدامها لتوقيع الرمز المميز .
Kid	String	لتعين بصمة المفتاح العام الذي يمكن استخدامه للتحقق من صحة توقيع هذا الرمز المميز .
Iss	سلسلة URI المصدر	تعرف المصدر أو خادم التحويل الذي ينشئ الرمز المميز ويُرجعه.
Idp	"سلسلة"، عادة ما تكون URI STS	تسجيل موثر الهوية الذي قام بمصادقة موضوع الرمز المميز
Sub	String	هذه القيمة غير قابلة للتغيير ولا يمكن إعادة تعيينها أو إعادة استخدامها. الرمز معرف ثنائي - وهو فريد من نوعه لمعرف تطبيق معين. إذا قام مستخدم واحد بتسجيل الدخول إلى تطبيقين مختلفين باستخدام معرفين مختلفين للعملاء، سيتلقى هذان التطبيقان قيمتين مختلفتين لمطالبة الموضوع. قد يكون هذا أو لا يكون مرغوباً فيه اعتماداً على متطلبات الخصوصية لديك وهيكلتها.
Hasgroups	Bool	إذا كان موجوداً، فإنه يكون دائماً true، مشيراً إلى أن المستخدم موجود في مجموعة واحدة على الأقل. ويُستخدم بدلاً من مطالبة المجموعات لـ JWTs في تدفقات المنح الضمنية إذا كانت مطالبة المجموعات الكاملة ستوسع جزء URI إلى ما بعد حدود طول عنوان URL (6 مجموعات أو أكثر حالياً).
Exp	string	يشير إلى زمن انتهاء الجلسة مع مزود الهوية
Website	string	يشير إلى نوع مزود الهوية
Aud	string	اسم الموقع الذي يتم استخدام فيه البروتوكول

تحليل الثغرات الأمنية في بروتوكول الدخول الموحد Open ID Connect من خلال تطبيق هجمات MIX-UP

تستخدم هذه الرموز في التعامل مع مزود خدمة البروتوكول وسرقة هذه الرموز يتيح للمهاجم إمكانية الوصول لبيانات الضحية . ولكن بشرط اتاحة إمكانية إعادة التوجيه من قبل مزود الخدمة لحساب المستخدم وهذا ما يسمى بهجوم إعادة التوجيه. بتطبيق الهجوم على حساب gmail حصلنا على الرموز التالية:

```
D:\project\project13\open id connect\ConsoleApp1\ConsoleApp1\bin\Debug\ConsoleApp1.exe
Sub: 2022-11-12-15
aud: 12/11/2022 17:33:17
code:
Alg AEC = AakniGP1NkqEIV63JlFuEG05rppTxp0vuFD86wnP818N6Pfgic_vaaWdnA
Website: .google.com
Path: /
Hasgroups: True
exp: False
Comment:
Iss:
Kid: AEC=AakniGP1NkqEIV63JlFuEG05rppTxp0vuFD86wnP818N6Pfgic_vaaWdnA
Idp: AEC
Sub: AakniGP1NkqEIV63JlFuEG05rppTxp0vuFD86wnP818N6Pfgic_vaaWdnA
aud: 12/11/2022 17:33:17
code:
Alg NID = 511=jX9lE6kXQuAnxCr0EhNxfj61F72C8VPix8L7lMA3RcRfcE4mM1cx0UP2HmoIF9miEN5BIqGfZlBk2b23uQSRr-1aGIZuxlA34Z1deHFhn6azKdYZIWiGDP08PQQ0jRaJ2XiyavAyS0r8aWwiPcOVz336ct_s5m3EmME-mOPc450
Website: .google.com
Path: /
Hasgroups: False
exp: False
Comment:
Iss:
Kid: NID=511=jX9lE6kXQuAnxCr0EhNxfj61F72C8VPix8L7lMA3RcRfcE4mM1cx0UP2HmoIF9miEN5BIqGfZlBk2b23uQSRr-1aGIZuxlA34Z1deHFhn6azKdYZIWiGDP08PQQ0jRaJ2XiyavAyS0r8aWwiPcOVz336ct_s5m3EmME-mOPc450
Idp: NID
Sub: 511=jX9lE6kXQuAnxCr0EhNxfj61F72C8VPix8L7lMA3RcRfcE4mM1cx0UP2HmoIF9miEN5BIqGfZlBk2b23uQSRr-1aGIZuxlA34Z1deHFhn6azKdYZIWiGDP08PQQ0jRaJ2XiyavAyS0r8aWwiPcOVz336ct_s5m3EmME-mOPc450
aud: 12/11/2022 17:33:17
```

الشكل (11) رموز المستخدم بعد تطبيق هجوم MIX-Up على منصة gmail

يبين الشكل السابق الرموز التي حصلنا عليها ومن خلال الشكل نلاحظ ان الهجوم قد نجح وحصلنا على معظم الرموز التي تحدثنا عنها سابقاً ولكن الهجوم لم يصل لرموز مثل الوصول لرموز Idp , EXP وبالتالي نقص في المعلومات الخاصة بالاختراق.

سنناقش في الجدول التالي الهجوم على أكثر من منصة تستخدم البروتوكول وسنقارن بين المنصات وسنذكر معيار هام وهو إعادة التوجيه إلى صفحة الضحية التي تم الحصول على رموزها حيث إعادة التوجيه تعني إمكانية فتح حساب المستخدم والتحكم الكامل فيه عن طريق تطبيق إعادة التوجيه من قبل مزود الخدمة ، لذلك تعتمد الشركات الكبيرة مثل google ، Microsoft إلى حماية مستخدميها من إعادة التوجيه لمنع الوصول للحسابات.

بتطبيق الهجوم على المنصات الموجودة في الجدول التالي (2) سنعتبر عن نجاح الهجوم بعدد الرموز التي وصلنا لها حيث لدينا تسع رموز الوصول لها يعني تحقق الهجوم بنسبة 100 % مع ذكر إمكانية إعادة التوجيه.

الجدول (2) نسب تحقق هجوم MIX-UP على المنصات الشهيرة

المنصة	نسبة الوصول للرموز	إعادة التوجيه من قبل مزود الخدمة
Gmail	7/9=77.7%	غير ممكنة
Facebook	5/9=55.5%	غير ممكنة
Yahoo	8/9=88.8%	ممكنة
Hotmail	9/9=100%	ممكنة
Outlook	4/9=0.44%	غير ممكنة

نلاحظ من الجدول السابق ان الهجوم قد نجح من اجل جميع المنصات الشهيرة وبنسب جيدة ، يكمن الاختلاف في نسب تحقق الهجوم لأسباب تتعلق بطبيعة استجابة مزود الهوية للهجوم حيث يوجد مزودات تتيح إمكانية حقن الأكواد ضمنها اثناء الجلسة في حين لا تتيح سيرفرات أخرى هذه الامكانية ، تتغير أيضاً النتائج المتعلقة بعدد الرموز التي تم الوصول إليها تبعاً لنوع اصدار البروتوكول المستخدم ضمن المنصة.

7- الاستنتاجات:

تم في هذا البحث تقديم عرض لآلية عمل بروتوكول OpenID وطريقة تبادل المعلومات باستخدامه كما تم تقديم عرضاً لأهم الثغرات الأمنية وآلية تنفيذ الهجمات وتم تحديد أهم العيوب في تصميم البروتوكول ، تم تنفيذ هجوم MIXup على البروتوكول وسرقة token المستخدم وبالتالي الوصول لبيانات المستخدم في حالة الهجوم Offline باستخدام بيئة MVC ASP . تم تطبيق الهجوم على حسابات تم انشاءها على منصات شهيرة وكانت نتائج الهجوم محققة بقيم مختلفة تتعلق بطبيعة الجلسة المنشأة من قبل مزود الهوية ، قامت اغلب المنصات الشهيرة بحماية الحسابات ضمنها من هجوم إعادة التوجيه عن طريق إضافة قيم ضمن الجلسة يتم انشائها من قبل المتصفح (بصمة التوجيه لمنع الوصول للحساب عن طريق أساليب إعادة التوجيه البرمجية ، وإضافة حماية تتعلق بالتأكد من قبل المستخدم برقم هاتف او بريد الكتروني بديل ولكن تتيح الرموز التي تم الوصول إليها إمكانية انشاء هجوم إعادة توجيه عن طريق خداع الضحية وبأسلوب صفحة زائفة ليتم تأكيد الحساب عليها والحصول على معلومات إعادة التوجيه عبر جلسة المستخدم وهذا ما سيتم انشاءه مستقبلاً.

المراجع References

- [1] Mainka,C, Mladenov,V, Schwenk,J, 2016. **On the security of modern Single Sign-On Protocols – Second-Order Vulnerabilities in OpenID Connect.**
- [2] Mainka,C, Mladenov,V, Schwenk,J, Wich,T, 2017 . **SoK: Single Sign-On Security – An Evaluation of OpenID Connect,** IEEE European Symposium on Security and Privacy (*EuroS&P*), pp. 251-266.
- [3] Mainka,C, Mladenov,V, Schwenk,J, 2016. **Do not trust me: Using malicious IdPs for analyzing and attacking Single Sign-On.** IEEE European Symposium on Security and Privacy (*EuroS&P*), pp. 321-336 .
- [4] Jorge,N, Marta,B , 2019. **Understanding and mitigating OpenID Connect threats. computers & security,** Journal of Computers & Security, VOL.84. 1 – 1 6.
- [5] Wanpeng Li, Chris Mitche, 2020 - **User Access Privacy in OAuth 2.0 and OpenID Connect,** IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (*EuroS&PW*), pp. 664-6732.
- [6] Fett,D, Küsters,R, Schmitz,G , 2017. **The Web SSO Standard OpenIDConnect: In-DepthFormal Security Analysis and Security Guidelines.**IEEE 30th Computer Security Foundations Symposium (*CSF*), pp. 189-202.

- [7] Li,W, Mitchell,C 2016, **Analysing the Security of Google's implementation of OpenIDConnect**. International Conference on Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment.
- [8] Mladenov, V, Mainka, C, 2017. **OpenID Connect Security Considerations**.
- [9] Sakimura, N. IdP, 2016 **Mix-up Attack on OAuth**, "
<https://nat.sakimura.org/2016/01/15/idp-mix-up-attack-on-oauth-rfc6749/>".

تحسين بارامترات جودة الخدمة في شبكات انترنت الأشياء باستخدام البروتوكول (OpenFlow)

طالب الدراسات العليا: م. بشرى علي حسن قسم هندسة الاتصالات

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين

اشرف الدكتور: د. مثنى القبيلي كلية الهندسة - جامعة المنارة

ملخص

يفرض التطور الواسع لمفهوم إنترنت الأشياء (IoT) متطلبات معقدة على كل من الشبكات وآليات الاتصال الأساسية بين الكائنات الذكية غير المتجانسة التي تتواصل عبر الإنترنت، حيث تشكل أجهزة الاستشعار الجزء الأكبر من أجهزة إنترنت الأشياء، وهذه الأجهزة غير متجانسة من حيث تقنيات الاتصال ومن حيث المتطلبات والقدرات (محدودية الطاقة والمعالجة والذاكرة). التدفقات الهائلة من هذه الأجهزة سوف تخلق طلب أكبر على الشبكة الأساسية الموجودة حالياً نظراً لتطبيقاتها المتنوعة والمعتمدة على متطلبات المستخدمين، وهذا الأمر سوف يؤدي أيضاً إلى متطلبات جودة خدمة متفاوتة، وبالتالي كان هناك حاجة للحفاظ على ضمانات جودة خدمة مختلفة تعتمد على التطبيق المستخدم.

تبحث هذه الدراسة في أهمية استخدام تقنية الشبكات المعرفة بالبرمجيات SDN (software defined networks) في تلبية وتحسين متطلبات جودة الخدمة في شبكة منزلية والتي تحتوي على تطبيقات متنوعة وأجهزة غير متجانسة، وبالتالي يجب

تحسين بارامترات جودة الخدمة في شبكات انترنت الأشياء باستخدام البروتوكول (OpenFlow)

الأخذ بعين الاعتبار تعدد أنواع التدفقات في الشبكة سواء تلك التدفقات التي تتطلب عرض حزمة كبير أو التدفقات الحساسة للتأخير أو التفاوت بالتأخير أو لفقدان الرزم حسب المهمة والتطبيق المطلوب.

في هذا البحث يتم تطبيق إعدادات جودة الخدمة (QoS) في بيئتين مختلفتين: (1) في شبكة IP تقليدية و(2) في شبكة (OpenFlow) وتتم مقارنة السيناريوهين للتأكد من فوائد استخدام تقنية SDN وبروتوكول (OpenFlow) في تحسين بارامترات جودة الخدمة.

الكلمات المفتاحية: الشبكات المعرفة بالبرمجيات، شبكات انترنت الأشياء، جودة الخدمة، الشبكات المنزلية.

Improve the Quality of Service parameters in Internet of Things Networks Using OpenFlow protocol

Abstract

The extensive development of the concept of the Internet of Things (IoT) imposes complex requirements on both networks and basic communication mechanisms between heterogeneous intelligent objects communicating over the Internet, where sensors constitute the most of IoT devices, and these devices are heterogeneous in terms of communication technologies, requirements and capabilities (limited power, processing and memory), massive flows of these devices will create greater demand on the existing core network due to their diverse applications that depend on user requirements. This will also lead to different QoS requirements, thus there was a need to maintain different QoS guarantees depends on the application used.

Our study examines the importance of using SDN to meet and improve the QoS requirements in a home network, which contains various applications and heterogeneous devices, therefore the multiplicity of types of flows in the network must be taken into account, whether those flows that require large bandwidth, or those that are sensitive to delay or jitter or packet loss.

In our simulations, QoS configurations are implemented in two different environments: (1) in a traditional IP network and (2) in an (OpenFlow) network. Our results confirm the benefit of using SDN technology and OpenFlow protocol in improving QoS parameters.

Keywords: *software-defined networks, Internet of things networks, quality of service, home networks.*

1- Introduction:

The growth and complexity of home networks has led to an increase in the difficulty of providing quality of service, each home network is unique and has different requirements based on the needs of users. Some home users' devices may require more bandwidth and other applications may require priority for certain traffic over others. This can be a particular concern for real-time applications such as VOIP or bandwidth-intensive applications such as live video streaming and video conferencing [1].

Existing networks can provide varying QoS levels for different applications but due to the distributed level of control, current networks are complex to configure, static and require a lot of management intervention [2].

Software Defined Networking is a new approach to the implementation, operation and maintenance of networks, and this concept has been developed to make networks more flexible and easily configurable [3]. This is done by separating the data forwarding functions from the logical control functions of the network devices and adding an SDN controller that can configure several devices. Simultaneously, this makes the network more programmable by providing a central control point for the network, SDNs have received increasing attention as a new approach capable of improving QoS and enhancing home networking performance [4].

1-1 Software Defined Networks consist of three levels:

Software Defined Network (SDN) has emerged as a promising network architecture which provides necessary abstractions and novel APIs to facilitate network innovations and simplifies network resource management by breaking the conventional network into

multiple planes. All these SDN planes interact through open interfaces or APIs, these planes are [5]:

data plane: Consists of network devices, which are controlled via the SBI (Southbound Interface) by the control plane [5].

Control plane: It is responsible for programming of network elements such as switches through the SBI, while the SDN controller is a logical entity that defines and configures the network infrastructure based on the requirements of the application layer [5]

Applications plane: It consists of the services and applications provided by the network [5].

1-2 Software Defined Network Interfaces:

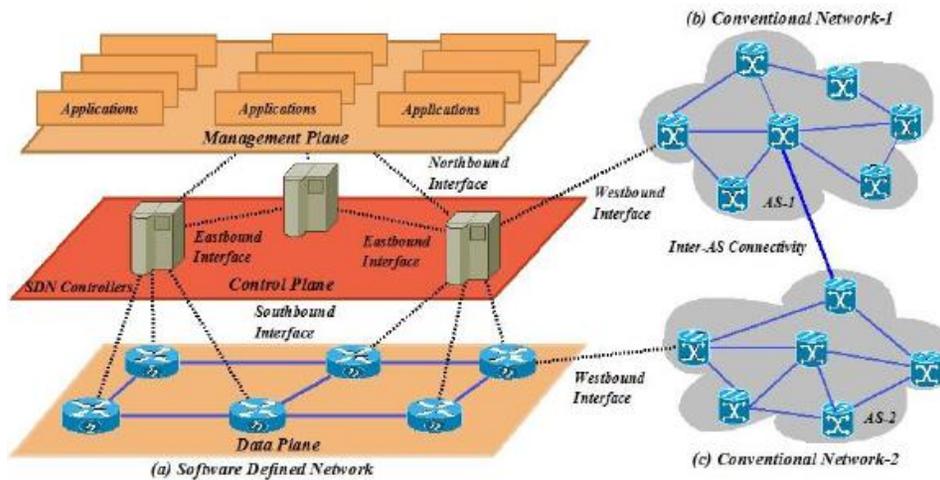
(northbound interface NBI): is the logical interface between the SDN controller and the software hardware running in the application layer [5].

(southbound interface SBI): The logical interface that connects the SDN controller and the network element that operates at the infrastructure layer (data plane). The OpenFlow protocol is the agreed standard interface and it is an open source protocol [5].

(Westbound interface WBI): used to connect an SDN network with another SDN network [5].

(Eastbound interface EBI): used to connect between SDN network and other networks (not SDN) [5].

Figure (1) shows the difference between legacy network architecture and SDN network architecture.



Figure(1): SDN(a) vs conventional network(c) architecture

1-3 Home Networks

Home networks consists of a variety of telecommunication terminal systems or hosts (such as desktop computers, laptops, smart phones, and tablets) and a wide range of IoT devices and embedded devices, managing home networks faces unique challenges, as home networks evolve and thus become more complex and unmanageable [6]. Another important issue when managing home networks is the low-level configuration required for different applications.

In traditional networks, the control plane and the data plane are located in the network elements (mainly network switches and routers) and this means that each device must be configures separately. SDN aims to make the network more reconfigurable and programmable by separating between the data plane and control plane [7], while the data plane remains within the network elements, the control plane is transferred to an external controller. So the main difference between SDN and traditional networks is

the presence of the SDN controller, which forms a central control point.

There are also advantages to integrating SDN technology with home networks according to, where the centralized level of control can offer efficient and equitable resource allocation and thus make maximum use of the available bandwidth, and this allocation can be done between several home networks as well as between several applications within a single home network [7].

1-4 Quality of Service in Software Defined Networks

QoS is a set of processes and technologies that enable the management and control of network resources by prioritizing certain types of time-sensitive or bandwidth-hungry data over non-urgent data. This is done by differentiating and classifying traffic and then apply different behavior policies to different types of traffic. The main objective of QoS is to achieve the best possible values of key performance indicators KPIs such as (jitter, bandwidth, packet loss, latency) [8].

In order to achieve QoS, application flows must be dissimilar, competing for bandwidth, and network resources must be allocated to ensure forwarding of higher priority traffic, which allows network resources to be appropriately distributed. This process often requires knowledge of the current network state, so that make the right decisions regarding packet forwarding [8].

With the introduction of the SDN controller, in addition to translating the requirements of the application layer, it provides applications with an abstract view of the network, the state of the network is obtained for example by sampling the packets passing through the controller that consist of various data, such as statistics or events. By using this information, control policies and SLAs can be defined by the administrator at a higher abstraction level and

even dynamically tuned, these mechanisms have proven to be beneficial for QoS.

QoS in OpenFlow is supported by two features [9]: (1) queues and (2) meter tables. Queues are a mechanism that applies to exit packets and they applied to the port of an OpenFlow switch, on the other hand, meter table allows monitoring of the entry rate of a flow and performs operations based on Flow rate. There are two types of actions that can be applied: packet dropping or DSCP re-marking of packets with new lower priority DSCP values.

The meter has been introduced in OpenFlow 1.3, it is an element on the device that measures and controls the rate of packets entering the device and allows flows to be passed to specific meters that perform an action. On these flows, the meter table consists of a set of meter entries and each meter entry, as shown in Figure (2), consists of [10]:

- (Meter Identifier) which determines which flow belongs to the meter.
- (Counters): that counts the processed packets.
- (Meter Bands): which measures and determines the rate of each flow and the type of action to be applied.

Meter Identifier	Meter Band	Counters
Meter ID id	flags KBPS	Bands Type: DSCP_REMARK, rate, prec-level

Figure(2) : components of meter entry in meter table

Bandwidth rate can be specified in (meter band) and any flow connected with a meter whose packets are directed to the specified meter. The meter measures the packet rate for this flow and if the measured rate is higher than the rate specified in the meter band then (meter) activates appropriate meter band [10].

The meter table is a new feature introduced in OpenFlow 1.3 that is associated with a specific flow entry as opposed to the queue which is a property associated with a specific switch port.

The meter band specifies the allowed rate and the type of action to be applied in case the specified threshold is exceeded.

- The first type (drop): Where packets that exceed the specified threshold are thrown, and the process is similar (queue min-rate).
- The second type (DSCP remark): This type increases the probability of dropping of packets into the DSCP field (IP header).

The metering is complementary to the queuing mechanisms that were previously developed and they differ from each other in several differences [10]:

- (Queue) can guarantee a minimum flow rate (minimum rate) in the switch using (traffic shaping & traffic policing), it is not possible to do this with (meter table), it can only specify a maximum flow rate (maximum rate).
- Instead of limiting the process of dropping the non-conformant packets in the queuing technique, it is possible in (meter table) to increase the probability of dropping them and change their (DSCP) value and give them a lower priority than the rest of the packets, and thus packets from one flow can have different (DSCP) values and therefore will various treatment processes are applied to it.
- (Queue) cannot be configured through the (OpenFlow channel), while the (meter table) can be created, modified and deleted using the (OpenFlow) protocol.

1-5 SDNs features

Six features of SDNs that can be useful in providing QoS for a network [11]:

- Flow-Based Forwarding: Forwarding the different application flows with different priorities.
- Dynamic flow Rule Update: Update the installed flow rules in real time based on Network link properties.
- Flow and Packet Analysis: Obtaining and classifying field headers.
- Flow Path Analysis: Using the overall view of the network to maintain flow states.
- Traffic Monitoring: Get network statistics at several levels (eg per-port/per packet/per flow)
- Queue configuration: The queue can be configured using southbound interfaces such as the OVSDB protocol.

1-6 OfSoftSwitch13 (CPqD)

Most of the OpenFlow hardware switches support (meter table) presented in OF1.3, but the open vSwitch support this feature in version (2.10) and beyond , so in this research we used the CPqD's ofsoftswitch13 to implement our scenario .The OfSoftSwitch13 (CPqD) is another switch that is widely used in the research community. It is an experimental switch forked from the Ericsson Traffic Lab 1.1 SoftSwitch implementation with changes in the forwarding plane to support OF1.3. The Ofsoftswitch13 is running in the user space and it also supports multiple OpenFlow versions and a variety of OpenFlow features [12].

2- Problem description

Conventional networks can provide different levels of QoS for different applications but because of the distributed level of control,

current networks are complex to configure, static and require a lot of management intervention, and are limited to support certain types of network environments and lack fine-grained traffic control. Where QoS mechanisms are subject to several limitations regarding flexibility, which can affect the key performance parameters of QoS.

3- Research objective

This research aims to make a comparison between two different scenarios in managing a home network (traditional network and SDN network) and to clarify the benefits of using software-defined networks in network management through the use of a (RYU) controller that manages network devices through the (OpenFlow) protocol. The use of (metering) feature in order to fine-grained control of the network traffic, thus improve the performance of QoS parameters and meet the requirements of different applications.

4- Related Works

Multiple studies have focused on improving QoS by utilizing SDN control components:

4-1 Study (1):

In [13] proposed an SDN-based solution to ensure QoS at the network layer based on multipath routing that uses OpenFlow queue support to maximize resource efficiency in line with network user requirements and reduce (overproviding). This solution focusses on the end-to-end QoS guarantee of individual data flows and effective management of open virtual switches OVS, the results show that the computational cost to find a solution increases linearly with the number of nodes

4-2 Study (2):

[14] explored a novel solution for quality of service performance for streaming mission-critical video data in OpenFlow SDN networks. A Meter Band Rate Evaluator (MBE) Mechanism is proposed based on a new band rate description language to improve the native QoS capability of OpenFlow and OpenDaylight, the results revealed a significant percentage increase in QoS performance when the MBE was enabled, these findings provide support and validation for the effectiveness of the MBE to enhance the native capability of OpenFlow and OpenDaylight for efficient QoS provision.

4-3 Study (4):

In [15] The research work presented identifying and addressing critical aspects of SDN-based QoS provision using stream aggregation techniques, the bandwidth management scalability in SDN is proved based on throughput analysis by considering two conditions 1) Per-flow QoS operation and 2) QoS by using DiffServ operation in the SDN environment with Ryu controller. The result shows that better performance QoS and bandwidth management is achieved using the QoS by DiffServ operation in SDN rather than the per-flow QoS operation.

4-4 Study (5):

Authors in [16] explored a new solution to the quality of performance of mission-critical video data stream service in SDN network. Counter Band Rate Evaluation (MBE) mechanism has been developed, MBE is a physical component Added to the OpenFlow metric table to dynamically evaluate and adjust traffic rates. The results determined that the QoS performance had a significant increase in the percentage when the MBE was active, Average delay with the MBE disabled was 546.7ms compared to

206.6ms with the MBE, MBE significantly reduced jitter to a median average of 1430 compared to 1906.5 without the MBE. similarly there was a substantial minimization of packet loss when the MBE was active, a consistent average of under 5% across all tests, compared to between 5-15% when the MBE was inactive

4-5 Study (6):

According to the study [17], a comprehensive comparison between the performance of EPC and SDN-based EPC regarding latency, jitter, and packet loss is introduced, Various levels of workload are applied to test the robustness and stability of both EPC and SDN-based EPC designs. The results show that SDN-based EPC significantly outperforms its legacy counterpart in all three QoS metrics. SDN-based topology reduces the latency by 21-27%, for the jitter It shows a performance of 42% to 45% better than the legacy network, the upper bound of packet loss in the SDN-based network does not exceed 11.5%, while it is more than 12.2% in the legacy network.

4-6 Study (7):

In [18] the authors analyzed the latency and jitter of SDN against a conventional network Through simulation, it is shown that SDN has an average three times lower jitter and latency per packet that translate to improved throughput under varying traffic conditions, for the conventional network architecture, the minimum RRT for packets sent is 4.749ms with an average RTT of 7.256ms and a maximum RRT of 10.111ms. While for SDN architecture, the minimum RTT is 0.040ms with an average RTT of 1.969ms and a maximum RTT of 35.507ms. SDN has an overall performance in terms of minimum and average latency compared to the conventional network. With an average latency of over 3x lower than that of the conventional network.

4-7 Study (8):

[19] introduced a novel routing algorithm based on SDN, this algorithm jointly considers bandwidth, delay, and packet loss and automatically deploys routes for different layers in SVC streaming. Comparing to conventional methods, this algorithm reduces the packet loss rate by more than 10% and improves the quality of the received Video sequence

4-8 Study (9):

[20] multiple scenarios experimented on the simulation tool of Mininet, Ryu Controller and iPerf. Ryu Controller is tested in the simulation environment by observing throughput of the controller and checked its performance in dynamic networking conditions over Mesh topology by exponentially increasing the number of nodes until it supported tested on high end devices

4-9 Study (10):

[21] employed Software-Defined Networking (SDN) to make QoS awareness for the special live-soccer event applications, in which the QoS-aware routing mechanism is proposed, called LSEA. Meanwhile, delay, jitter, and packet loss rate are considered as three objects, on this basis, the improved Dijkstra routing algorithm and SDN-based disjoint routing algorithm are devised, the experimental results demonstrate its feasibility and efficiency

4-10 Study (11):

[22] was taken advantage of the flexibility offered by SDNs and install rules in network switches and the goal is to use an alternative path with higher available bandwidth instead of using the default shorter path used by all routing protocols in the current network, it evaluated these new mechanisms with experiments and compare them with existing approaches

6- Simulation environment

6-1 simulation tools:

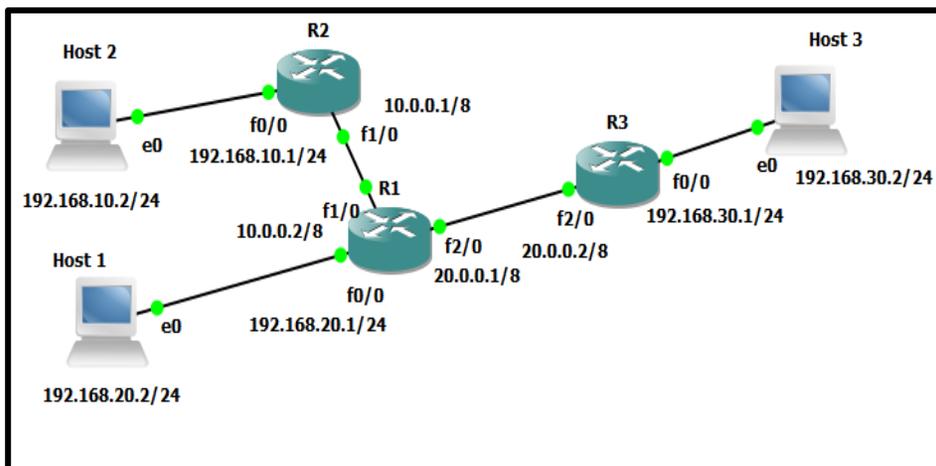
A set of open source software was used:

- Network Emulator (Mininet) to emulate SDN network
- Network emulator (gns3) to emulate the traditional network.
- (iPerf tool): to generate traffic in network.
- (Miniedit): To plot the network topology.

In this paper, we will make a comparison between two scenarios: in the first scenario, a traditional network is used and several types of traffic are sent and tested, in the second scenario, network (SDN) and the concept of (meter table) provided by the OpenFlow protocol is used, the results show the benefits of using (SDN) in improving the basic network quality of service parameters (throughput, packet loss and jitter).

6-2 The first scenario:

A traditional network consisting of three routers (R1,R2,R3) and each router connected to a host (h1,h2,h3) as shown in Figure (3).



Figure(3): used topology in the first scenario

Traffic policing is implemented to control network traffic where QoS configurations are set on router's ports for three traffic classes: voice class (highest priority), video class (medium priority), and default traffic class (web browsing or email default class) with (lowest priority) and each class is marked with a specific DSCP value as in Table (1):

Table (1): The tested traffic classes and their DSCP values

class	DSCP value
Default class	0 (DF default forwarding)
Voice class	46(EF expedited forwarding)
Video class	10(AF11)assured forwarding

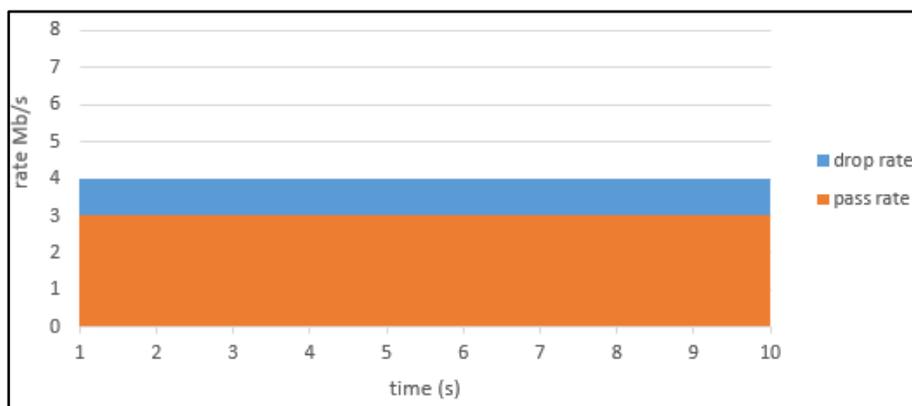
- We specify a maximum packet traffic limit and the default procedure in conventional IP networks is: the packets that exceed the specified threshold are dropped.
- Three class maps are created for each of the three traffic classes using the class-map command.
- A policy map named (policy-map2) is created using the (policy-map) command that specifies the procedures to be followed with each of the three traffic classes defined in the class map.
- Maximum voice packets are set to (3 Mb/s) and packets exceeding this threshold will be dropped.
- (80%) of the remaining bandwidth is dedicated for video packets and (20%) for default packets, which means video packets will be dropped when they exceed (5.6Mb/s) and default packets will be dropped when they exceed (1.4Mb/s).
- The policy map is attached to the outbound direction interfaces to be applicable.

Table (2): the sent rate for the three types of traffic & traffic policing applied

Traffic type	Traffic sent rate	traffic policing process applied
voice	4Mb/s	30% of the total bandwidth
video	7Mb/s	80% of the remaining bandwidth
default	3Mb/s	20% of the remaining bandwidth

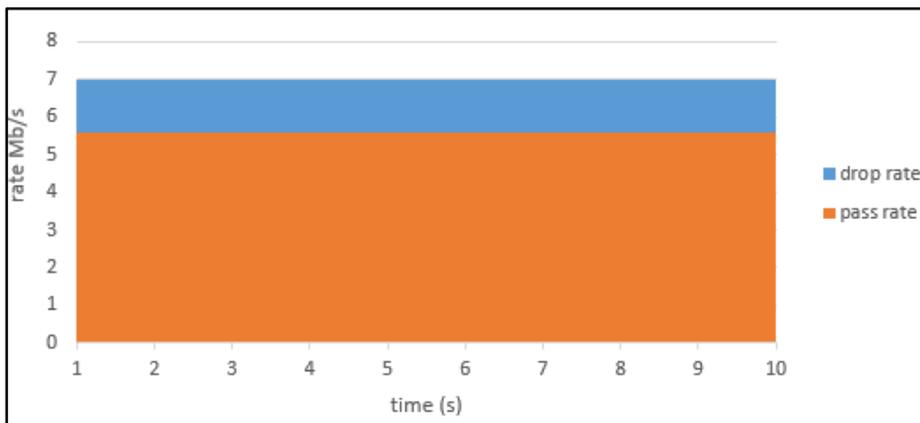
From the results of the experiment, we note that:

For voice packets, the packets that exceed the specified threshold are dropped (3Mb/s) and the figure (4) shows the pass rate and drop rate for packets:



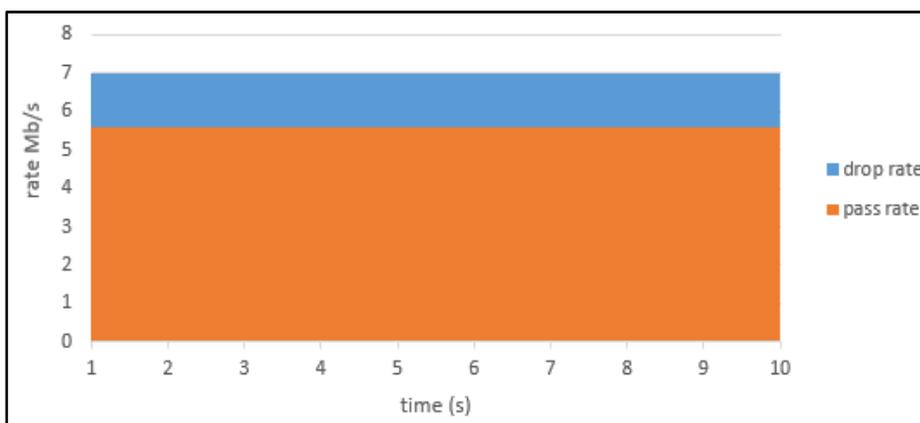
Figure(4): pass rate and drop rate for voice traffic

For video packets, the packets that exceeded (5.6Mb/s) were dropped, figure (5) shows the pass rate and drop rate for packets:



Figure(5): pass rate and drop rate for video traffic

As for the default traffic packets, the packets that exceeded (1.4mb/s) are dropped, and figure (6) shows the pass rate and drop rate for packets:

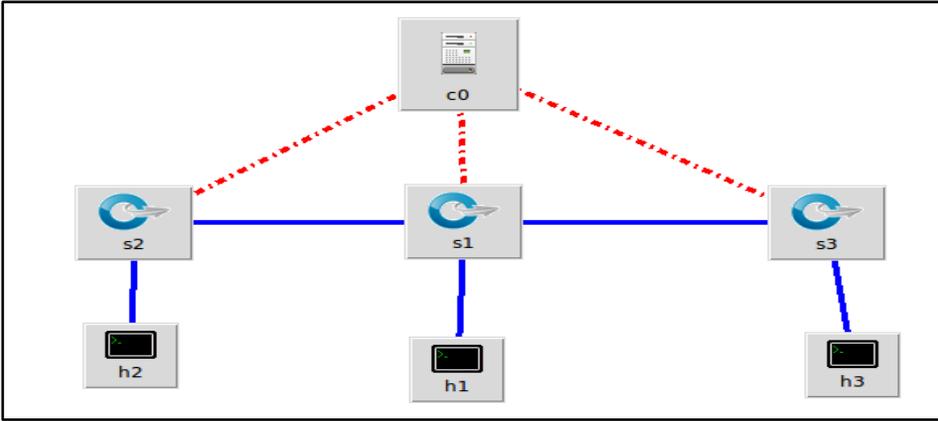


Figure(6): pass rate and drop rate for default traffic

6-3 The second scenario

In this scenario, an emulated network (SDN) consisting of a controller (RYU) and three switches that support open flow protocol (OpenFlow switches) in addition to a terminal device (hosts) that connects to each switch, (python script of the topology (myqos_metering.py) is in the directory

(Mininet/examples/myproject), the figure (7) represents the network topology used:



Figure(7): used topology in the second scenario

The switch used in this scenario is CPqD's ofsoftswitch13 switch. We chose this switch because it supports the metering feature, we will configure three main types of traffic (voice traffic, video traffic, and default traffic) and each class has a DSCP value that is specified as its priority, an additional class for video traffic that exceeds the specified threshold as in Table (3).

Table 1: Traffic classes with queues assigned to each class

Queue ID	Min rate(kbps)	Traffic class	DSCP value
1	80	Default	0 (DF)
2	120	Video(remarked	28(AF32)
3	500	video	26(AF31)
4	300	voice	46(EF)

In traditional IP networks, the default procedure is to drop all non-conformant packets that exceed the threshold specified in traffic policing process as seen in the first scenario, in this scenario the metering features in OpenFlow protocol is used, Video packets are

passed to (meter) with maximum traffic rate of (300kb/s). This meter measures the flow rate of video traffic and then re-marks packets exceeding (300kb/s) with lower priority but higher than the default class traffic priority.

The voice has been assigned 300 kbps and given the highest priority in terms of forwarding (DSCP=EF=46), the video class has been given the value (DSCP=AF31 & drop rate=low) , the configurations are set to pass the video packets in the switches (s2) (s3) on a meter entry so that if the traffic in the video class exceeds 300kbps, the non-conformant packets will be re-marked with a value of the same class but with a higher drop probability (DSCP=AF32 & drop rate=medium), but will have a higher priority than the default traffic.

Previous queues are allocated on switch ports (s1) within the script (myqos_metering.py) which represents the topology used in this scenario

The speed of the switch ports is set to (1Mbps) by modifying the file (netdev.c) located under the directory (ofsoftswitch13/bin) and then rebuilding the switch.

Then, eight flow rules are installed within the switch (s1) in order to direct each class of traffic to its own queue as shown in Table (3).

Two flow rules are installed in each of the switches (s2) (s3) in order to set the meter to pass the video packets through according to Tables (4) (5):

Table 2: meter table configuration in s2,s3

priority	DSCP	Meter ID	QoS ID
1	26	1	1

Table 3:the type and the rate of band in meter table for video packets

Meter ID	flags	Bands
1	KBPS	Type:DSCP_REMARK,rate:300000,prec_level:1

Figure (8) shows the flowchart of our implementation of the second scenario:

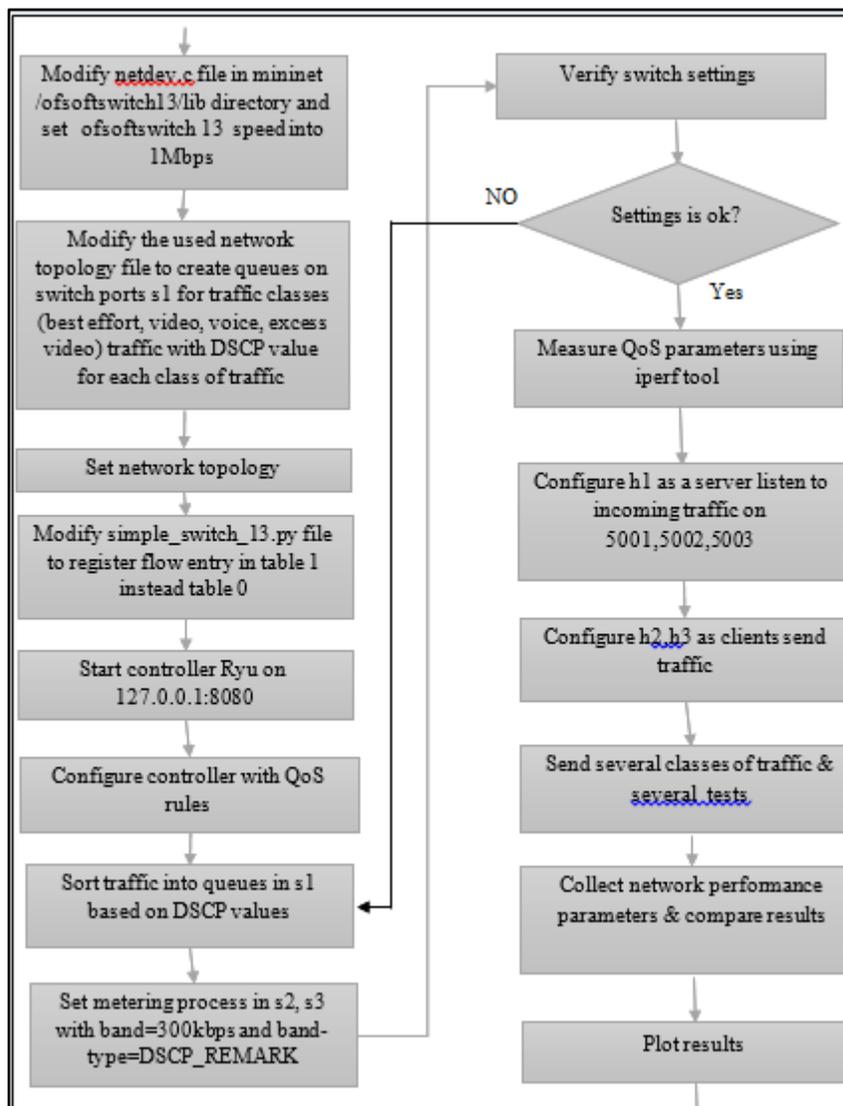


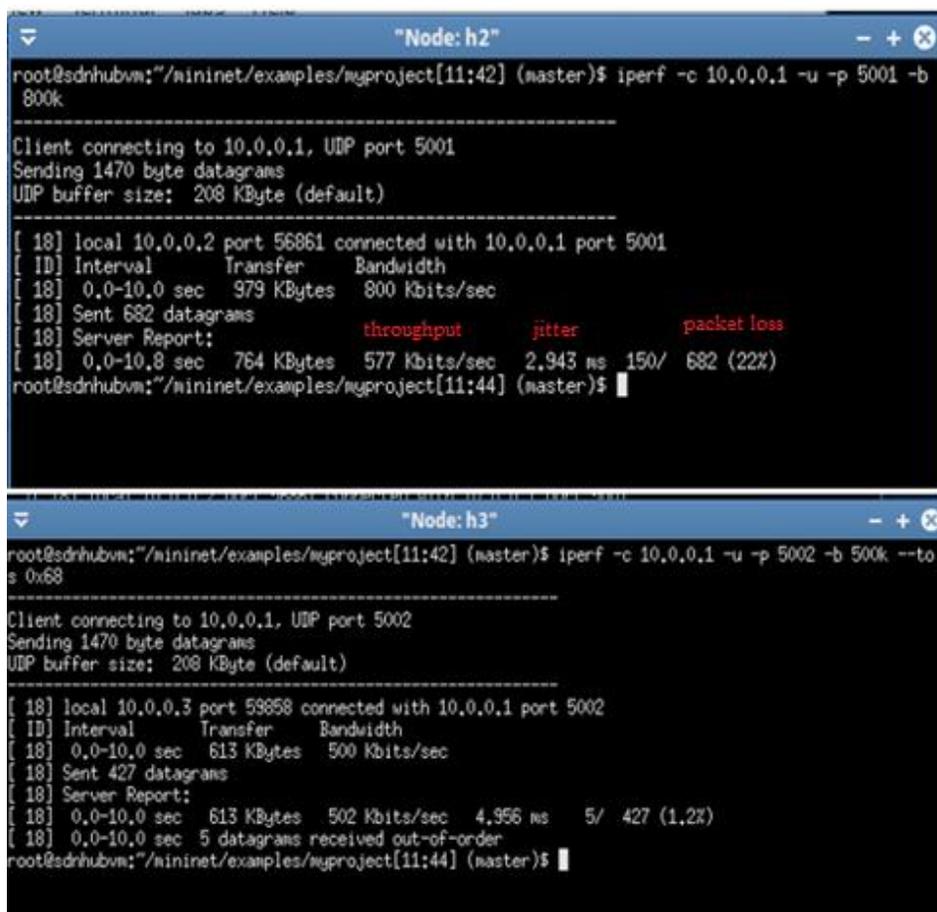
Figure 8: shows the flowchart of our implementation of the second scenario

7- Results and discussion:

We use the tool (iPerf) to generate traffic in network, we set the device (h1) to act as a server and listen on ports (5001,5002,5003), and the two devices (h2) and (h3) as (clients) to send data to (h1). We do several tests for different types of traffic.

Test 1:

In this test, best effort traffic (800kbps) is sent from device (h2) to device (h1) on port (5001) and video traffic (500kbps) exceeds the specified threshold by (200 kbps) from device (h3) to device (h1) on port (5002), the results are shown in figure (9).



```
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:42] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -u -p 5001 -b 800k
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.2 port 56861 connected with 10.0.0.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec  979 KBytes   800 Kbits/sec
[ 18] Sent 682 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-10.8 sec  764 KBytes   577 Kbits/sec  2,943 ms 150/ 682 (22%)
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:44] (master)$

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:42] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -u -p 5002 -b 500k --to s 0x68
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5002
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.3 port 59858 connected with 10.0.0.1 port 5002
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec  613 KBytes   500 Kbits/sec
[ 18] Sent 427 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-10.0 sec  613 KBytes   502 Kbits/sec  4,956 ms 5/ 427 (1.2%)
[ 18] 0.0-10.0 sec  5 datagrams received out-of-order
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:44] (master)$
```

Figure (9): first test results

Figures (10), (11) and (12) show the graph of the results of the first test for the two traffic categories.

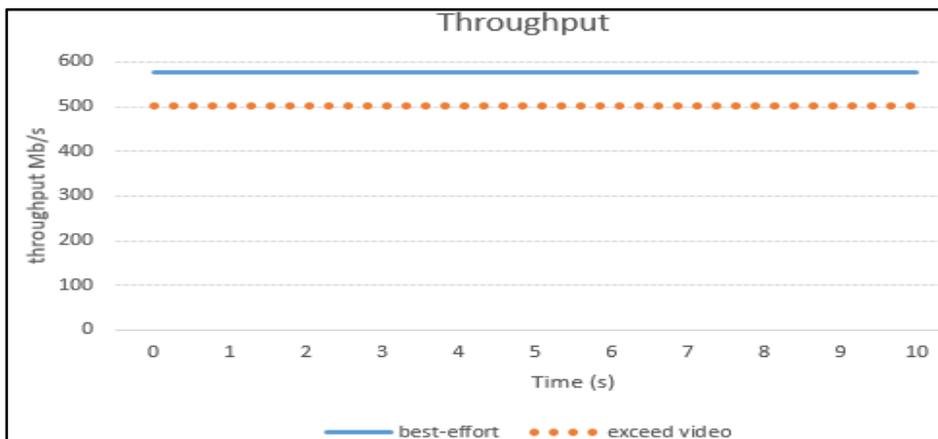


Figure (10): throughput rate of traffic in first test

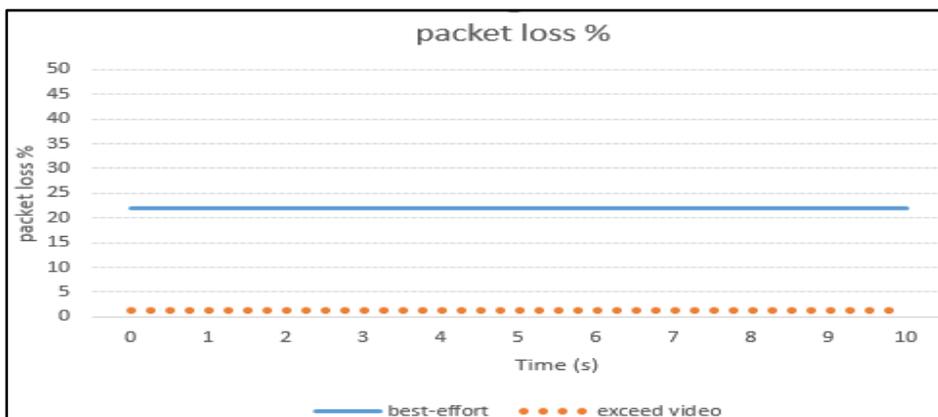


Figure 11: packet loss rate of traffic in first test

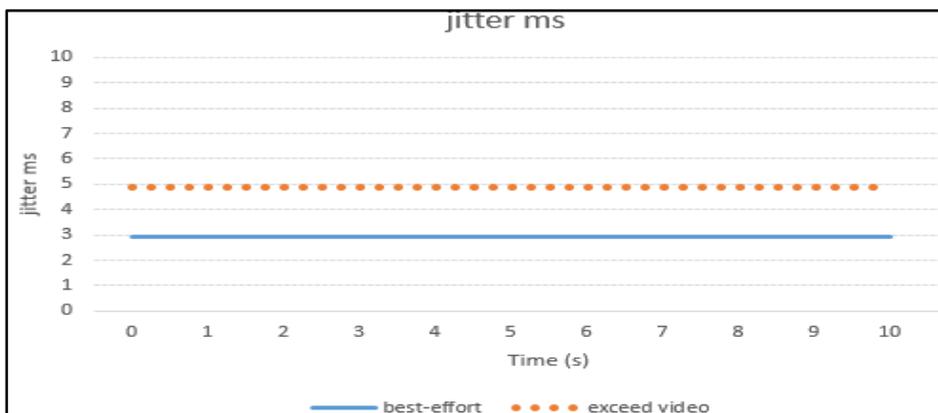


Figure 9: jitter of traffic in first test

We notice that video traffic that exceeds the agreed bandwidth (300kbps) has a higher priority than the default traffic and its full required bandwidth is guaranteed(500kb/s) and packet loss is minimal (1.2%) compared to the default Traffic (22%) even for packets that exceed the threshold specified in (meter band).

Test 2:

In this test, best effort traffic (500kbps) is sent from device (h2) to device (h1) on port (5001), video traffic (600kbps) exceeds the specified threshold from device (h2) to device (h1) on port (5002), video traffic within the specified rate (300kbps) from device (h3) on port (5003), the Figure (13) shows The graph of the results of the second test.

We notice that video traffic that does not exceed the specified rate is guaranteed its full bandwidth(300kb/s) and packet loss is equal to zero(0%), video traffic transmitted fairly (600kbps) has higher throughput(520kb/s) and lower packet loss(2.5%) than the default traffic transmitted at a rate (500kbps), the throughput and packet loss for default traffic are (330kb/s) (22%) respectively, we notice that the jitter is (130,999ms) for video traffic that exceeds the

specified threshold because the non-conformant packets are re-marked with new (DSCP) value and sent with lower priority.

```

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:47] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5002 -b 600k --tos 0x68
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5002
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.2 port 60739 connected with 10.0.0.1 port 5002
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec  735 KBytes    600 Kbits/sec
[ 18] Sent 512 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-11.3 sec  716 KBytes    520 Kbits/sec  130.989 ms  13/ 512 (2.5%)
[ 18] 0.0-11.3 sec  177 datagrams received out-of-order
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:48] (master)$ █

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:47] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5001 -b 500k
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.2 port 33318 connected with 10.0.0.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec  613 KBytes    500 Kbits/sec
[ 18] Sent 427 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-11.8 sec  475 KBytes    330 Kbits/sec  17.572 ms  96/ 427 (22%)
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:48] (master)$ █

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:56] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5003 -b 300k --tos 0x68
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5003
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.3 port 40086 connected with 10.0.0.1 port 5003
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.1 sec  369 KBytes    300 Kbits/sec
[ 18] Sent 257 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-10.1 sec  369 KBytes    300 Kbits/sec  0.059 ms  0/ 257 (0%)
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:57] (master)$ █

```

Figure (13): second test results

Figures (14), (15) and (16) show the graph of the results of the second test.

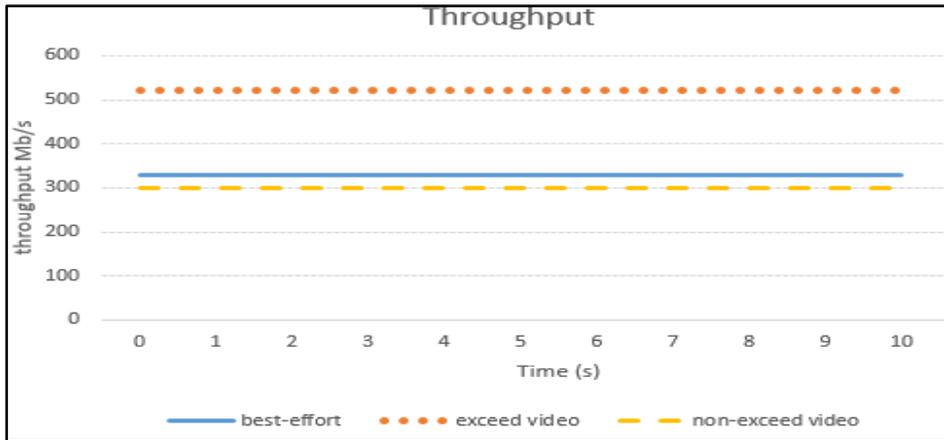


Figure (14): throughput rate of traffic in second test

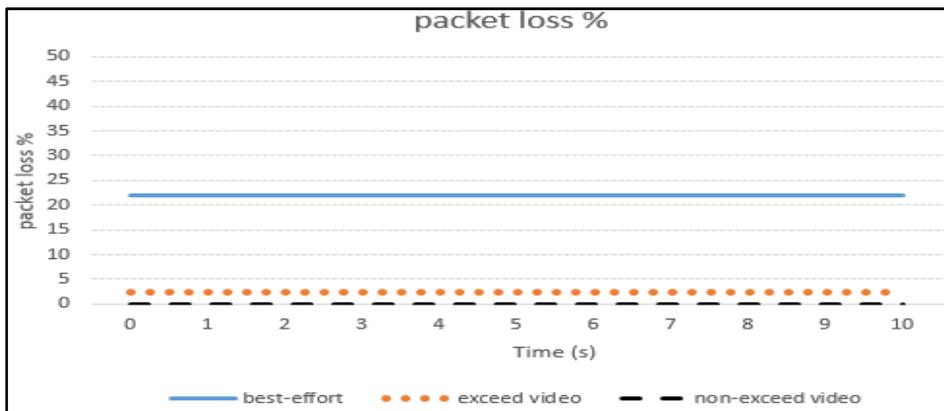


Figure (15): packet loss rate of traffic in second test

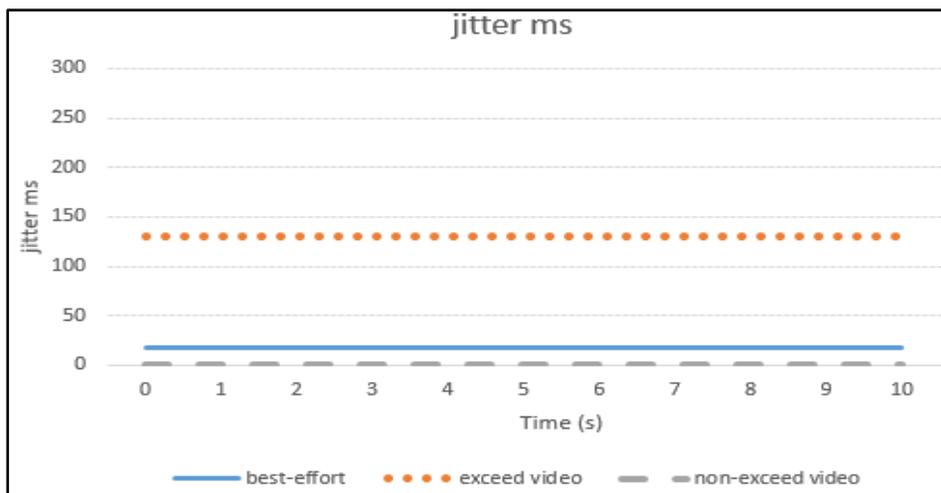


Figure (16): jitter of traffic in second test

Test 3:

In this test, video traffic from both devices (h2, h3) is sent to device (h1) on ports (5001,5002) at the same rate (600 kbps) exceeding the specified threshold by (300 kbps), Figure (17) shows the Third test results.

```
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[12:04] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5001 -b 600k --tos 0x68
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.2 port 42387 connected with 10.0.0.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec   735 KBytes    600 Kbits/sec
[ 18] Sent 512 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-10.6 sec   633 KBytes    491 Kbits/sec  615.087 ms  71/ 512 (14%)
[ 18] 0.0-10.6 sec   133 datagrams received out-of-order
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[12:05] (master)$ █

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[12:04] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5002 -b 600k --tos 0x68
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5002
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.3 port 44643 connected with 10.0.0.1 port 5002
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec   735 KBytes    600 Kbits/sec
[ 18] Sent 512 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-10.0 sec   623 KBytes    509 Kbits/sec  467.139 ms  78/ 512 (15%)
[ 18] 0.0-10.0 sec   171 datagrams received out-of-order
```

Figure (17): third test results

Figures (18), (19) and (20) illustrate the graph of the results of the third test.

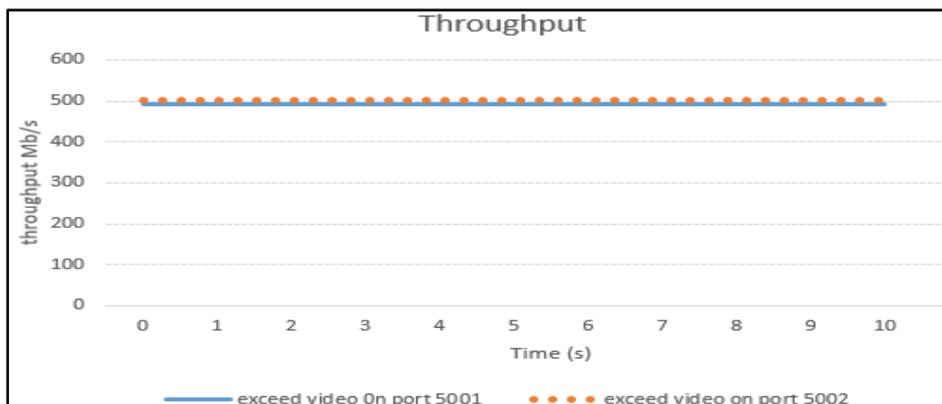


Figure (18): throughput rate of traffic in third test

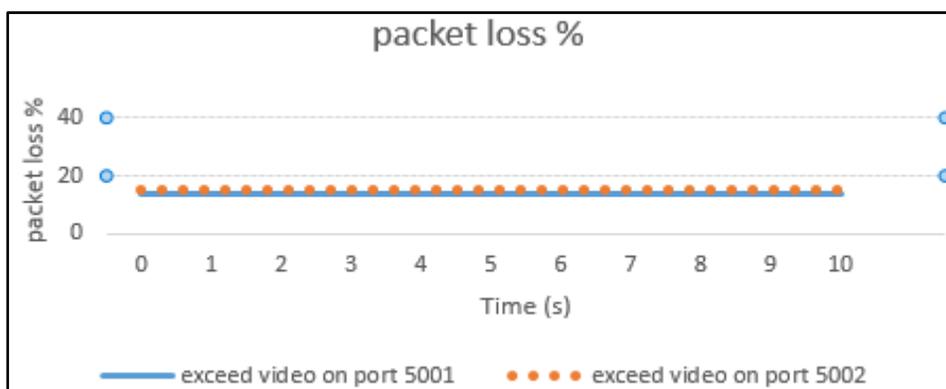


Figure (19): packet loss rate of traffic in third test

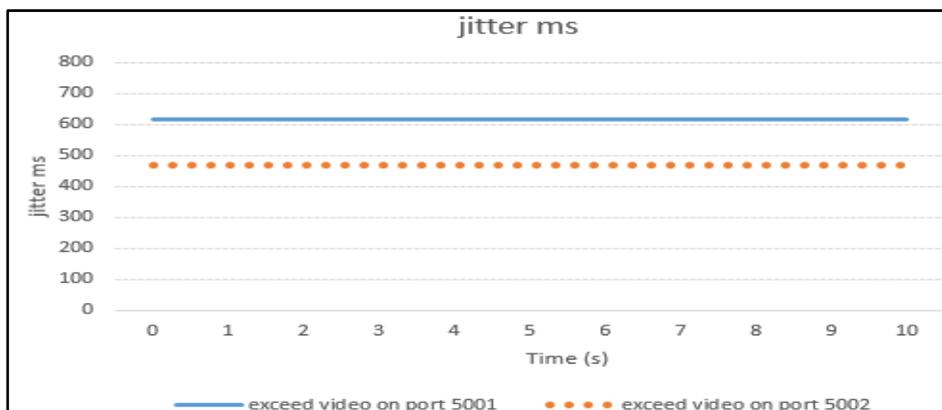


Figure (20): jitter of traffic in third test

We notice that the two flows have a close throughput(491kb/s) (509kb/s) respectively, as packets are dropped at a similar rate (14%) (15%) respectively, as for the jitter, we notice that its value is large (615.097ms) (467.139ms) respectively due to exceeding the specified threshold within the (meterband) and resending the non-conformant packets with a lower priority than the packets that did not exceed the specified threshold.

Test 4:

In this test, best effort traffic (500kbps) is sent from device (h2) to device (h1) on port (5001), video traffic at (600kbps) exceeds the specified threshold is sent from device (h2) to device (h1) on port (5002), voice traffic at a rate of (400kbps) from device (h3) on port (5003). Figure (21) shows the results of the fourth test.

We notice that the voice traffic is forwarding with higher priority than all other traffic and its full bandwidth (399kbps) is guaranteed and zero packet loss rate (0%) and jitter value are very low(10,724ms), while video traffic that exceeds the threshold has a higher priority and a higher throughput (477kb/s) and a lower packet loss rate(18%) than the default traffic (throughput=261kb/s,packet loss= 41%) ,We also notice that the jitter value is large for the video traffic (775.8ms) due to exceeding the specified threshold and retransmitting the redundant video packets with a lower priority (DSCP) value.

```

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:50] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5001 -b 500k
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.2 port 49775 connected with 10.0.0.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec  613 KBytes   500 Kbits/sec
[ 18] Sent 427 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-11.4 sec  363 KBytes   261 Kbits/sec  14,807 ms  174/ 427 (41%)
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:51] (master)$ █

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:48] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5002 -b 600k --tos 0x68
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5002
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.3 port 40074 connected with 10.0.0.1 port 5002
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.0 sec  735 KBytes   600 Kbits/sec
[ 18] Sent 512 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-10.4 sec  606 KBytes   477 Kbits/sec  775,829 ms  90/ 512 (18%)
[ 18] 0.0-10.4 sec  104 datagrams received out-of-order
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:51] (master)$ █

root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:48] (master)$ iperf -c 10.0.0.1 -
u -p 5003 -b 400k --tos 0xb8
-----
Client connecting to 10.0.0.1, UDP port 5003
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[ 18] local 10.0.0.3 port 56372 connected with 10.0.0.1 port 5003
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 18] 0.0-10.1 sec  491 KBytes   400 Kbits/sec
[ 18] Sent 342 datagrams
[ 18] Server Report:
[ 18] 0.0-10.1 sec  491 KBytes   399 Kbits/sec  10,724 ms  0/ 342 (0%)
root@sdnhubvm:~/mininet/examples/myproject[11:51] (master)$ █

```

Figure (21): Fourth test results

Figures (22), (23) and (24) show the graph of the results of the fourth test.

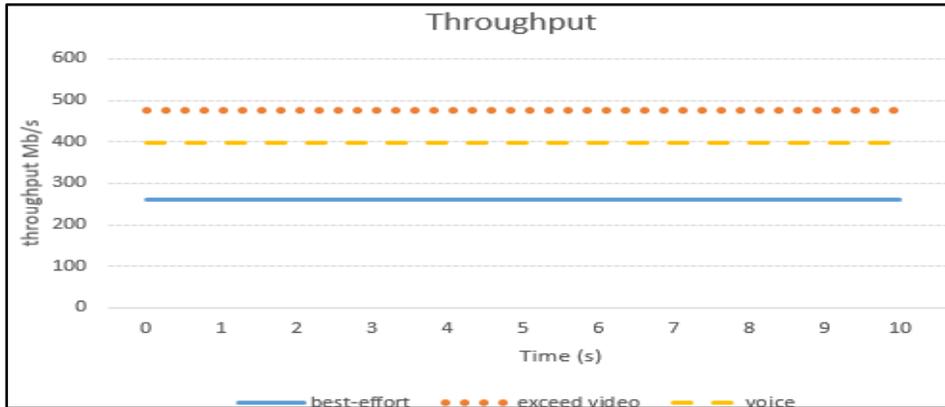


Figure (22): throughput rate of traffic in fourth test

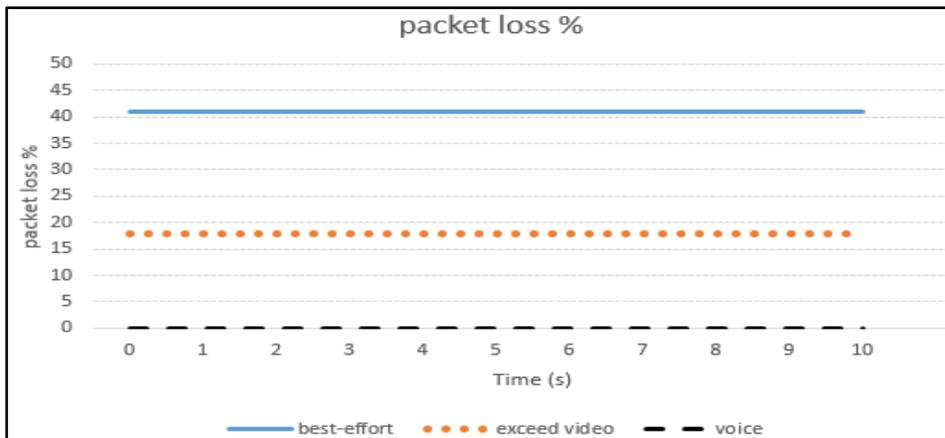


Figure 23: packet loss rate of traffic in fourth test

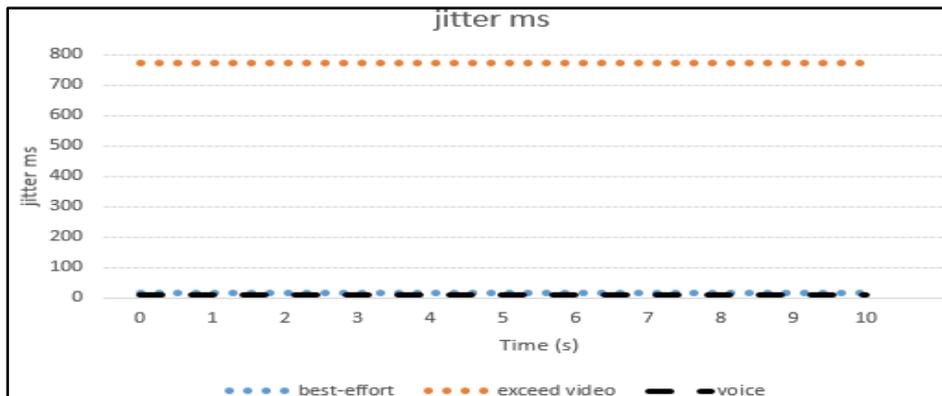


Figure 24: jitter of traffic in fourth test

8- Conclusions and recommendations

SDNs are a technology that enables programming and automation of the entire network due to the use of programmable controllers and the advantages of the (OpenFlow) protocol, It also allows monitoring of statistics related to the quality of service at very low levels (per-packet/per-flow/per-port/per-queue), The use of (SDN) technology in managing existing networks to improve QoS indicators, where in traditional networks, the control of QoS policies is fixed and inflexible and does not adapt to new changes in the network.

In this paper, we simulate a home network in two different environments: a traditional network and a network (SDN) and test the parameters of quality of service for both scenarios, where the highest priority was given in forwarding to the application (VOIP) and the results proved that the QoS indicators for this flow were the best (high throughput, low packet loss, low jitter). In the second scenario we used the metering property in the (OpenFlow) protocol, which proved to be able to improve the throughput of the flows that are matched to the (meter) and reduce the packet loss rate of these

flows by re-marking packets and sending them with a lower priority than Packets that conform the threshold specified in the meter band instead of the packet drop procedure used in traditional networks.

As a result, we recommend using the proposed mechanism to Executing multiple tests with varying traffic rates to ensure its effectiveness.

in future work, we will implement this mechanism using open vSwitch and implement metering process and forwarding process within the same switch and not on separate switches as implementation of the idea OpenFlow pipeline processing.

References

[1]	SHARMA.P. K, PARK. H, JEONG. Y, PARK. J. H, 2018- <u>SHSec</u> : SDN based Secure Smart Home Network Architecture for Internet of Things, Mobile Networks and Applications, Springer Nature, Vol.24, No.1.
[2]	DAWADI. B.R, RAWAT. D.B, JOSHI.SH.R, MANZOUNI.P, 2020- Legacy Network Integration with SDN-IP Implementation towards a Multi-Domain SoDIP6 Network Environment, conference of MDPI, Russia.
[3]	MATTEW. N. O, TEMBELY. M, MUSA. S , 2016- Software-Defined Networking Concepts Journal of Scientific and Engineering Research, Vol 3, issue5,92-94.
[4]	DAVID. M.V, 2016- Service Provisioning in SDN using a Legacy Network Management System, conference, Stockholm.
[5]	Ahmad.S,Mir.A,2022- SDN Interfaces: Protocols, Taxonomy and Challenges, Wireless and Microwave Technologies, Published Online April 2022 in MECS (http://www.mecs-press.org/)
[6]	Nassera.SH, Sachan. A, Rajini. G.K,2018- Design of Smart Home Using Internet of Things, Research Gate.
[7]	CHATO .O, EMMANUEL.M , 2016- An Exploration of Various Quality of Service Mechanisms in an Open Flow and Software Defined Networking Environment in Terms of Latency Performance, International Conference on Information Science and Security (ICISS), IEEE, China.
[8]	SOUZA.D, PERIGO. L, 2016- Improving QoS in a Software-Defined Network , Capstone Research Paper, university of Colorado Boulder.
[9]	Krishna.H ,2016- Providing end to end bandwidth

	guarantees with open flow", Symposium on Communications and Vehicular Technologies (SCVT) Conference, Mons, Belgium.
[10]	Open network foundation, OpenFlow specification v.1.3.1,septemper,2012.
[11]	HOSSIN.M. A, SHEIKH.M.N. A, HALDER. M, BISWAS. S, 2018-Quality of Service in Software Defined Networking" ,Global Journals, Vol.18,issue.3,3-7.
[12]	"CPQD/Ofsoftswitch13 Github web" [online]. Available: https://github.com/CPqD/ ofsoftswitch13/wiki/OpenFlow-1.3-Tutorial .
[13]	Dutra. D. L. C, Baga. M, Taleb. T, Samdanis.K, 2-17-Ensuring end-to-end QoS based on multi-paths routing using SDN technology, GLOBECOM IEEE Global Comms Conf.
[14]	Albreiki. A. S , Zhou.S, R.Luo.Y,2019- A Meter Band Rate Mechanism to Improve the Native QoS Capability of OpenFlow and OpenDaylight, International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet), Rabat, Morocco.
[15]	Biyase.L.Z, 2020- Scalable Bandwidth Management in Software-Defined Networks, master dissertation, department of electrical engineering university of cape town
[16]	Al breiki. M.S, Zhou. S, Luo. Y.B, 2020- Design and Validation of a Meter Band Rate in Open Flow and Open Daylight for Optimizing QoS, ASTES, Vol.5, No.2, 7-12.

[17]	Almtawa. Y, Memari. A, Haque. A, Lutfiyya. H ,2019- Evaluating QoS in SDN-Based EPC: A Comparative Analysis, 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), Tangier, Morocco.
[18]	Egilmez. H.E, Dane. S. T, Bagci. K.T, Tekalp. A.M, 2012- OpenQoS : An OpenFlow Controller Design for Multimedia Delivery with End-to-End Quality of Service over Software-Defined Networks, IEEE conference, USA.
[19]	Liang. W. E, Shen. C.A, 2017- A high performance media server and QoS routing for SVC streaming based on Software-Defined Networking, Conference on Computer Networking and Communication , Silicon Valley, CA, USA.
[20]	ASADOLLAHI. S, GOSWAMI. B,2018- Ryu Controller's Scalability Experiment on Software Defined Networks, conference paper, India.
[21]	ZHANG.Y, ZHAO.G, 2020- LSEA: Software-Defined Networking-Based QoS-Aware Routing Mechanism for Live-Soccer Event Applications in Smart Cities, Hindwai, Volume 2020.
[22]	ALHARBI.F, 2018- SDN-based mechanisms for provisioning quality ofservice to selected network flows, Dissertation and theses computer sience, university of UKnowledge.

Abbreviations

OF	OpenFlow
IoT	Internet of things
SDN	Software defined networks
QoS	Quality of service
SBI	South bound interface
NBI	North bound interface
WBI	West bound interface
EBI	East bound interface
DSCP	Differentiated service code point
SLA	Service level agreement
OVSDB	Open virtual switch data base
OVS	Open virtual switch
DiffServ	Differentiated service
RTT	Round trip time
SVC	Scalable video coding
DF	Default forwarding
AF	Assured forwarding
EF	Expedited forwarding

تحليل أداء نظام QPSK الضوئي المترابط

الباحث

م. رعد محمد فايز الألفي
طالبة دراسات عليا - دكتوراه
إشراف د.م. عبد الكريم السالم

مُلخَص:

تستخدم تقنيات التعديل المتقدم والكشف المترابط لفعاليتها ومقدرتها الكبيرة في تحسين أداء الشبكات والأنظمة الضوئية عموماً لمواجهة التزايد الكبير في حركة البيانات. تم في هذا البحث دراسة تحسين أداء نظام الاتصالات الضوئية من خلال الكشف المترابط ومعالجة الإشارة الرقمية. حيث تمت المقارنة بين نظام اتصال QPSK ضوئي مترابط بدون استخدام معالجة الإشارة الرقمية ونظام يعتمد على المعالجة الرقمية للإشارة Digital Signal Processing DSP، وذلك عند معدلات إرسال متشابهة للبيانات 50 Gb/s، ودون استخدام أية عناصر تضخيم حيث تمت المقارنة باعتماد محددات الأداء مثل معدل خطأ البت BER ومخططات التوضع الفراغي وعامل الجودة Q-factor ومخطط العين Eye Pattern. بينت المحاكاة باستخدام منصة المحاكاة OptiSystem 19 تفوقاً واضحاً في معظم معايير الأداء المدروسة للنظام الضوئي المترابط باستخدام معالجة الإشارة الرقمية DSP على ذلك الذي لا يستخدم أي آليات معالجة.

الكلمات المفتاحية: نظام اتصال ضوئي مترابط، معالجة الإشارة الرقمية، QPSK، مخطط العين، محاكاة OptiSystem.

- (1) طالبة دراسات عليا-قسم هندسة الاتصالات-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة البعث.
- (2) أستاذ في قسم الهندسة الالكترونية والاتصالات-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة البعث.

Performance analysis of QPSK optical coherent communication system

Researcher

Eng. Raghad Mohammad Fayez Al.Alfi

Supervision

Dr.Eng. Abdulkarim Assalem

Abstract:

Advanced Modulation and Coherent Detection are the key technologies to meet the bandwidth requirements of optical fiber networks. This research included an analytical study for improving the performance of the optical communication system by using coherent detection and digital signal processing. In this work, a comparison was made between a coherent QPSK optical communication system without using any type of digital signal processing and a system based on DSP, both of which operate at the same data transmission rate of 50 Gb/s, and without the use of any amplification elements. Results were analysed and compared using metrics such as BER, Eye Pattern, Q-factor and the constellation diagram. Results using Optisystem platform showed good and clear improvement for all performance indicators such as BER and constellation diagram for coherent QPSK optical communication system with digital signal processing.

Keywords:

Coherent optical communication system, DSP, QPSK, Eye diagram, OptiSystem simulation.

(1) Doctora Student – Communications Engineering Dept. Faculty of Mech. and Elec. Eng-AlBaath Univ.

(2) Prof. in Electronics and Communications Engineering Dept. Faculty of Mech. and Elec. Eng-AlBaath Univ

1- مُقدّمة:

يتزايد الاهتمام والتحول نحو الأنظمة والشبكات الضوئية نظراً لفعاليتها ومقدرتها العالية في مواجهة الطلب المتزايد على عرض الحزمة لدعم متطلبات التطبيقات الجديدة من جودة خدمة وقيود ومعايير صارمة تفرضها أنظمة 5G، وتعتبر الأنظمة الضوئية المترابطة أكثر هذه الأنظمة مقدرةً على مواجهة هذه المتطلبات حيث لم تعد الأنظمة التقليدية التي تعتمد الكشف المباشر تلبّي حاجة اتصالات الألياف الضوئية لمسافة الإرسال وعرض المجال الترددي الكبيرين، ويعد الكشف المترابط الطريقة الرئيسية لتحقيق نقل البيانات بالمتطلبات الجديدة للسعة والسرعة باستخدام أنظمة الاتصال الضوئي المترابط [1].

تعد الأنظمة الضوئية المترابطة حلاً مناسباً للوصول لاستغلال عرض المجال الترددي بصورة أفضل، وزيادة مسافة الإرسال وتحسين حساسية المستقبل، وذلك لأن الاتصال الضوئي ذو الكشف المترابط يحقق حساسية أعلى من الكشف المباشر بالتالي معدلات نقل مع كفاءة طيفية عالية، حيث يستخدم تعديل الطور أو السعة أو الاستقطاب للحامل الضوئي لنقل البيانات.

2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة وتحسين أداء أنظمة الاتصالات الضوئية من خلال استخدام تقنية الكشف المترابط ومعالجة الإشارة الرقمية، باستخدام التعديل QPSK.

3- مواد وطرق البحث:

يعتمد البحث على الدراسة التحليلية للكشف المترابط في المجال الضوئي وكذلك دراسة المكونات الرئيسية لنظام الاتصالات الضوئي المترابط، باستخدام برنامج OptiSystem كبرنامج متخصص بمحاكاة أنظمة الاتصالات الضوئية وذو موثوقية عالية ومكتبات واسعة جعلته من أهم برمجيات المحاكاة المستخدمة في دراسة أنظمة الاتصالات الضوئية.

3.1 - الكشف المترابط:

قدم DeLange أول نظام اتصال ضوئي مترابط يطبق تعديل الطور في أوائل السبعينيات ولكن لم يحظ هذا النظام بقدر كبير من الاهتمام بسبب عدم استقرار التردد وضجيج الطور المرافق لعمل المصادر الليزرية. إضافة إلى ذلك، كان نظام الاتصال الضوئي الذي يعتمد على تعديل الشدة Intensity Modulation (IM) لليزر والكشف المباشر Direct Detection (DD) باستخدام الكاشف الضوئي هو التقنية الرئيسية في ذلك الوقت. في أوائل الثمانينيات تم إجراء مقارنة بين نظام ضوئي بسيط مترابط يعتمد على الإقفال بإزاحة الطور PSK والأنظمة البصرية التي تعتمد على الكشف المباشر IM-DD حيث بينت الدراسة أن النظام المترابط يحسن حساسية المستقبل ويزيد مسافة الإرسال.

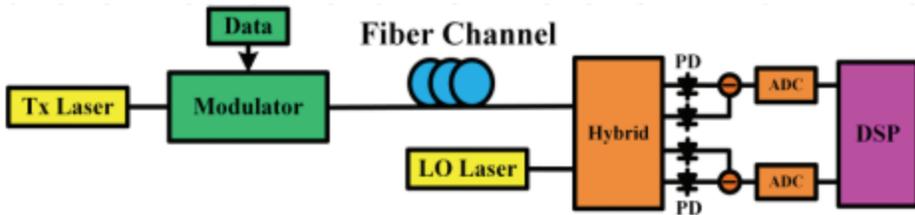
مع تزايد أهمية الشبكات الضوئية كناقل رئيسي لحركة البيانات المتزايدة حظي الإرسال الضوئي المترابط باهتمام واسع نظراً لقدرته العالية على نقل معدلات بيانات عالٍ وكفاءة طيفية عالية ومسافة إرسال طويلة، كما أنه يمكن أن يتم في الأنظمة المترابطة استخدام معالجة الإشارة الرقمية DSP للتقليل من القيود التي تعيق أداء الأنظمة الضوئية مثل التشتت اللوني Chromatic Dispersion (CD) وتشتت نمط الاستقطاب Polarization Mode Dispersion (PMD)، وذلك مقارنةً بأنظمة الكشف المباشر [3.6].

المبادئ الأساسية للكشف المترابط:

يعتبر الكشف المترابط أكثر مرونة ومقدرة للكشف وخاصة عند مستويات منخفضة للإشارات المستقبلية مع شفافية عالية لصيغ التعديل والترميز الرقمية المتقدمة. يستخدم نظام الاتصال الضوئي المترابط تعديلاً مترابطاً في المرسل وتقنية الكشف المترابط في

المستقبل. بالمقارنة مع نظام الاتصال التقليدي IM-DD، يتيح الاتصال الضوئي المترابط مسافة إرسال أطول وجودة اتصال أفضل.

يوضح الشكل (1) مخططاً لنظام اتصال ضوئي مترابط. حيث يتم في طرف الإرسال، تعديل إشارة الحامل الضوئي بإشارة المعلومات بأحد أشكال التعديل (تعديل السعة، تعديل الطور، أو تعديل التردد) ثم إرسالها. وفي طرف الاستقبال يتم ضرب الإشارة المستقبلية مع إشارة المهتز المحلي (أي مع إشارة الحامل) من خلال المازج ثم يتم الكشف عنها باستخدام كواشف ضوئية متوازنة Balanced photodiode. ومن ثم تتم معالجة الإشارة باستخدام آليات معالجة الإشارات الرقمية DSP واستعادة البيانات المرسل [1].



الشكل (1): مخطط نظام اتصال ضوئي مترابط [1].

3.2 - تكوين نظام اتصال ضوئي مترابط:

يتكون نظام الاتصال الضوئي المترابط من ثلاثة أجزاء أساسية: مرسل ضوئي مترابط، ووصلة ضوئية، ومستقبل ضوئي مترابط. مع ضرورة الحفاظ على استقطاب متمائل للحامل المرسل مع الحامل المهتز المحلي في طرف الاستقبال وذلك من أجل الحصول على حساسية استقبال عالية، وإلا فإن حساسية الكشف المترابط ستكون منخفضة إلى حد كبير. لذلك، ومن أجل الاستفادة الكاملة من فوائد الاستقبال المترابط، يتم اتخاذ تدابير مناسبة لتثبيت الاستقطاب، حيث يمكن أن تستخدم في الوصلة الضوئية

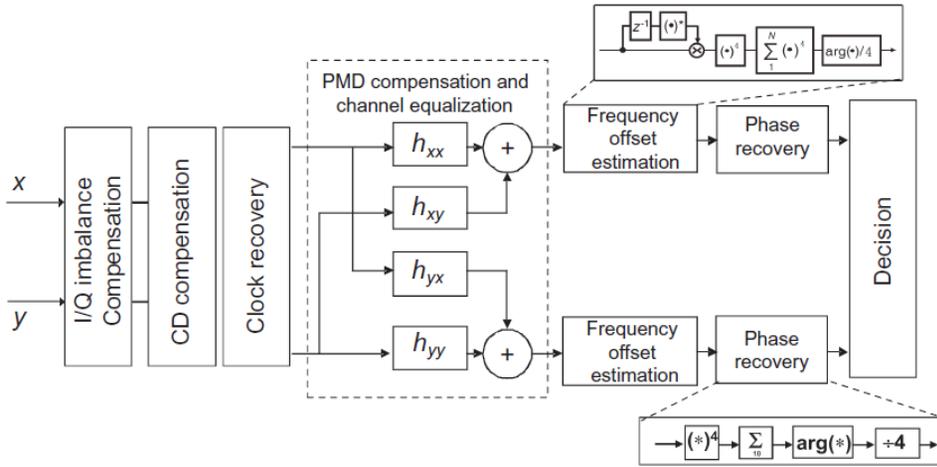
الألياف التي تحافظ على الاستقطاب من أجل المحافظة على حالة استقطاب الحامل الضوئي دون تغيير .

يتم في المستقبل تمرير الإشارة الضوئية الناتجة عن المازج على كواشف ضوئية متوازنة (Balanced photodiode(PD) لنحصل بعدها على إشارات تشابهية، تحول إلى إشارات رقمية، ويتم استعادة البيانات في معالج الإشارة الرقمية DSP [8.11].

3.3 - وحدة معالجة الإشارة الرقمية DSP:

يمكن أن يتم الكشف المترابط من خلال المازج لضرب الإشارة المستقبلية مع إشارة المهتز المحلي، بعد ذلك يقوم الكاشف الضوئي بتحويل الإشارات الضوئية إلى إشارات كهربائية (I/Q) في استقطابي X و Y [8].

يتم بعد ذلك تحويل الإشارة الكهربائية إلى إشارة رقمية يمكن معالجتها باستخدام آليات معالجة الإشارة الرقمية DSP. يبين الشكل (2) وحدة معالجة الإشارة الرقمية الأساسية (DSP) لاستعادة البيانات. يعتبر عموماً إرسال الإشارة بمعدلات عالية على مسافات طويلة من أهم التحديات التي تواجه تصميم الشبكات الضوئية، لذلك تستخدم معالجة الإشارة الرقمية DSP ضمن المستقبل، يمكن تقسيم DSP إلى عدة أنظمة أو وحدات فرعية، تستخدم للمعالجة والتعويض عن الآثار غير الخطية التي تسبب تشوه الإشارة أثناء النقل مثل التشننت اللوني CD، وتشننت نمط الاستقطاب PMD، وضجيج الطور (Phase Noise (PN). مما يساهم في تقليل معدل خطأ البت والوصول لأنظمة ضوئية ذات جودة وموثوقية عالية في نقل البيانات [6].



الشكل (2): المخطط الصندوقي لوحدة DSP الأساسية في المستقبل الضوئي المترابط [7.8].

من الناحية النظرية، يجب أن تكون إشارات I و Q المستقبلية متعامدة مع بعضها البعض. ولكن عملياً قد لا تكون هذه الإشارات متعامدة مع بعضها بسبب بعض الاختلالات التي يمكن أن تكون ناتجة عن خلل في المُعدلات أو PDs. لذلك من أجل استعادة الإشارة بشكل صحيح، يجب تطبيق تعويض عدم التوازن I / Q أولاً على الإشارات الرقمية ويمكن تنفيذ هذه العملية باستخدام خوارزمية Gram-Schmidt Orthogonalization Process (GSOP)، وتعد خوارزمية GSOP طريقة فعالة لتحويل عينات البيانات غير المتوازنة أو غير المتعامدة إلى عينات بيانات متوازنة ومتعامدة.

بدوره يعتبر التشنت اللوني CD يعتبر أحد العوامل الأساسية التي تسبب تراجع أداء نظام الاتصالات الضوئية لذلك يتم في وحدة معالجة الإشارة DSP تعويض التشنت اللوني CD compensation. وبما أنه يمكن تمثيل استجابة القناة للألياف المزودة بالتشنت اللوني كدالة خطية، يمكن تحقيق تعويض التشنت اللوني في المجال الترددي

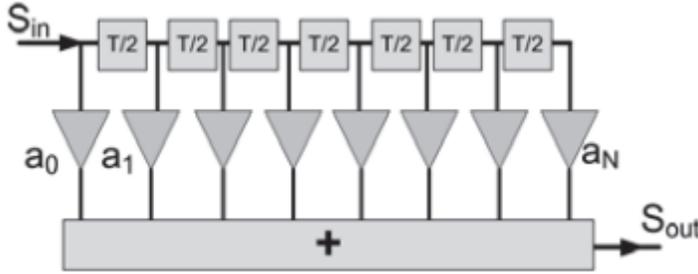
بناءً على تابع النقل أو في المجال الزمني باستخدام مرشح استجابة نبضية محدودة [8].FIR

في المجال الزمني، يمكن الحصول على معاملات المرشح المطلوبة FIR بواسطة تابع نقل التشتت اللوني لليف الضوئي باستخدام طريقة تقسيم المجال الزمني. ويبين الشكل (3) بنية مرشح FIR لتعويض التشتت اللوني، ويمكن حساب معامل FIR لكل ذراع أو فرع a_k بالمعادلات التالية:

$$a_k = \sqrt{\frac{j c T^2}{D \lambda^2 z}} \exp\left(-j \frac{\pi c T^2}{D \lambda^2 z} k^2\right), \quad -\left[\frac{N}{2}\right] \leq k \leq \left[\frac{N}{2}\right] \quad (1)$$

$$N = 2 \times \left\lceil \frac{|D| \lambda^2 z}{2 c T^2} \right\rceil + 1 \quad (2)$$

حيث D هو معامل التشتت، λ الطول الموجي، z طول الليف، c سرعة الضوء، T فترة الرمز، k ترتيب الفرع للمرشح، و N هو العدد الإجمالي لأفرع FIR. [2].

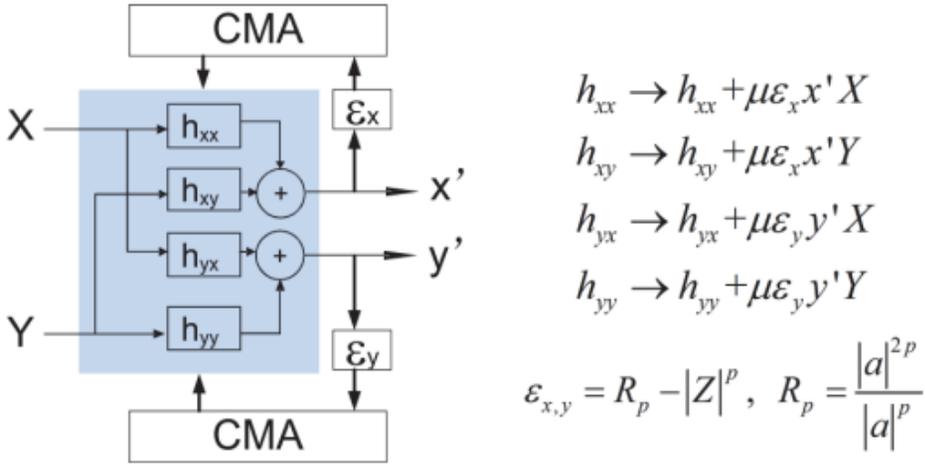


الشكل (3): بنية مرشح FIR لتعويض التشتت اللوني [8].

يتم بعد ذلك في وحدة معالجة الإشارة الرقمية تخمين الخطأ الزمني وتصحيحه (clock recovery) الناتج عن إزاحة الزمن التي قد تسببها المبدلات التشابهيّة الرقمية

وذلك باستخدام خوارزميات استعادة الزمن مثل خوارزمية square-timing وخوارزمية Gardner-timing وهي مستخدمة بشكل واسع في الأنظمة المترابطة الرقمية [8].

المرحلة التالية في وحدة DSP هي تعويض تشتت نمط الاستقطاب PMD، ويتم فيها استخدام معادلات الفراشة التكيفية الأربعة إضافةً إلى خوارزمية المعامل الثابت Constant Modula Algorithm (CMA) لإزالة الاستقطاب وتعويض PMD. ويوضح الشكل (4) مبدأ استعادة الإشارة بواسطة المعادلات التكيفية بناءً على خوارزمية CMA [8].



الشكل (4): المخطط الصندوقي لخوارزمية CMA [8].

وتعتبر خوارزمية CMA نوع من الخوارزميات المعدلة العمياء تستخدم لتحديث معاملات أوزان المرشح FIR وذلك من أجل التقليل من قيمة خطأ تابع الخرج. يعتبر الدخل X و Y إشارات منحازة الاستقطاب، وإشارات الخرج X' و Y' إشارتين مستقطبتين متعامدتين يتم تمثيلهم بالمعادلات التالية:

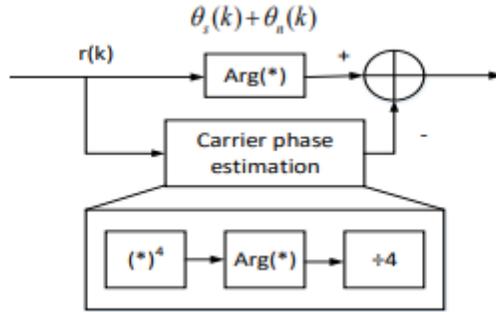
$$X' = h_{xx} \otimes X + h_{xy} \otimes Y \quad (3)$$

$$Y' = h_{yx} \otimes X + h_{yy} \otimes Y \quad (4)$$

أخيراً يتم في وحدة معالجة الإشارة الرقمية استعادة الموجة الحاملة من خلال خطوتين وهما تعويض انزياح التردد ثم استعادة طور الحامل. ويجب أن تتم عملية تعويض انزياح التردد بين ليزر المرسل والهزاز المحلي في المستقبل قبل استعادة طور الحامل. توجد خوارزمتان رئيسيتان لتعويض انزياح التردد تعتمد الأولى على طرق الطور التفاضلي، وتعتمد الثانية على الطرق الطيفية باستخدام تحليل فورييه. أما بالنسبة لاستعادة طور الحامل فهناك العديد من خوارزميات استعادة طور الحامل Carrier Phase Recovery (CPR) نذكر منها خوارزمية فيتري-فيتري V-V وخوارزمية البحث الأعمى عن الطور Blind Phase Search (BPS). يبين الشكل (5) المخطط الصندوقي لخوارزمية فيتري-فيتري، وهي الخوارزمية الأكثر استخداماً لاستعادة الطور من أجل تعديل QPSK. ويمكن أن نعرف إشارة QPSK المستلمة من خلال المعادلة (5):

$$r(k) = Ae^{j(\theta_s(k)+\theta_c(k))} \quad (5)$$

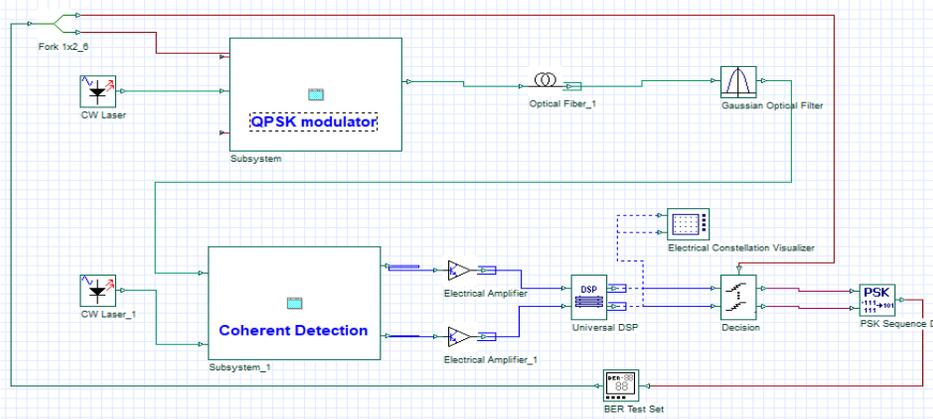
حيث θ_c تمثل طور الحامل، θ_s تمثل فرق الطور [9].



الشكل (5): المخطط الصندوقي لخوارزمية فيتري-فيتري [9].

4- نموذج المحاكاة:

تم نمذجة النظام الضوئي المترابط وتحليل أدائه باستخدام برمجية OptiSystem حيث يبين الشكل (6) المخطط العام للنموذج المدروس والذي يمثل نظام اتصالات ضوئي مترابط بمعدل إرسال 50Gb/s، باستخدام تعديل QPSK في الحالة الأولى وباستخدام تعديل QPSK وبالاعتماد على تقنية معالجة الإشارة الرقمية في الحالة الثانية. يلاحظ من الشكل (6) أن الأجزاء الرئيسية للمخطط هي المرسل، الليف الضوئي أحادي النمط، المستقبل المترابط، وحدة معالجة الإشارة الرقمية (التي ستم إضافتها في الحالة الثانية من المحاكاة) وفاق التعديل والكشف.



الشكل (6): المخطط العام لنظام QPSK.

4-1 مرسل QPSK الضوئي:

يبين الجدول (1) أهم بارامترات المنبع الليزري المستخدم في المحاكاة حيث تم اختيار طول موجة الحامل 1550 nm بما يتوافق مع أقل تخامد لانتشار للأمواج الضوئية ضمن الليف، وكذلك تم تحديد قيمة الطاقة 10dBm وتم اختيار العرض الطيفي للمنبع [11] 0.1 MHz .

4-2 قناة الاتصال الضوئية:

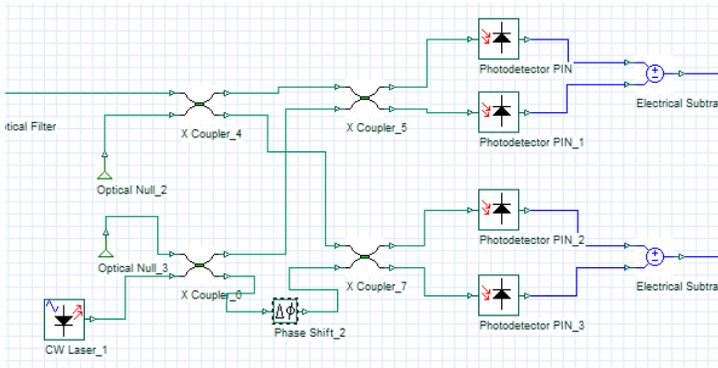
يتم إرسال الإشارة في ليف ضوئي أحادي النمط SMF يمثل قناة الاتصال، يوضح الجدول (2) أهم بارامترات المحاكاة لقناة الألياف الضوئية. مع ملاحظة أنه لم تستخدم المضخمات الضوئية لتعويض التخماد.

الجدول (2): بارامترات الليف الضوئي.

المحدد	القيمة
ثابت التخماد	0.2 dB/km
معامل التشتت اللوني	16.75 ps/(nm.km)
معامل الانحدار	0.075 ps/(km.nm ²)
معامل تشتت نمط الاستقطاب	0.004 ps/√km

4-3 المستقبل المترابط:

يشتمل المستقبل الضوئي المتماسك على منبع ليزري CW، يتم فك تعديل الإشارة المستقبلية باستخدام مستقبل QPSK الموضح في الشكل (8).



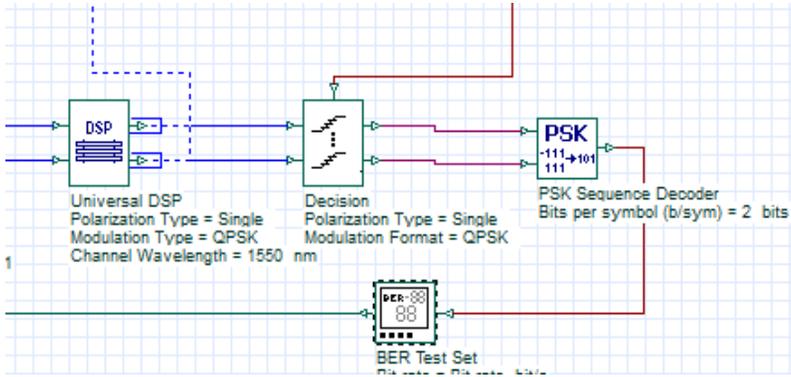
الشكل (8): مستقبل QPSK المترابط.

4-4 معالجة الإشارة الرقمية:

بعد عملية الكشف المترابط تتم معالجة الإشارة الناتجة من خلال وحدة معالجة الإشارة DSP من أجل تعويض الآثار غير الخطية في المجال الرقمي، ومما يساعد في استعادة أفضل للإشارة المرسله بعد الكشف المترابط.

4-5 الكشف وفك الترميز:

تصل الإشارة إلى وحدة اتخاذ القرار حيث يقوم بمعالجة الإشارة القادمة من مرحلة DSP، بعد ذلك يقوم فاك الترميز بفك ترميز سلسلتي الرموز إلى إشارات ثنائية، كما هو موضح في الشكل (9).

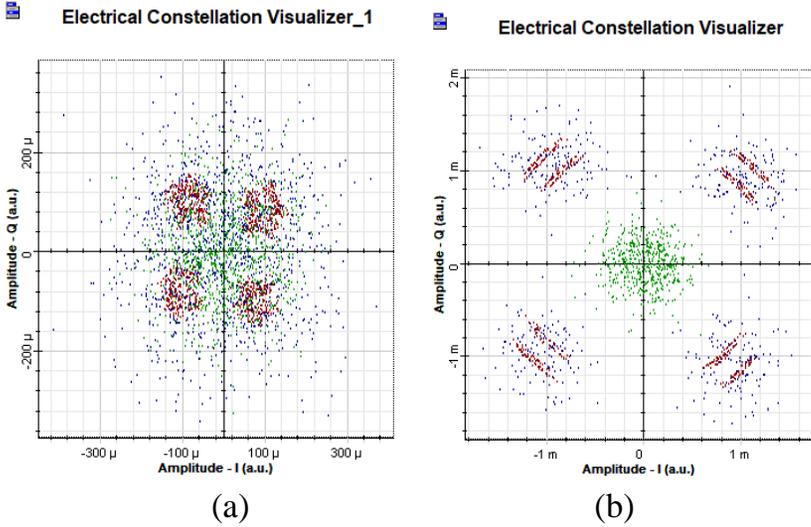


الشكل (9): الكشف وفك الترميز.

5. النتائج والمناقشة:

تم في هذا البحث، محاكاة نظام الاتصال الضوئي المترابط QPSK ودراسة أداء النظام واختباره في حالة استخدام وحدة معالجة الإشارة الرقمية وبدونها وتقييم أداء النظام من خلال معدل الخطأ في البت BER، ومخطط التوضع الفراغي للإشارة المستقبلية ومخطط العين.

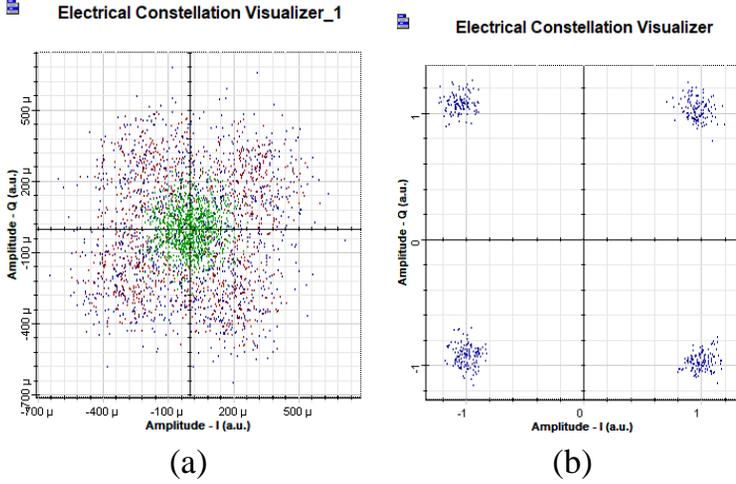
يبين الشكل (10) مخطط التوضع الفراغي لإشارة QPSK بدون استخدام DSP، حيث يوضح الشكل (10-a) إشارة QPSK المستقبلية قبل ترشيحها أو معالجتها بينما يبين الشكل (10-b) مخطط التوضع الفراغي لإشارة QPSK بعد عملية الترشيح ويمكن ملاحظة أن مخطط التوضع الفراغي هذا مازال متأثراً بالضجيج الواضح في منتصف مخطط التوضع الفراغي، إضافة إلى وجود انحرافاً واضحاً للإشارة وذلك عند أطراف مخطط التوضع الأربعة لإشارة QPSK.



الشكل (10): مخطط التوضع الفراغي QPSK بدون استخدام DSP (a) بعد مستقبل QPSK (b) بعد تكبير الإشارة وترشيحها.

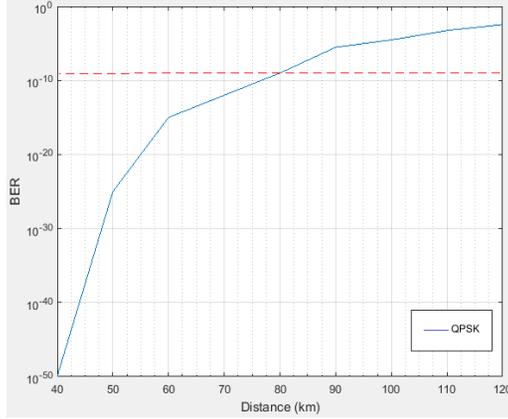
تم بعد ذلك استخدام وحدة معالجة الإشارة الرقمية DSP ودراسة أداء النظام حيث يبين الشكل (11) مخطط التوضع الفراغي لإشارة QPSK المستقبلية وذلك في حالة استخدام وحدة معالجة الإشارة الرقمية في نظام الاتصال الضوئي. حيث يوضح الشكل (11-a) إشارة QPSK المستقبلية قبل معالجتها بينما يبين الشكل (11-b) مخطط التوضع الفراغي لإشارة QPSK بعد وحدة معالجة الإشارة الرقمية DSP، حيث يلاحظ أن التوزيع العام لنقاط التوضع في المخطط أصبح أكثر وضوحاً وتركيزاً، تعمل وحدة

DSP على معالجة الضجيج وتقليل آثاره كما يظهر واضحاً أثر ذلك في وضوح المخطط في الشكل (11-b).



الشكل (11): مخطط التوضع الفراغي لإشارة QPSK (a) بعد مستقبل QPSK (b) بعد وحدة DSP.

بالمقارنة بين مخططي التوضع الفراغي يمكن أن نلاحظ أنه في الشكل (10-b) الإشارة تتأثر بشدة بالضجيج وستكون ذات معدل خطأ مرتفع، في المقابل في الشكل (11-b) يصبح توزيع الإشارة الفعلي العام أكثر تركيزاً، وينخفض الضجيج بشكل كبير ومنه يكون معدل خطأ البت منخفض. بالتالي نستنتج أن وحدة معالجة الإشارة الرقمية DSP تقلل من معدل خطأ البت في نظام تعديل QPSK وتحسن كفاءة الإرسال للاتصال الضوئي المترابط، مقارنة مع الحالة السابقة بدون استخدام وحدة DSP. تم أيضاً اختبار أداء النظام في حالة استخدام وحدة DSP لمعرفة مسافة الإرسال الممكنة التي تضمن جودة عالية ومعدلات خطأ منخفضة، حيث تم إرسال الإشارة في قناة الاتصال ذات البارامترات الموضحة في الجدول (2) ولكن مع طول متغير (40-120 Km)، ويوضح الشكل (12) معدل خطأ البت BER مع طول الليف الضوئي.

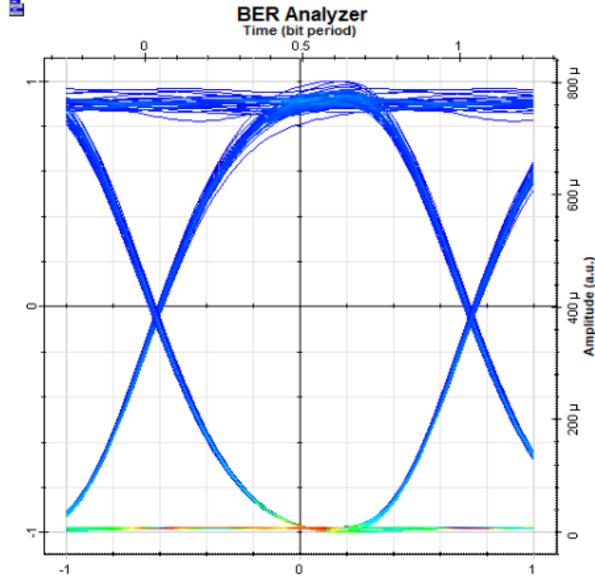


الشكل (12): تغيرات معدل BER مع طول الليف الضوئي.

يلاحظ من الشكل (12) أن النظام يقدم أداءً جيداً لمسافة تصل حتى 70 Km تقريباً حيث كان معدل خطأ البت مساوياً تقريباً لـ 10^{-12} ، بينما نلاحظ زيادة في قيمة BER وبالتالي تناقص مستوى أداء النظام للمسافات التي تتجاوز 80 Km وذلك بدون استخدام أي عناصر تضخيم على طول الوصلة الضوئية. ويوضح الشكل (13) مخطط العين إضافة لقيمة عامل الجودة Q-factor وذلك من أجل ليف ضوئي بطول 70 Km، حيث بلغت قيمة عامل الجودة $Q\text{-factor}=6.8$ عند قيمة BER مساوية لـ 5.19×10^{-12} .

12

Max. Q Factor	6.80067
Min. BER	5.19801e-012



الشكل (11): مخطط العين لنظام QPSK عند مسافة 70Km.

6. الاستنتاجات:

تم في هذا البحث دراسة أداء نظام QPSK الضوئي المترابط واختباره في حالة استخدام وحدة معالجة الإشارة الرقمية DSP وبدونها، وقد بينت نتائج الدراسة:

- تساعد وحدة معالجة الإشارة الرقمية في أنظمة الاتصال الضوئية المترابطة في تعويض الآثار الخطية وغير الخطية مثل التشوهات اللوني وتشوهات نمط الاستقطاب وانزياح التردد والضجيج الطوري مما يساعد في استعادة أفضل للبيانات المرسله ومعدلات خطأ BER منخفضة بحدود 10^{-12} وبالتالي أنظمة اتصال ذات جودة وموثوقية عالية.

- تمت المقارنة بين أداء نظام QPSK في حالة استخدام DSP وبدونها، وبالمقارنة بين مخططي التوضع الفراغي يلاحظ تفوق النظام باستخدام DSP حيث تم معالجة الضجيج وتقليل آثاره بشكل واضح.
- تم اختبار أداء نظام QPSK باستخدام DSP لمعرفة المسافة التي يمكن أن تسلكها الإشارة بجودة عالية، حيث تم تحقيق قيمة جيدة لمعدل BER مساوية لـ 10^{-12} وذلك حتى مسافة 70 km وذلك بدون استخدام أي عناصر تضخيم على طول مسار الليف الضوئي.

المراجع:

- [1] ATianhua Xu, 2017- **Digital Signal Processing for Optical Communications and Networks**. Licensee InTech.
- [2] Ambreen Niaz, Farhan Qamar, Khawar Islam, Asim Shahzad, Romana Shahzadi, Mudassar Ali, 2018- **Performance Analysis and Comparison of QPSK and DP-QPSK Based Optical Fiber Communication Systems**. ITEE Journal.
- [3] Darli Augusto de Arruda Mello, Fabio Aparecido Barbosa, 2021- **Digital Coherent Optical Systems**. Springer.
- [4] Dr. Shehab A. Kadhim, Dr. Zeyad A. Saleh, Asmaa M. Raouf, Alaa T. Lateef, 2016- **Design Study and Simulation of a Digital Fiber Communication System Using (Optisystem.10)**. IJESRT.
- [5] Ioannis Roudas, 2012- **Coherent Optical Communication Systems** Springer Science.
- [6] Jian Zhao, Yaping Liu and Tianhua Xu, 2019- **Advanced DSP for Coherent Optical Fiber Communication**. Applied sciences.
- [7] Jianjun Yu, Junwen Zhang, 2016 - **Recent progress on high-speed optical transmission**. Elsevier.
- [8] Jianjun Yu, Xinying Li and Junwen Zhang, 2022.- **Digital Signal Processing for Optical Coherent Long-Haul Transmission System**. World Scientific.
- [9] Jiaoyang Liu, 2019- **Research on Carrier Recovery Algorithm in Coherent Optical Communication System**. IOP Conf. Ser.: Earth Environ.
- [10] Kazuro Kikuchi, 2008- **Coherent optical communication systems**. Elsevier Inc.
- [11] Mingyang, Li Man Feng, Pengyuan Chen, Zhenping Lan, Ping Li, 2021- **The simulation of coherent optical communication technology**. University Dalian.
- [12] Piaokun Zhang, Zhongwei Tan, Zhichao Ding, Lijun Guo, 2021- **Simulation Analysis of Balance Detection Technique in Coherent Optical Receiver**. Optics and Photonics Journal.
- [13] Piaokun Zhang, Zhongwei Tan, Zhichao Ding, Lijun Guo, 2021- **Simulation Analysis of Balance Detection Technique in Coherent Optical Receiver**. Optics and Photonics Journal.

دراسة وتصميم نظام تحكم ضبابي في العنفات

الريحية للعمل عند سرعات الرياح العالية

- طالب دراسات عليا (ماجستير): م . عبد الرزاق الابراهيم

قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب - كلية الهندسة - جامعة البعث

الدكتور المشرف: بسيم عمران - أستاذ مساعد

الملخص

تعتبر أنظمة طاقة الرياح صناعة حديثة نسبياً و لكن نتيجة تطورها السريع أصبحت واحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة الواعدة. بالرغم من ذلك فهي مازالت تحتاج لإمكانيات إضافية من أجل توليد طاقة فعالة ذات جودة وموثوقية عالية بأقل تكلفة ممكنة. بما أن الاستطاعة الكيربائية التي يمكن استخلاصها من العنفات الريحية تتأثر بسرعة الرياح بشكل حاد، لذلك تكمن الصعوبة في استخلاص الحد الأقصى الممكن من طاقة الرياح وتحويلها إلى طاقة كهربائية. من أجل ذلك تطورت التكنولوجيا المتعلقة بصناعة أنظمة طاقة الرياح مما أدى إلى تطوير جيل من توربينات ذات سرعات متغيرة و التي تقدم العديد من المزايا مقارنة مع توربينات سرعة ثابتة. تعتبر المولدات التحريضية الأكثر شيوعاً في العنفات الريحية متغيرة السرعة. وزاد التركيز في السنوات الأخيرة على المولدات التحريضية ذات التغذية المضاعفة لما لها من ميزات بالمقارنة مع المولد التحريضي ذو القفص السنجابي. في هذا العمل تم اقتراح وحدة تحكم ضبابية للتحكم بزواوية ميل شفرات التوربين المعرضة للاضطرابات وإشارات الضجيج الخارجية عوضاً عن المتحكمات التقليدية مما يتوقع منها تحسين استجابة النظام وتأمين سهولة في التطبيق والتعديل وانخفاض في الكلفة. حيث تعتمد وحدة التحكم المصممة على قيمة الخطأ في خرج الطاقة للتوربين وعلى سرعة الرياح المقاسة بشكل مباشر، لتعطي

في خرجها زاوية الميل المرجعية لشفرات التوربين. الهدف الأساسي من وحدة التحكم المقترحة تحسين عمل العنفات الريحية من خلال السماح بالتشغيل المستمر على الأقل مع الأداء المنخفض عند حدوث بعض الأعطال وذلك عند سرعات الرياح العالية حيث في الحالة الطبيعية يتم إيقاف عمل العنفات الريحية . تظهر نتائج المحاكاة تحسناً في أداء التحكم عند استخدام وحدة التحكم الضبابية المقترحة. من خلال الدراسة المرجعية توصلنا إلى النتيجة التي بينت بأن أغلب الدراسات السابقة في نظم طاقة الرياح تناولت التحكم باستطاعة عنفة ريشية وبزاوية ميلان الشفرات باستخدام متحكمات تقليدية من نوع PI أو PID مع عدم التركيز على الاستفادة من عمل العنفات الريحية عند سرعات الرياح العالية .

الكلمات المفتاحية: العنفة الريحية - المولد التحريضي و التغذية المضاعفة - زاوية ميل الشفرات - التحكم الضبابي .

Studying and Designing a Fuzzy Control System for the Wind Turbines to operate at high Wind Speeds

Abstract

Wind energy systems are a relatively recent industry, but as a result of their rapid development, they have become one of the most promising renewable energy sources. Despite this, it still needs additional capabilities in order to generate efficient energy of high quality and reliability at the lowest possible cost. Since the electrical power that can be extracted from wind turbines is affected by wind speed sharply, therefore the difficulty lies in extracting the maximum possible amount of wind energy and converting it into electrical energy. For this reason, the technology related to the manufacture of wind energy systems has developed, which led to the development of a generation of variable speed turbines, which offer many advantages over fixed speed turbines. Induction generators are the most common variable speed wind turbines. In recent years, the focus has increased on double-feed induction generators because of their advantages compared to the squirrel-cage induction generator.

In this work, a fuzzy control unit was proposed to control the angle of inclination of the turbine blades that are exposed to turbulence and external noise signals instead of the traditional controllers, which is expected to improve the system response and ensure

ease of application and modification and a decrease in cost. Where the designed control unit depends on the value of the error in the power output of the turbine and the wind speed measured directly, to give in its output the reference inclination angle of the turbine blades. The main objective of the proposed control unit is to improve the work of wind turbines by allowing continuous operation at least with low performance when some malfunctions occur at high wind speeds, where in the natural state the work of wind turbines is stopped. Simulation results show an improvement in control performance when the proposed fuzzy controller is used. Through the reference study, we reached the conclusion that showed that most of the previous studies in wind energy systems dealt with controlling the wind turbine capacity and the angle of inclination of the blades using traditional controllers of the type PI or PID, without focusing on benefiting from the work of wind turbines at high wind speeds.

Keywords: Wind Turbine (WT) – Double Feed Induction Generator (DFIG) – Blades Pitch Angle – Fuzzy Control (FC).

1- مُقدِّمة

إن استخدام الفحم لإنتاج الطاقة هو أحد المساهمين الرئيسيين في تغير المناخ. استخدام مصادر الطاقة هذه منتشرة على نطاق واسع تعد من أكثر المصادر التي تسبب إنبعاثات لثاني أكسيد الكربون [1]. لذلك لإبطاء تغير المناخ وتخفيض نسبة التلوث في الهواء يجب استبدال مصادر الطاقة القائمة على الأحافير بالطاقة المتجددة مثل الرياح والطاقة المائية والشمسية [2]. يزداد استخدام طاقة الرياح عامًا بعد عام. وهو حاليًا ثاني أكثر مصادر الطاقة استخدامًا بعد الطاقة الكهرومائية [3]. يبدو أن هذا الاتجاه المتنامي سيستمر في المستقبل حتى يصبح المصدر الرئيسي لتوليد الطاقة في عام 2050 [4]. للمساهمة في هذا الاتجاه الإيجابي والمستدام ، يجب أن تستمر الأبحاث حول طاقة الرياح وتوربينات الرياح. لا يزال التحكم في توربينات الرياح (Wind Turbines WT) يمثل تحديًا للمهندسين. الصعوبة الرئيسية من وجهة نظر التحكم تأتي من حقيقة أنه يجب أن تفي بعدة أهداف في وقت واحد. يجب تصميم عنصر التحكم للوصول إلى الطاقة المولدة وثبيتها بقيمتها الاسمية. في المقابل يجب ضمان السلامة في جميع ظروف التشغيل [5]. علاوة على ذلك يجب تقليل إجهاد الهيكل واهتزازاته إلى أدنى حد حيث تم إثبات أن التحكم يؤثر على استقرار التوربين [6]. يتم التحكم في التوربين من خلال إجراءات تحكم مختلفة ، وخاصة زاوية الميل ، والسرعة الزاوية للمولد ، وزاوية الانعراج. تقوم زاوية الميل بتحويل سطح الشفرة الذي يواجه الريح بحيث كلما زادت المساحة التي تجتاحه، يتم توليد المزيد من الطاقة الميكانيكية. يتم استخدامه لتنظيم طاقة الخرج حول قيمتها المقدره. من ناحية أخرى يتم التحكم في السرعة الزاوية للجزء الدوار من أجل إيجاد منحنى القدرة الأمثل. أخيرًا يقوم التحكم في الانعراج بتحويل التوربين بأكمله لتتبع اتجاه الرياح.

2- مشكلة البحث

من المشاكل الرئيسية التي تتعرض لها العنفات الريحية أثناء عملها هي عدم قدرتها على العمل عند وجود رياح ذات سرعات عالية ، لذلك سيتم في هذا البحث معالجة هذه المشكلة باستخدام نظم تحكم الضبابية.

3- الهدف من البحث

يهدف هذا البحث إلى التمكن من جعل العنفات الريحية تعمل بشكل طبيعي عند سرعات الرياح العالية باستخدام نظم التحكم الضبابية على الأقل مع أداء منخفض .

4- أهمية البحث

- تحسين كفاءة وموثوقية العنفات الريحية لزيادة إنتاج الطاقة
- تقليل تكاليف إنتاج الطاقة.
- دعم الشبكة الكهربائية العامة بالطاقة الكهربائية لفترات زمنية أطول .

5- مواد البحث وطرائقه

- جهاز حاسب آلي.
- الحزمة البرمجية MATLAB ومكتباتها لتصميم نظام التحكم بزواية ميل الشفرات.
- مجموعة بيانات نظام العنفة الريحية WT والمولد ذو التغذية المضاعفة DFIG لاختبار نظام التحكم المقترح.

6-دراسات مرجعية

قام كل من Khayat, M., & Nekoui, M. A [7] ، في عام 2020 بتصميم متحكم ضبابي للتحكم في سرعة الجزء الدوار للتوربين، أعطت الطريقة المقترحة نتائج جيدة

بالمقارنة مع التحكم التقليدي، لكنه لم يتطرق الى المولد كما ان الطريقة المقترحة لا تشمل التحكم بزواوية ميل شفرات التوربين.

في عام 2020 قام كل من Teja, M. R., RamaSudha, K., & Vijayasanthi [8] بتصميم متحكم ضبابي تكيفي للتحكم بالتوربين وزاوية الميل للشفرات، واعطت الطريقة المقترحة استجابة زمنية جيدة بالمقارنة مع التحكم التقليدي والضبابي، ولكن في هذه الدراسة تم استخدام نموذج خطي مبسط للتوربين لا يعبر عن تعقيدات توربينات الرياح الحقيقية، كما انه لم يتطرق الى التحكم بالمولد.

في عام 2017 قام Tahiri, M., Djebli, A., & Mimet, A [9] بتصميم متحكم تقليدي للتحكم بالتوربين، في هذه الدراسة تم اختبار نماذج رياضية مختلفة واختبارها لاجاد التمثيل الرياضي الأنسب، الا ان النماذج المختبرة جميعها خطية ولا تمثل التوربين بشكل حقيقي، كما انه لم يتم التحكم بزواوية الميل للشفرات.

Civelek, Z في الدراسة [10] قام بأمثلة التحكم الضبابي باستخدام الخوارزميات الجينية للتحكم في زاوية الميل للشفرات للتوربين، واعطت الطريقة المقترحة تحكم امثل لزاوية الميل، ولكن في هذه الدراسة تمت نمذجة زاوية الميل فقط للتوربين بتابع نقل، وتم اختبار الطريقة المقترحة عليه، حيث تم تجاهل جميع تعقيدات وارتباطات المتغيرات غير الخطية المختلفة للتوربين والمولد.

في الدراسة [11] قام Karthik, R., Hari, A. S., Kumar, Y. P., & Pradeep, J. D. بتوليف ثوابت المتحكم التقليدي للتحكم بسرعة التوربين باستخدام الطريقة التجريبية نيكولاس-زيكلر، وتم مقارنتها مع الطرق المختلفة الأخرى لتوليف المتحكم التقليدي، ولكن هذه الدراسة لم تتطرق الى التحكم بزواوية الميل للشفرات كما انها لم تتطرق الى التحكم بالمولد.

في الدراسة [12] قام Sierra-Garcia, J. E., & Santos, M. بدمج المتحكم الضبابي مع التعلم العميق للتحكم بزواوية الميل لشفرات التوربين من خلال تقدير الرياح الفعالة في التوربين باستخدام المنطق الضبابي والتنبؤ بالرياح المستقبلية باستخدام التعلم العميق، واعطت الطريقة المقترحة نتائج جيدة بالمقارنة مع التحكم التقليدي والتحكم الضبابي، لكن في هذه الدراسة تم الاعتماد على نموذج رياضي بسيط لزواوية ميل الشفرات وتطبيق الطريقة المقترحة عليه، كما تم تجاهل تعقيدات المتغيرات غير الخطية للتوربين والمولد وتأثيرها على كفاءة الطريقة المقترحة.

في عام 2022 قام كل من Karami-Mollaei, Ali, and Oscar Barambones [13] بتطبيق خوارزمية PSO وسلسلة تايلور بهدف تحسين عملية التحكم بزواوية الميل لشفرات التوربين في المناطق الخاضعة لسرعات رياح متغيرة، أعطت الطريقة المقترحة نتائج جيدة بالمقارنة مع الطرق الأخرى، ولكن الطريقة المقترحة لا تستطيع تتبع زوايا الميل للشفرات دون الاعتماد على سلسلة تايلور مما يعطي الطريقة المقترحة تعقيدات إضافية، بالإضافة الى تجاهل تعقيدات المتغيرات غير الخطية للتوربين والمولد.

كما قام Mahmoud, Mohamed Metwally, et al [14] في عام 2022 بنمذجة مولدين مستخدمين في مجال توربينات الرياح وهما DFIG و PMSG ، كما تم تطبيق خوارزمية التحكم MRFO-PI للتحكم بزواوية ميل الشفرات والسرعة الزاوية للمولدين، واعطت الطريقة المقترحة نتج ذات فعالية وموثوقية في التخفيف من الآثار السلبية للأعطال وتغيير سرعة الرياح.

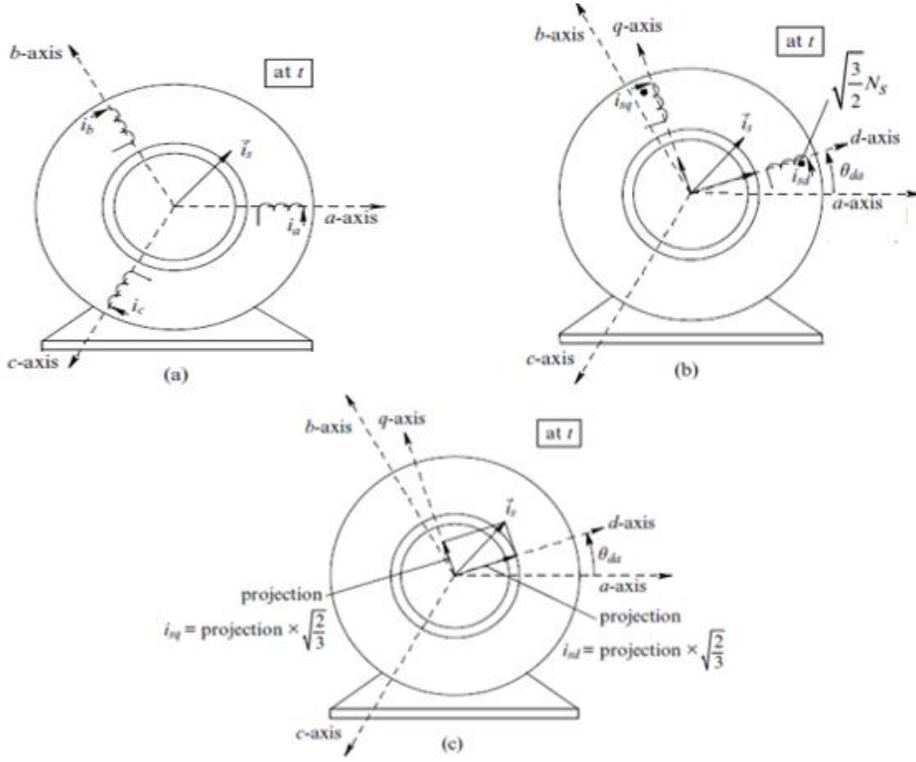
قام Korkos, Panagiotis, et al. في عام 2022 [15] باقتراح طريقة جديدة للتحكم بزواوية الميل لمزرعة ريحية مكونة من خمس توربينات رياح، تعتمد الطريقة المقترحة على استخراج الميزات باستخدام المشفر التلقائي العميق ومن ثم استخدام تقنيات

تقليل الابعاد على السمات المستخرجة قبل إدخالها الى وحدة التحكم، أعطت الطريقة المقترحة نتائج افضل بالمقارنة مع استخدام السمات الاصلية .

7- النموذج الرياضي للمولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة DFIG في الإحداثيات dq

من أجل وضع المعادلات الرياضية للمولد التحريضي لأبداً أولاً من اعتماد الفرضيات التالية [16] :

- توزع جيبي للقوة المحركة المغناطيسية تحت القطب الواحد .
 - الدارة المغناطيسية غير مُشعبة (علاقة خطية بين الفيض والتيار).
 - الثغرة الهوائية ثابتة.
 - الضياعات الحديدية مهملة.
 - ملفات الجزء الثابت والدائر متطابقة .
 - يتم تطبيق جهد الجزء الثابت من خلال شبكة الطاقة بجهد جيبي متوازن ثلاثي الطور.
 - يمكن التحكم في جهد الدوار من خلال إلكترونيات القدرة.
 - المحارضات ومقاومات التسرب للجزء الثابت والدوار صغيرة جداً.
- بما أن جهد الجزء الثابت يتم تطبيقه من الشبكة العامة لذلك لا يمكن التحكم فيه . إن الغرض من نمذجة DFIGs في الإحداثيات dq هو التحكم في DFIG (سرعته ، عزم الدوران الكهرومغناطيسي وما إلى ذلك) بشكل مبسط.
- بالاعتماد على الشكل (1) تقبل المعادلات الرياضية للمولد التحريضي المشتقة من الإحداثيات dq بدون برهان وبهدف التبسيط على النحو الآتي :



الشكل (1) المولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة DFIG في الإحداثيات dq

بالنسبة لملفات الجزء الثابت في الاحداثيات ثلاثية الأطوار، بافتراض أن الطور a هو الطور المرجعي، ومتجه التيار للجزء الثابت i_s ومتجه القوة المغناطيسية F_s في المجال الزمني t يعطى بالمعادلة التالية:

$$\vec{i}_s^a(t) = i_a(t) + i_b(t) e^{j2\pi/3} + i_c(t) e^{j4\pi/3} \quad (1)$$

$$\vec{F}_s^a(t) = \frac{N_s}{\rho} \vec{i}_s^a(t) \quad (2)$$

حيث $i_a(t)$ و $i_b(t)$ و $i_c(t)$ هي تيارات الأطوار لملفات الجزء الثابت في اللحظة t ، N_s هي اللفات المكافئة لكل ملف ثابت ، و ρ هي عدد الأقطاب.

لنفترض أن القوة المغناطيسية في أي لحظة يتم إنتاجها عن طريق مجموعة من ملفين متعامدين ، i_{sd} و i_{sq} ، كل منهما له دورات مكافئة kN_s ، إذن لدينا:

$$\frac{kN_s}{\rho} (i_{sd}(t) + i_{sq}(t)) = \frac{N_s}{\rho} \tilde{i}_s^a(t) \quad (3)$$

حيث i_s^d : i_s^a تستخدم المحور d كمحور مرجعي ويتم الحصول عليها بالشكل التالي:

$$\tilde{i}_s^d(t) = \tilde{i}_s^a(t) e^{-j\theta_{da}(t)} \quad (4)$$

حيث $\theta_{da}(t)$ هي زاوية التقاطع بين المحور d والمحور a في المجال t.

لذلك، يمكن الحصول على i_{sd} و i_{sq} كما يلي:

$$i_{sd} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \text{Re}\{\tilde{i}_s^d(t)\} \quad (5)$$

$$i_{sq} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \text{Im}\{\tilde{i}_s^d(t)\} \quad (6)$$

حيث $\text{Re}\{\tilde{i}_s^d(t)\}$ و $\text{Im}\{\tilde{i}_s^d(t)\}$ هما على التوالي الجزء الحقيقي والخيالي من

$\tilde{i}_s^d(t)$ ، وبالتالي يمكن التعبير عن العلاقة بين التيارات dq والتيارات abc كما يلي:

$$i_{s,dq} = T_{s,abc} \rightarrow dq i_{s,abc} \quad (7)$$

$$i_{s,abc} = T_{s,dq} \rightarrow abc i_{s,dq} \quad (8)$$

حيث:

$$i_{s,abc} = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} \quad (9), i_{s,dq} = \begin{bmatrix} i_{sd}(t) \\ i_{sq}(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

و $T_{s,abc} \rightarrow dq$ and $T_{s,dq} \rightarrow abc$ هي تحويل بارك وتحويل بارك العكسي لملفات الجزء

الثابت التي يتم الحصول عليها على الشكل التالي:

$$T_{s,abc} \rightarrow dq = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{da}(t)) & \cos(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) & \cos(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) \\ -\sin(\theta_{da}(t)) & -\sin(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) & -\sin(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$T_{s,dq \rightarrow abc} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{da}(t)) & -\sin(\theta_{da}(t)) \\ \cos(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) & -\sin(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) \\ \cos(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) & -\sin(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (12)$$

وبالمثل ، بالنسبة للجهود الثابتة ، لدينا :

$$v_{s,dq} = T_{s,abc} \rightarrow_{dq} v_{s,abc} \quad (13)$$

$$v_{s,abc} = T_{s,dq} \rightarrow_{abc} v_{s,dq} \quad (14)$$

حيث :

$$v_{s,abc} = \begin{bmatrix} v_a(t) \\ v_b(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} \quad (15), v_{s,dq} = \begin{bmatrix} v_{sd}(t) \\ v_{sq}(t) \end{bmatrix} \quad (16)$$

وبنفس الطريقة لمفات الجزء الدوار ، لدينا :

$$i_{r,dq} = T_{r,ABC} \rightarrow_{dq} i_{r,ABC} \quad (17)$$

$$i_{r,ABC} = T_{r,dq} \rightarrow_{ABC} i_{r,dq} \quad (18)$$

$$v_{r,dq} = T_{r,ABC} \rightarrow_{dq} v_{r,ABC} \quad (19)$$

$$v_{r,ABC} = T_{r,dq} \rightarrow_{ABC} v_{r,dq} \quad (20)$$

حيث :

$$i_{r,ABC} = \begin{bmatrix} i_A(t) \\ i_B(t) \\ i_C(t) \end{bmatrix} \quad (21), i_{r,dq} = \begin{bmatrix} i_{rd}(t) \\ i_{rq}(t) \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$v_{r,ABC} = \begin{bmatrix} v_A(t) \\ v_B(t) \\ v_C(t) \end{bmatrix} \quad (23), v_{r,dq} = \begin{bmatrix} v_{rd}(t) \\ v_{rq}(t) \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$T_{r,ABC} \rightarrow_{dq} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{da}(t)) & \cos(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) & \cos(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) \\ -\sin(\theta_{da}(t)) & -\sin(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) & -\sin(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$T_{r,dq} \rightarrow_{ABC} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{da}(t)) & -\sin(\theta_{da}(t)) \\ \cos(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) & -\sin(\theta_{da}(t) - 2\pi/3) \\ \cos(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) & -\sin(\theta_{da}(t) + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (26)$$

العلاقة بين سرعة الدوران الكهربية ω_m وسرعة الدوران الميكانيكية ω_{mec} :

$$\omega_m = \frac{\rho}{2} \omega_{mec} \quad (27)$$

العزم الكهرومغناطيسي :

$$T_{em} = \frac{\rho}{2} L_m (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) \quad (28)$$

معادلة الحركة :

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{\rho}{2} \frac{T_{em} - T_L}{J} \quad (29)$$

حيث T_L هي عزم دوران الحمل و J هي العطالة.

الاستطاعة الفعلية :

$$P_s = v_{sd} i_{sd} + v_{sq} i_{sq} \quad (30)$$

الاستطاعة الردية :

$$Q_s = v_{sq} i_{sd} - v_{sd} i_{sq} \quad (31)$$

أما الاستطاعة في الجزء الدائر فتحسب بنفس العلاقات السابقة مع استبدال كل $s \rightarrow r$.

8- اختيار متغيرات التحكم بالاعتماد على المحور d

عادةً ما يتم اختيار المحور d ليتم محاذاته مع جهد الثابت ، عندئذ يكون لدينا

المعادلات التالية:

$$|\vec{v}_s^a| = v_{s,d} \quad (32)$$

$$v_{s,q} = 0 \quad (33)$$

$$\vec{v}_s^a = v_{s,d} \angle \theta_{da} \quad (34)$$

$$P_s = v_{sd} i_{sd} \cong - \frac{L_m}{L_s} v_{sd} i_{rd} \quad (35)$$

حيث L_m المحارضة المتبادلة بين الثابت والدائر و L_s محارضة الثابت.

$$Q_s = - v_{sd} i_{sq} \cong v_{sd} \left(\frac{v_{sd}}{\omega_d L_s} + \frac{L_m}{L_s} \right) i_{rq} \quad (36)$$

حيث ω_d سرعة دوران المحور d .

مما سبق يلاحظ أنه يمكن التحكم بـ P_s و T_{em} للجزء الثابت لـ DFIG من خلال

ضبط i_{rd} والتحكم بـ Q_s للجزء الثابت لـ DFIG من خلال ضبط i_{rq} .

9- وحدة التحكم PI للمولد التحريضي ذو التغذية المضاعفة

تم الاعتماد على المتحكم التناسبي التكاملي PI لتوليد إشارات مرجعية تحقق متطلبات الأداء.

تابع النقل للمتحكم التناسبي التكاملي PI :

$$K_i(s) = \frac{K_{i,i}}{s} + K_{p,i} \quad (40)$$

ثوابت المتحكم التناسبي التكاملي PI ($K_{p,i}$ & $K_{i,i}$) على النحو الآتي :

$$K_{i,i} = \omega_c^2 \sqrt{\frac{R_r^2 + (\omega_c L_r \sigma)^2}{\omega_c^2 + \tan^2(PM - \frac{\pi}{2} + \arctan(\omega_c L_r \sigma / R_r))}} \quad (41)$$

$$K_{p,i} = \frac{K_{i,i} \tan(PM - \frac{\pi}{2} + \arctan(\omega_c L_r \sigma / R_r))}{\omega_c} \quad (42)$$

حيث :

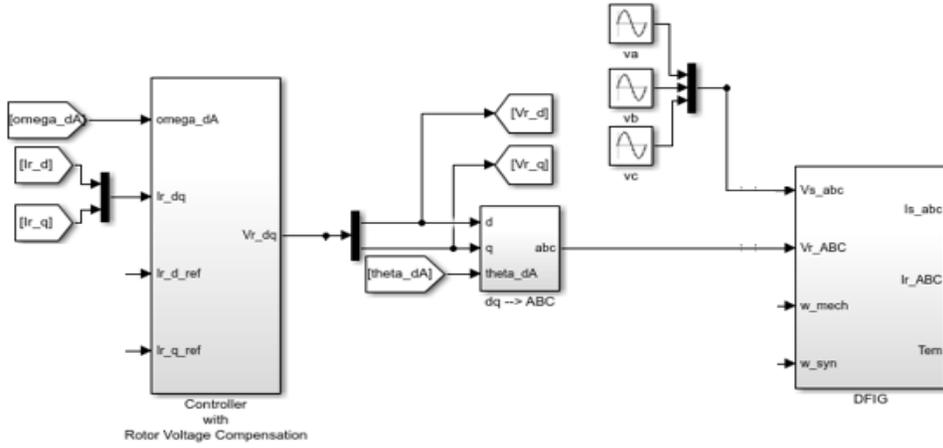
PM هو هامش الطور المرغوب .

ω_c هو تردد النقاط المطلوب .

$$\sigma \triangleq 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} \quad (43)$$

يوضح الشكل (3) وحدة التحكم PI المصممة للتحكم بالمولد حيث يتم اختيار i_{rd} و

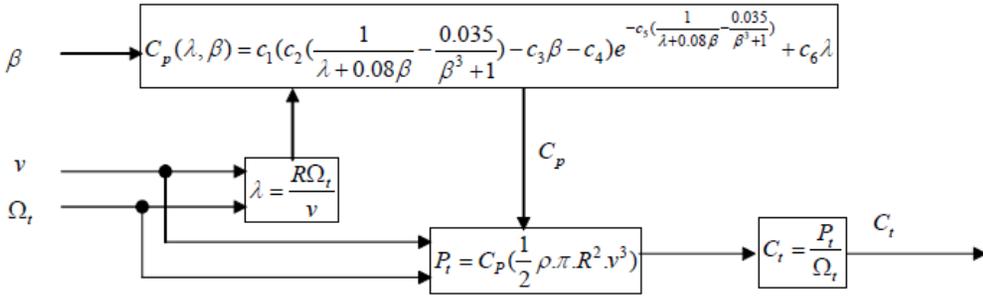
i_{rq} إشارات مرجعية كدخل للمتحكم و $v_{r, dq}$ خرج للمتحكم .



الشكل (3) وحدة التحكم PI المصممة للتحكم بالمولد DFIG

10- النموذج الرياضي للعنفة الريحية

يعبر رياضياً عن العنفة الريحية بالمخطط الصندوقي المبين في الشكل (4) التالي:



الشكل (4) نموذج العنفة الريحية

حيث :

Ω_t : السرعة الميكانيكية لمحور العنفة .

v : سرعة الهواء (m/sec).

ρ : كثافة الهواء (Kg/m^3) وتتعلق بدرجة الحرارة والضغط ($1.22 Kg/m^3$ عند درجة حرارة 15°).

R : نصف قطر العنفة بالمتر.

C_t : العزم الميكانيكي .

يعطى معامل الاستطاعة C_p بالعلاقة :

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left(C_2 \left(\frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \right) - C_3\beta - C_4 \right) e^{-C_5 \left(\frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \right)} + C_6\lambda \quad (44)$$

حيث :

$$C_1 = 0.5109, C_2 = 116, C_3 = 0.4, C_4 = 5, C_5 = 21, C_6 = 0.0068$$

حيث العوامل من C_1 و حتى C_6 هي عبارة عن ثوابت تعطى من أجل وصف عنفة ريحية محددة وهي تتعلق بالتصميم الأيروديناميكي لشفرات العنفة .

العزم الميكانيكي C_t الناتج عن الريح والمطبق على محور العنفة يجمع مع العزم الكيرومغناطيسي المقدم

من المولد على محور المولد و يؤخذ بعين الاعتبار علبة السرعة.

تقوم علبة السرعة بمضاعفة السرعة لتلائم السرعة العالية للمولد و تخفيض العزم كما يلي:

$$C_{mec} = \frac{1}{G} C_t \quad (45)$$

حيث :

C_{mec} : العزم الميكانيكي على محور المولد (N.m) .

G: نسبة المسننات (بدون واحدة).

$$\Omega_{mec} = G \Omega_t \quad (46)$$

حيث :

Ω_{mec} : السرعة الميكانيكية للمولد (rad/sec) .

يمكن التعبير عن العلاقة بين P_{turb} و P_{Wind} \leq :

$$P_{turb} = C_p P_{Wind} = C_p \frac{1}{2} \rho A v_{wind}^3 \quad (47)$$

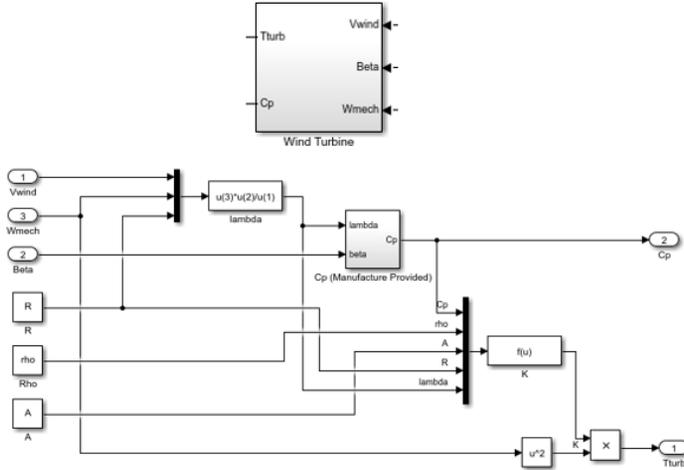
حيث :

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (48)$$

و يمكن التعبير عن T_{turb} \leq :

$$T_{turb} = C_p \frac{1}{2} \rho A \frac{R^3}{\lambda^3} \omega^2_{wind} \quad (49)$$

يوضح الشكل (5) نموذج توربين الرياح المصمم



الشكل (5) نموذج توربين الرياح المصمم

بالنسبة لزاوية ميل الشفرات فيمكن التعبير عنها بتابع من الدرجة الثانية في فضاء لابلاس كالتالي:

$$\frac{\beta(s)}{\beta_r(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

حيث يكون عامل التخميد ζ يساوي 0.6. ويُعطى التردد الطبيعي بواسطة ω_n وقيمته

$$11.11 \text{ rad}$$

11- النمذجة والمحاكاة

يعتمد DFIG المدروس على مثال تم توفيره في [2]، في هذا البحث سنعمل على توريين رياح باستطاعة 1.5 MW. يتم سرد المواصفات المعنية لـ DFIG في الجدول 1، ويتم سرد مواصفات توريينات الرياح في الجدول 2.

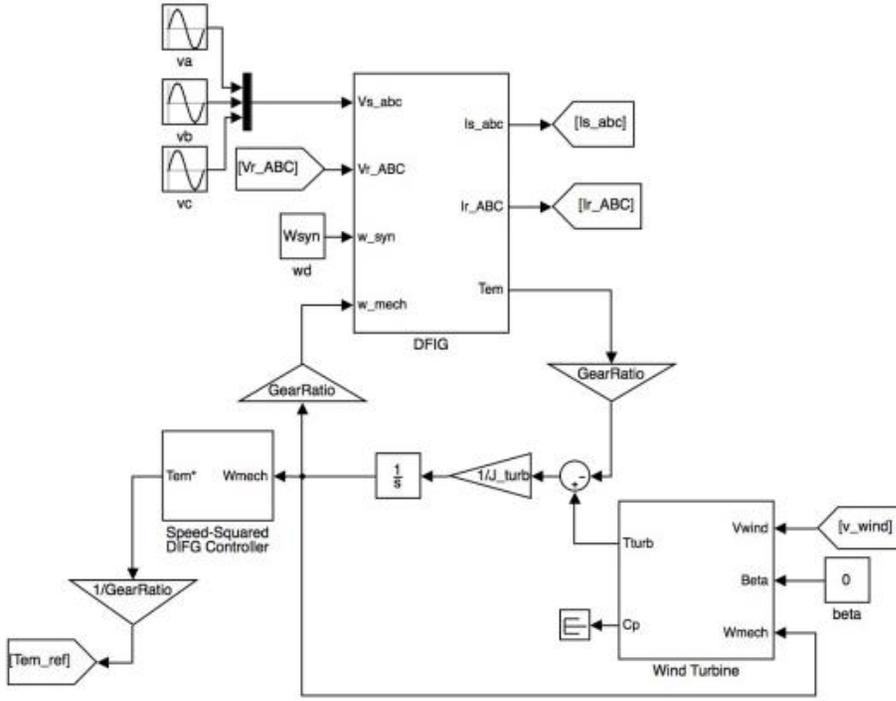
الجدول 1: مواصفات DFIG المدروس

Rated Line Voltage (RMS Value)	690 V	R_s	2.0 mΩ
Rated Frequency	$f_{syn} = 60$ Hz	R_r	1.5 mΩ
Poles	$p = 6$	X_{ls}	50 mΩ
Full Load Slip	$s = 1\%$	X_{lr}	47 mΩ
Moment of Inertia	$J = 75$ kg·m ²	X_m	860 mΩ

الجدول 2: مواصفات التوريين المدروس

Swept Area	$A = 3904 \text{ m}^2$	Rotor Diameter	$2R = 70.5 \text{ m}$
Density of Air	$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$	System Inertia	$J_{turb} = 2.4 \times 10^6 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

يوضح الشكل (6) دمج التوربين مع المولد.

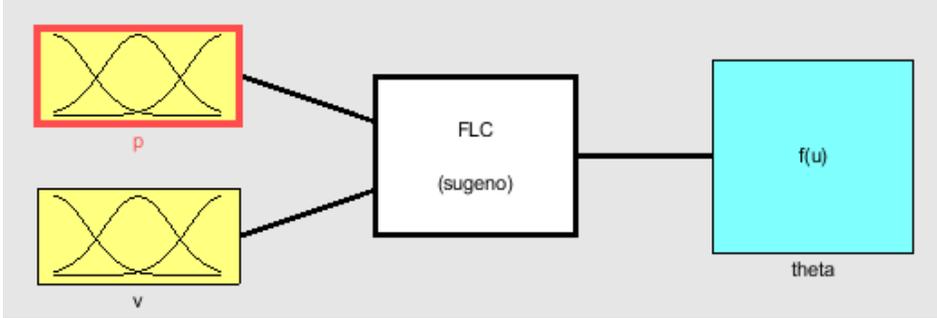


الشكل (6) دمج التوربين مع المولد

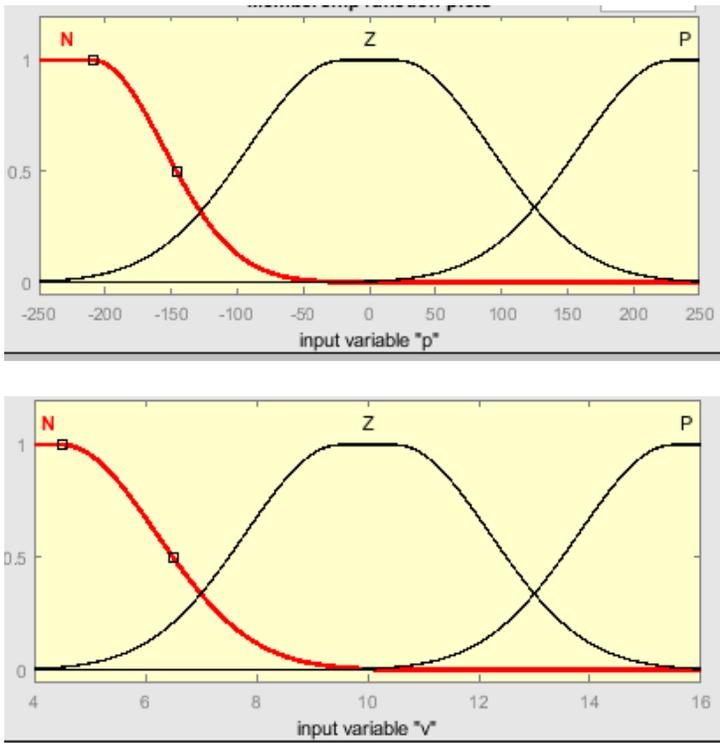
12- نظام التحكم الضبابي المقترح

يتكون المتحكم الضبابي المصمم للتحكم בזوايا ميل الشفرات للتوربين من دخلين وهما مقدار الخطأ في خرج الطاقة الحقيقية وسرعة الرياح المقاسة، وللمتحكم خرج واحد وهو زاوية الميل المرجعية للشفرات كما يوضح الشكل (7). يتكون كل من الدخلين من ثلاث

دالات انتماء بمجالات مختلفة كما يوضح الشكل (8)، اما القواعد المستخدمة لضبط المتحكم موضحة في الشكل (9)، كما يوضح الشكل (10) علاقة المدخل مع الخرج للمتحكم المصمم.



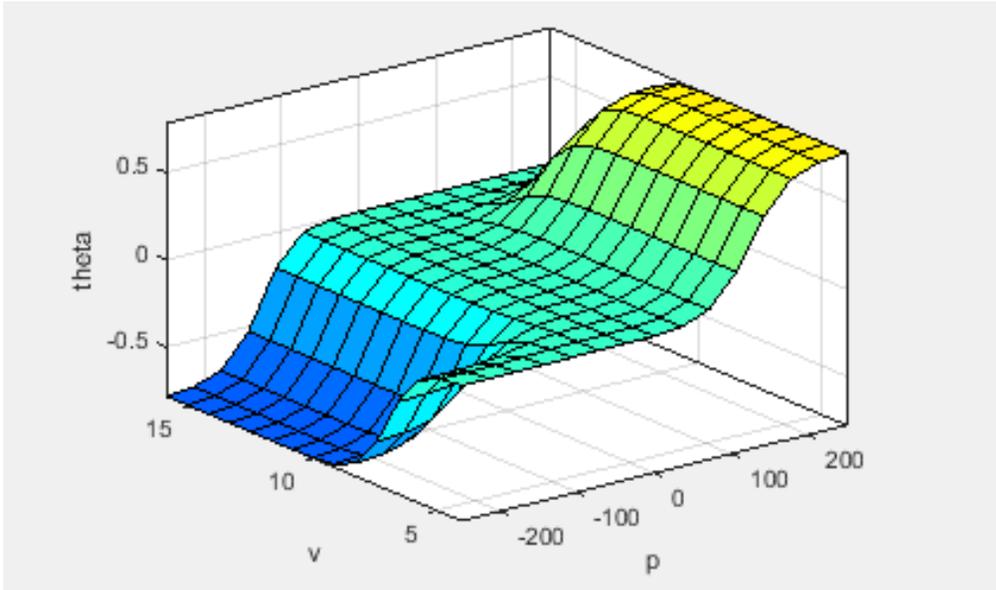
الشكل (7) نظام التحكم الضبابي المصمم



الشكل (8) دالات الانتماء للمداخل

1. If (p is N) and (v is N) then (theta is Z) (1)
2. If (p is N) and (v is Z) then (theta is N) (1)
3. If (p is N) and (v is P) then (theta is N) (1)
4. If (p is Z) and (v is N) then (theta is Z) (1)
5. If (p is Z) and (v is Z) then (theta is Z) (1)
6. If (p is Z) and (v is P) then (theta is Z) (1)
7. If (p is P) and (v is N) then (theta is P) (1)
8. If (p is P) and (v is Z) then (theta is P) (1)
9. If (p is P) and (v is P) then (theta is Z) (1)

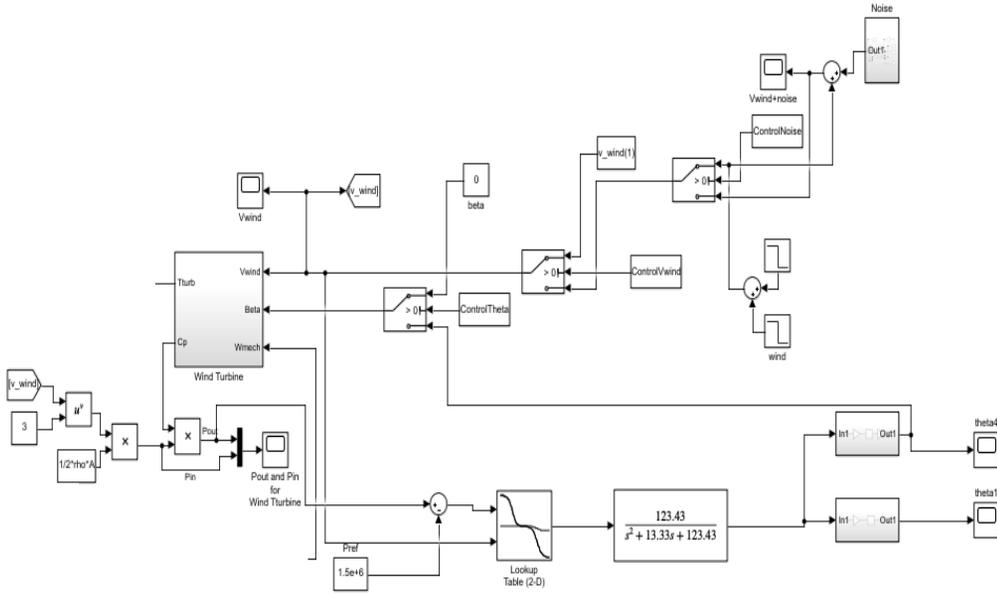
الشكل (9) قواعد المتحكم الضبابي المصمم



الشكل (10) العلاقة بين المداخل والمخارج للمتحكم الضبابي المصمم

يوضح الشكل (11) دمج المتحكم الضبابي المصمم مع التوربين، حيث يظهر بالمخطط إمكانية التحكم بزواوية الميل من حيث إمكانية تمرير قيمة ثابتة للتوربين او تمرير خرج المتحكم الضبابي لأغراض المحاكاة، كما نلاحظ إمكانية التحكم بإشارة سرعة الرياح

لأغراض المحاكاة حيث يمكن تمرير قيمة ثابتة أو إشارة متغيرة بدون ضجيج أو إشارة متغير مع ضجيج.



الشكل (11) دمج التوربين مع المتحكم الضبابي المصمم

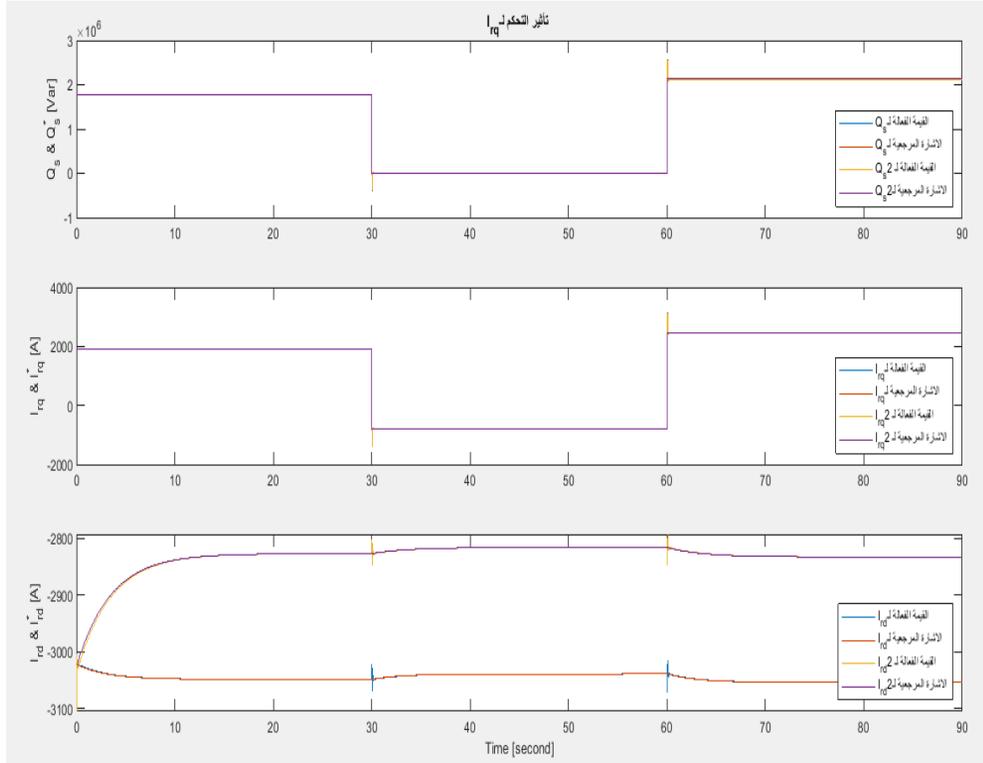
13- النتائج والمناقشة

محاكاة توربين الرياح مع سرعة رياح محددة (بدون ومع تحكم بزواوية الميل)

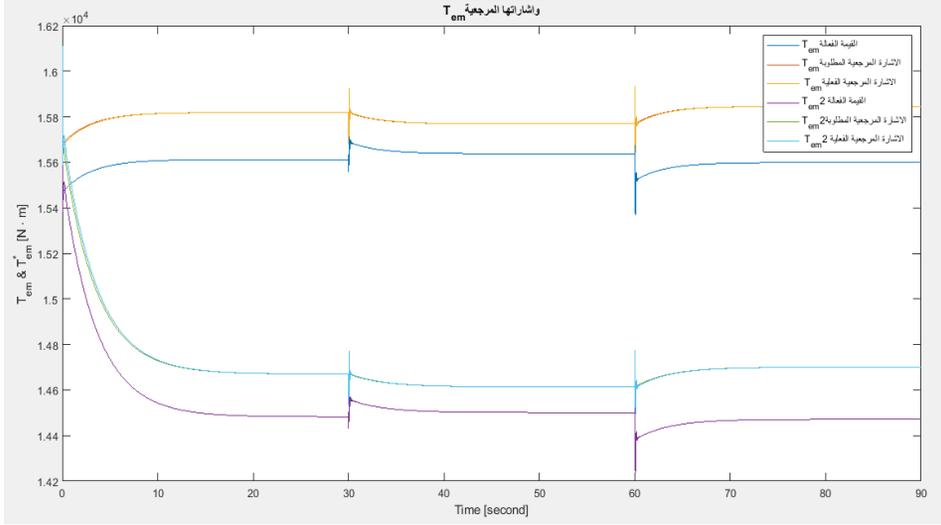
لتوضيح اثر التحكم في زاوية الميل بحالة السرعات الشديدة للرياح، قمنا بهذه المرحلة بتضمين وحدة التحكم بزواوية الميل مع التوربين، بالإضافة الى تثبيت سرعة الرياح على 12 m/s.

يظهر مخطط Q_s و i_{rd} و i_{rq} وإشاراتهم المرجعية في الشكل (12). من الشكل نلاحظ أن آلية التحكم تتمكن من التحكم بـ Q_s و i_{rq} فيها بشكل فعال بعد إضافة التحكم بزواوية الميل بحيث يمكنهم تتبع إشاراتهم المرجعية، كما نلاحظ انخفاض شدة التيار i_{rd} الناتج

عن تغيير زاوية الميل للشفرات بالسرعات المرتفعة للرياح مما ينتج عنه انخفاض في العزم.



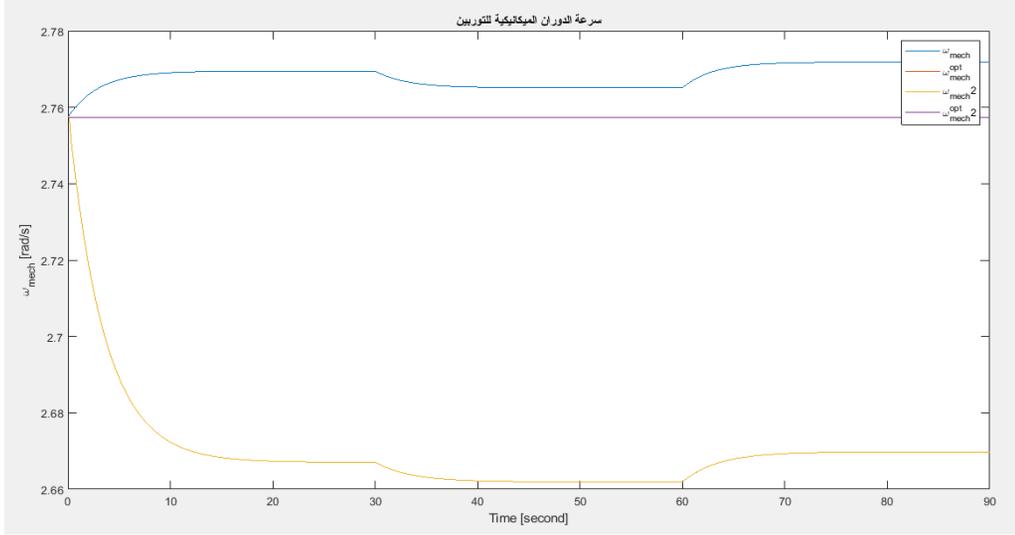
الشكل (12) نتائج محاكاة تأثير التحكم في i_q



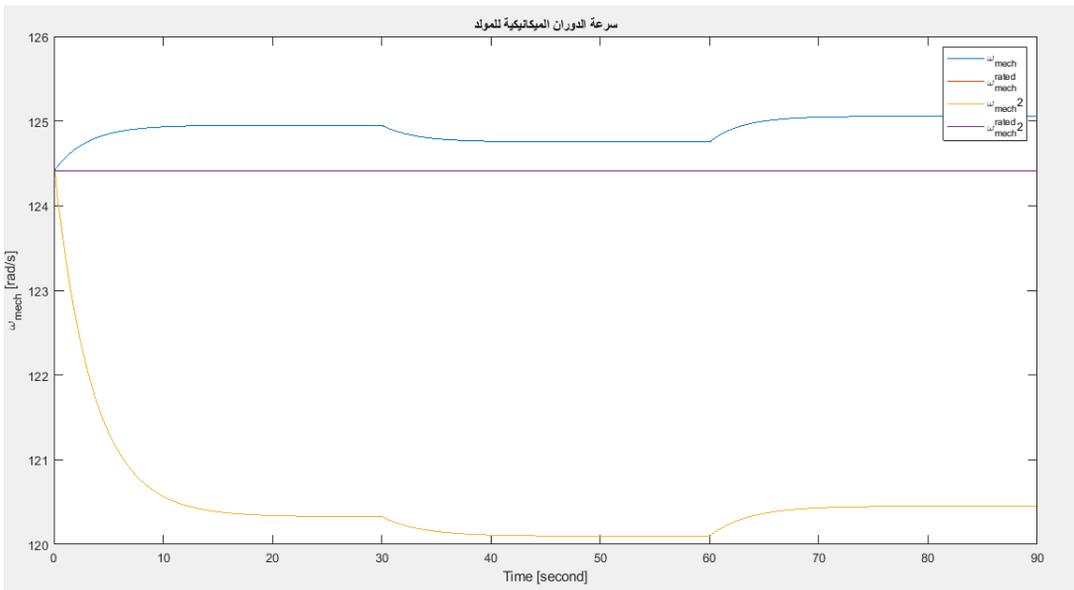
الشكل (13) نتائج محاكاة T_{em} والإشارة المرجعية الخاصة به

نلاحظ من الشكل (13) انخفاض في إشارة العزم الفعلية للتوربين وإشارة العزم المرجعية نتيجة تكامل المتحكم π مع وحدة التحكم بزواوية الميل للشفرات، كما يؤدي اهتزاز T_{em} أيضاً إلى التغيير في سرعة الدوران الميكانيكية لتوربين الرياح (كما هو موضح في الشكل (14) بحيث تؤدي وحدة التحكم في السرعة إلى التغيير في \dot{I}_{rd}^* . ينعكس تغير سرعة الدوران الميكانيكي لتوربين الرياح أيضاً في سرعة الدوران الميكانيكي لـ DFIG كما هو موضح في الشكل (15).

دراسة وتصميم نظام تحكم ضبابي في العنفات الريحية للعمل عند سرعات الرياح العالية



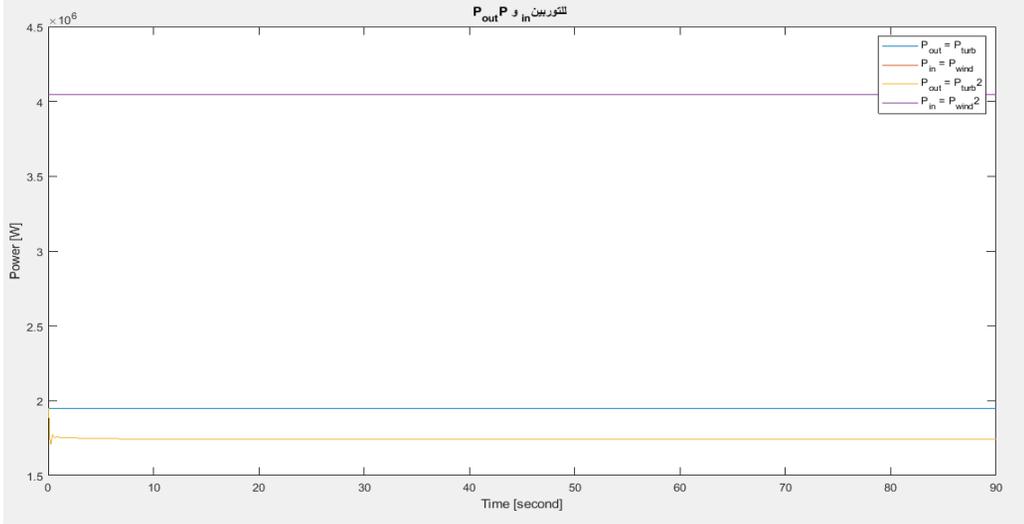
الشكل (14) نتائج محاكاة سرعة الدوران الميكانيكي لتوربين الرياح



الشكل (15) نتائج محاكاة سرعة الدوران الميكانيكية لـ DFIG

من الشكلين (14) و (15)، يمكننا أن نجد أن نظام التحكم خفض سرعة الدوران الميكانيكية لكل من المولد والتوربين بحالة السرعات المرتفعة للرياح. يوضح الشكل

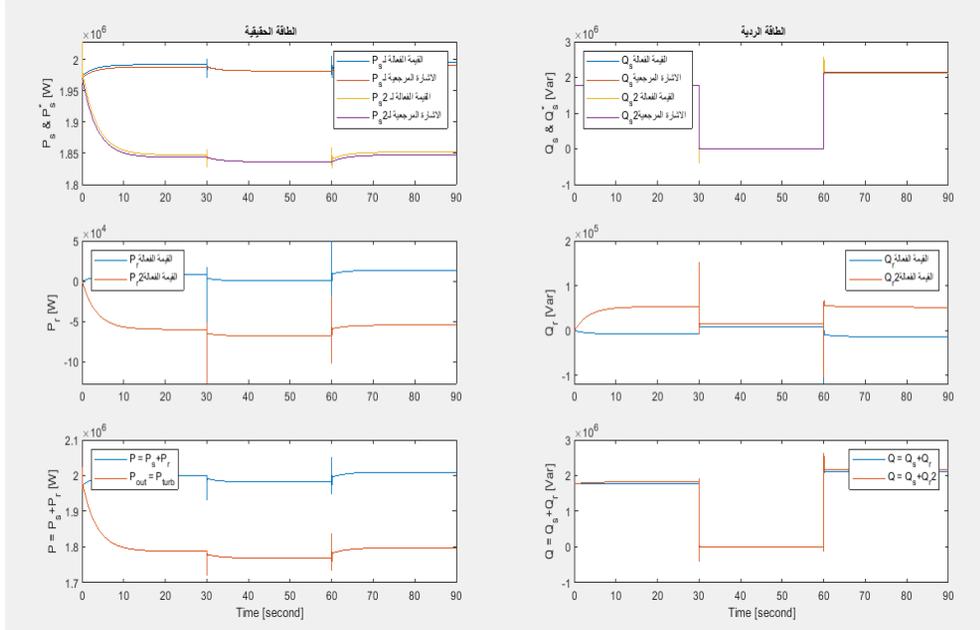
(16) مدخلات وخرج طاقة توربينات الرياح. نظراً لأن سرعة الرياح ثابتة في المحاكاة، فإن قوة الإدخال P_{wind} ثابتة أيضاً. كما نلاحظ انخفاض في خرج الطاقة للتوربين الناتج عن تغيير زاوية الميل للشفرات.



الشكل (16) نتائج محاكاة المدخلات والمخرجات من توربين الرياح

يوضح الشكل (17) القوة الحقيقية والرديئة للجزء الثابت والدوار في DFIG. من

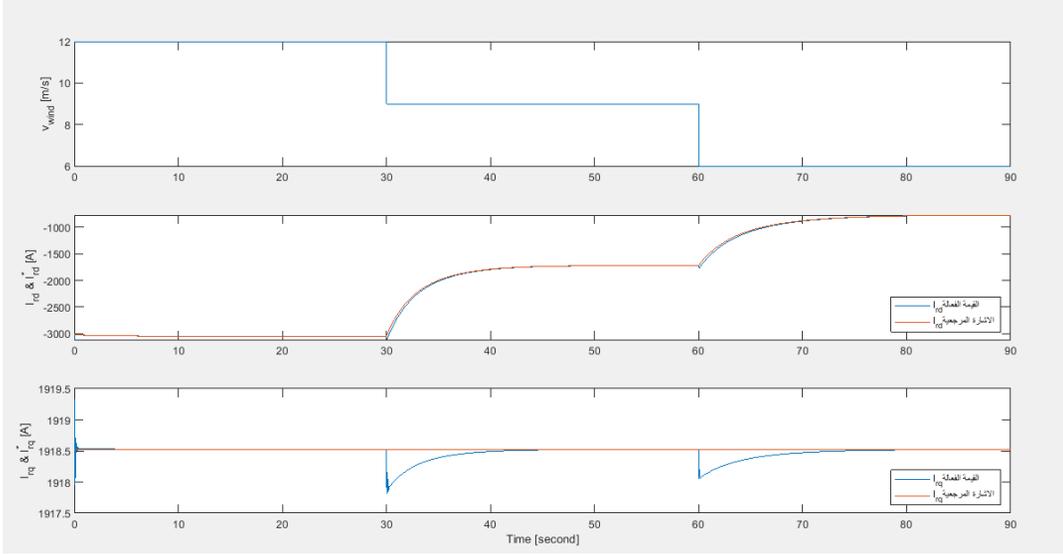
الشكل يمكن ملاحظة انخفاض كل من P_s و P_r و $P = P_s + P_r$.



الشكل (17) نتائج محاكاة القوة الحقيقية والردية لـ DFIG

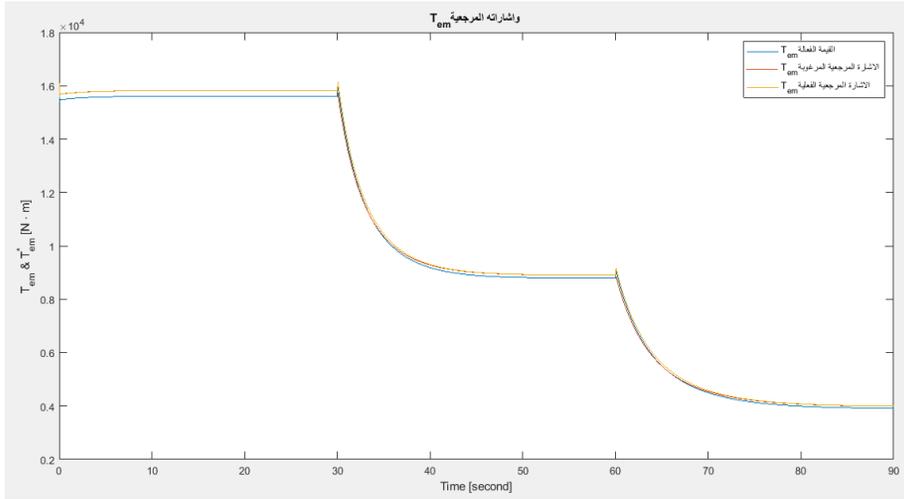
محاكاة توربين الرياح مع سرعة رياح متغيرة (بدون تحكم بزاوية الميل)

في هذه المحاكاة تم تعيين Q_s^* لتكون مساوية للقيمة المقدرة Q_{rated} ، بينما يتم تغيير سرعة الرياح. القيمة الأولية لسرعة الرياح هي 12 m/s ، ثم تتناقص سرعة الرياح إلى 9 m/s في اللحظة $t = 30$ s ، ثم تنخفض إلى 6 m/s في اللحظة $t = 60$ s.

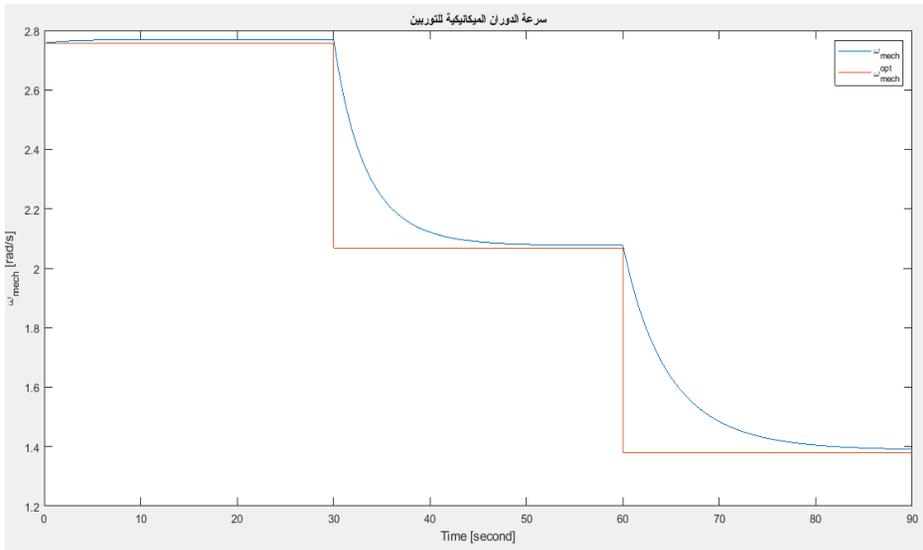


الشكل (18) نتائج المحاكاة لتأثير التحكم في ird

من الشكل (18) يمكننا أن نلاحظ أنه مع التغيير في سرعة الرياح، يمكن لنظام التحكم الخاص بنا أن يستجيب بسرعة ويولد إشارة مرجعية للتحكم في عزم DFIG's كما هو موضح في الشكل (19) وكذلك للتحكم في سرعة الدوران ميكانيكيًا لـ توربينات الرياح (كما هو موضح في الشكل (20)).



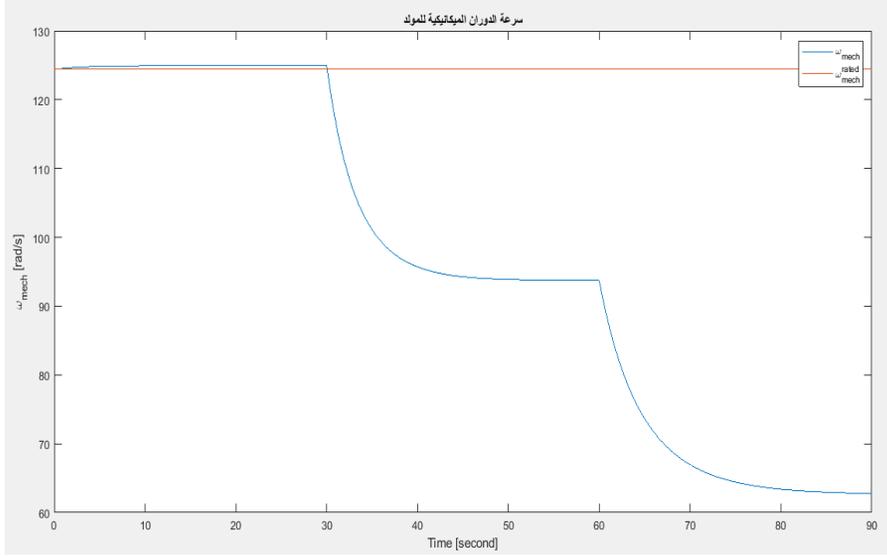
الشكل (19) نتائج محاكاة T_{em} وإشارات المرجعية T_{em}^*



الشكل (20) نتائج محاكاة سرعة الدوران الميكانيكي لتوربين الرياح

على الرغم من التحكم في سرعة الدوران الميكانيكي لتوربين الرياح للحفاظ على القيمة المثلى وفقاً لسرعة الرياح المختلفة كما هو موضح في الشكل (20)، فإن سرعة الدوران الميكانيكي لـ DFIG لا تحافظ دائماً على قيمتها المقدره ، كما هو موضح في الشكل

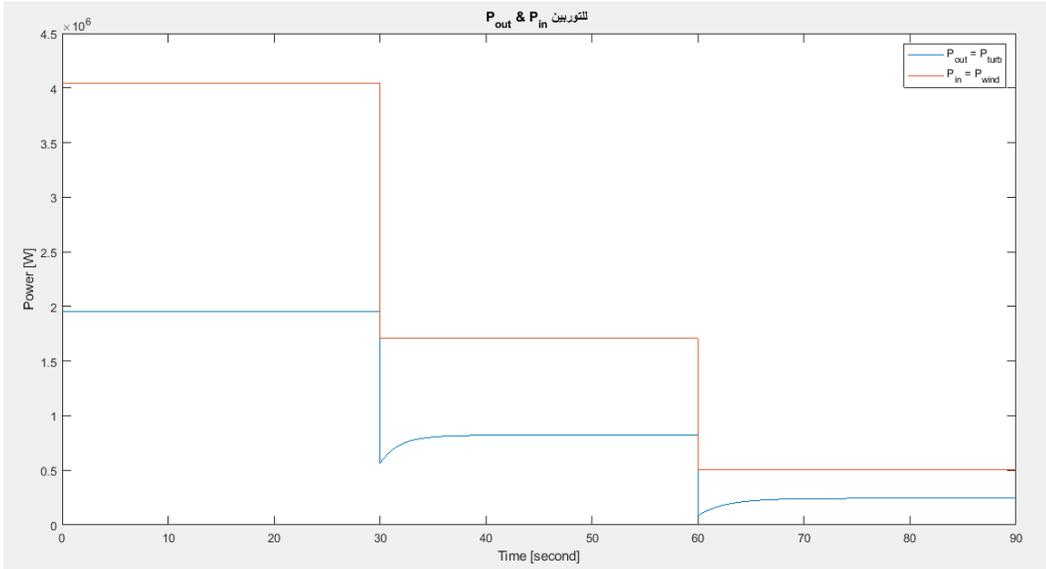
(21) . إلى جانب ذلك من الشكل (21)، تتغير سرعة الدوران ميكانيكياً لـ DFIG بشكل كبير مع تغير سرعة الرياح. نظراً لخصائص DFIG يمكن تشغيل DFIG في نطاق سرعة واسع بما فيه الكفاية بحيث يكون عادةً قابلاً للتكيف مع التغير الكبير في سرعة الدوران ميكانيكياً.



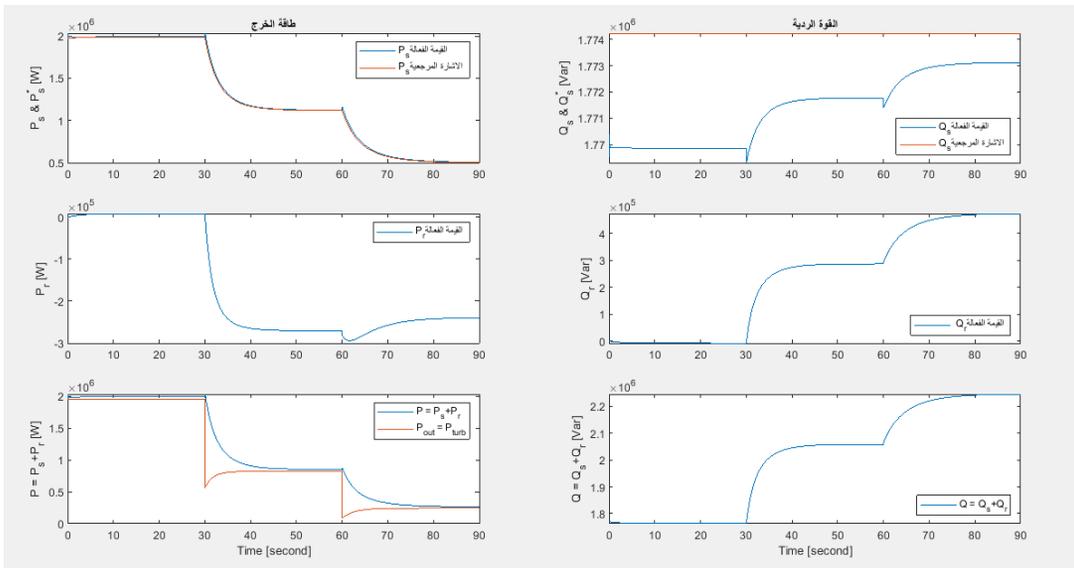
الشكل (21) نتائج محاكاة سرعة الدوران الميكانيكية لـ DFIG

يوضح الشكل (22) مدخلات وخرج طاقة توربينات الرياح. يوضح الشكل (23) القوة الحقيقية والرديية لـ DFIG. من الشكل (23) ، يمكننا أن نجد انه في الحالة المستقرة $P_{turb} \approx P_s + P_r$. يوضح هذا أن الطاقة الناتجة عن توربينات الرياح يتم استهلاكها بواسطة كل من الدوار والجزء الثابت.

دراسة وتصميم نظام تحكم ضبابي في العنفات الريحية للعمل عند سرعات الرياح العالية



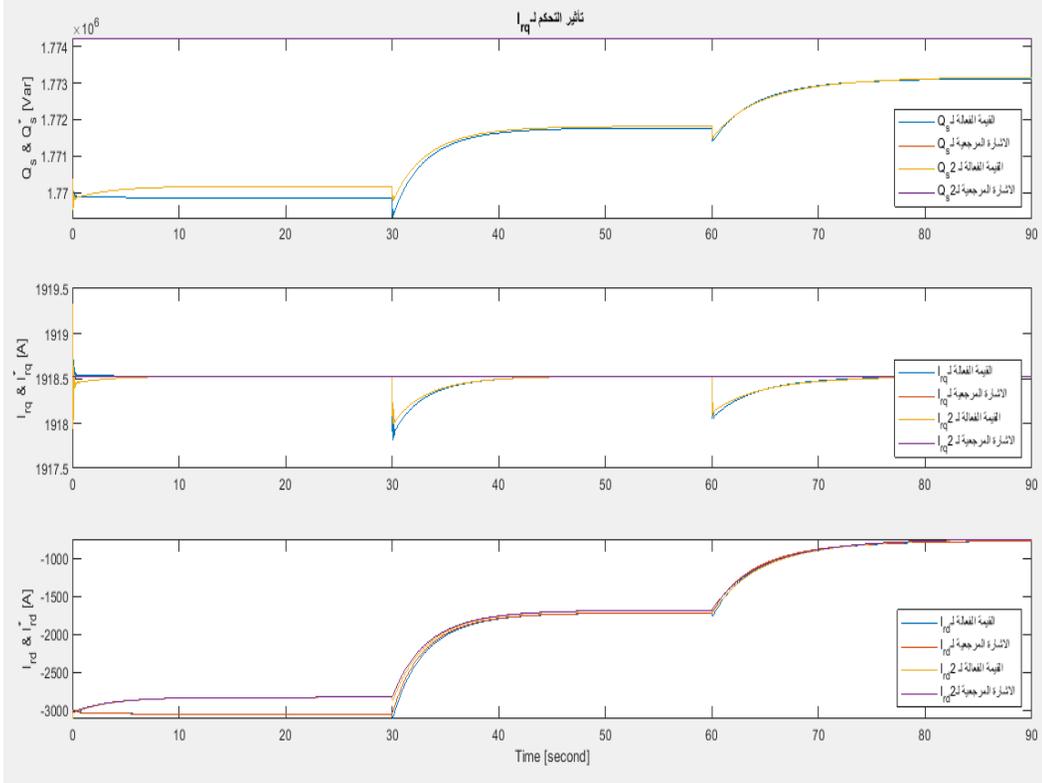
الشكل (22) نتائج محاكاة المدخلات والمخرجات من توربين الرياح



الشكل (23) نتائج محاكاة القوة الحقيقية والردية لـ DFIG

محاكاة توربين الرياح مع سرعة رياح متغيرة (مع تحكم بزواوية الميل)

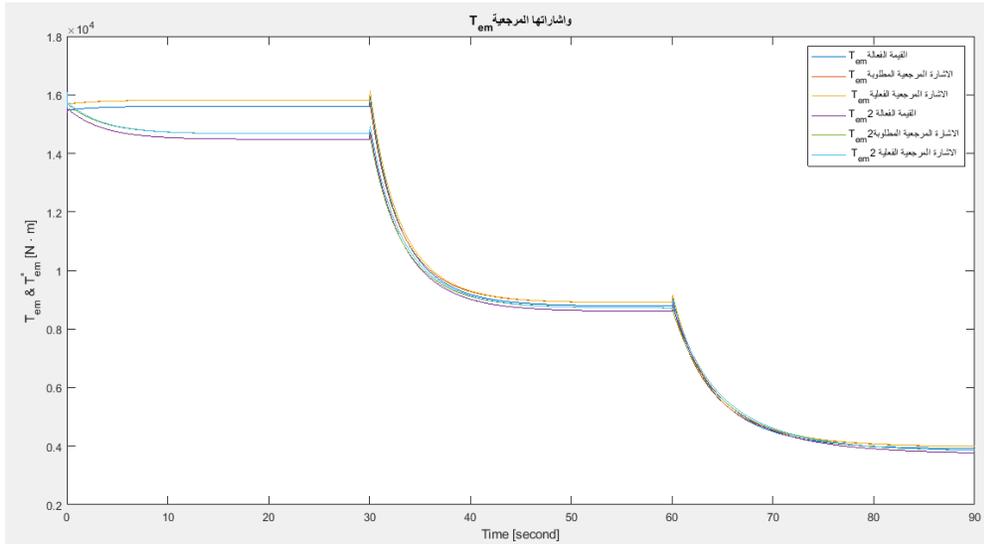
في هذه المحاكاة يتم تغيير سرعة الرياح كما في المحاكاة السابقة، ولكن مع إضافة وحدة التحكم بزواوية الميل للشفرات.



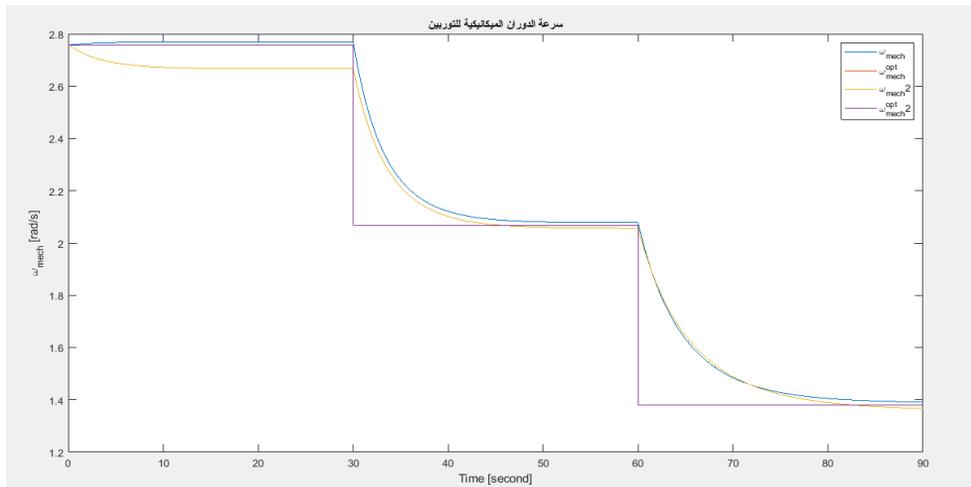
الشكل (24) نتائج المحاكاة لتأثير التحكم في ird (سرعة رياح متغيرة وتحكم بزواوية الميل)

من الشكل (24) يمكننا أن نلاحظ أنه مع التغيير في سرعة الرياح، يمكن لنظام التحكم الخاص بنا أن يستجيب بسرعة ويولد إشارة مرجعية للتحكم في عزم DFigs كما هو موضح في الشكل (25) وكذلك للتحكم في سرعة الدوران ميكانيكيًا لـ توربينات الرياح (كما هو موضح في الشكل (26)، كما نلاحظ أن التحكم في زاوية الميل للشفرات ساهم

في تخفيض عزم المولد وسرعة التوربين الديناميكية عند سرعات الرياح الكبيرة وذلك للحفاظ على استقرار طاقة الخرج.

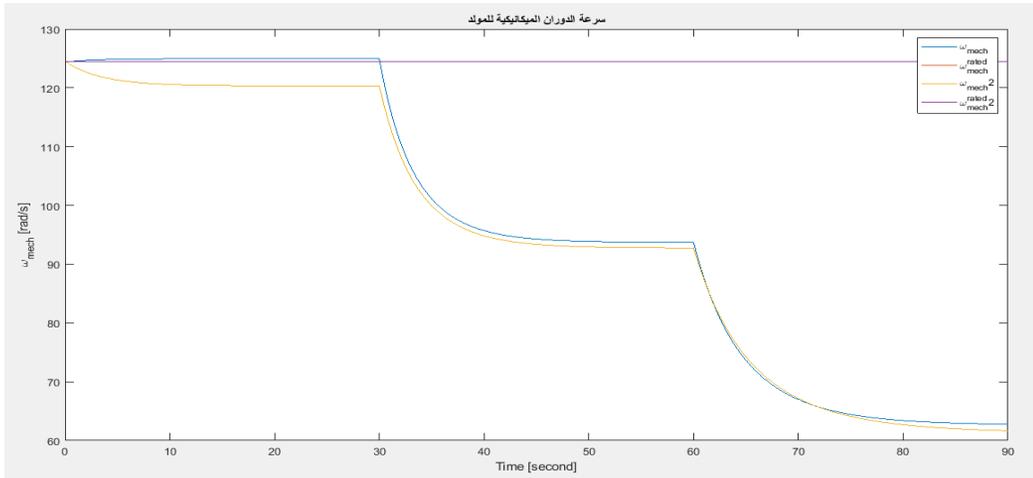


الشكل (25) نتائج محاكاة Tem وإشاراتنا المرجعية *Tem



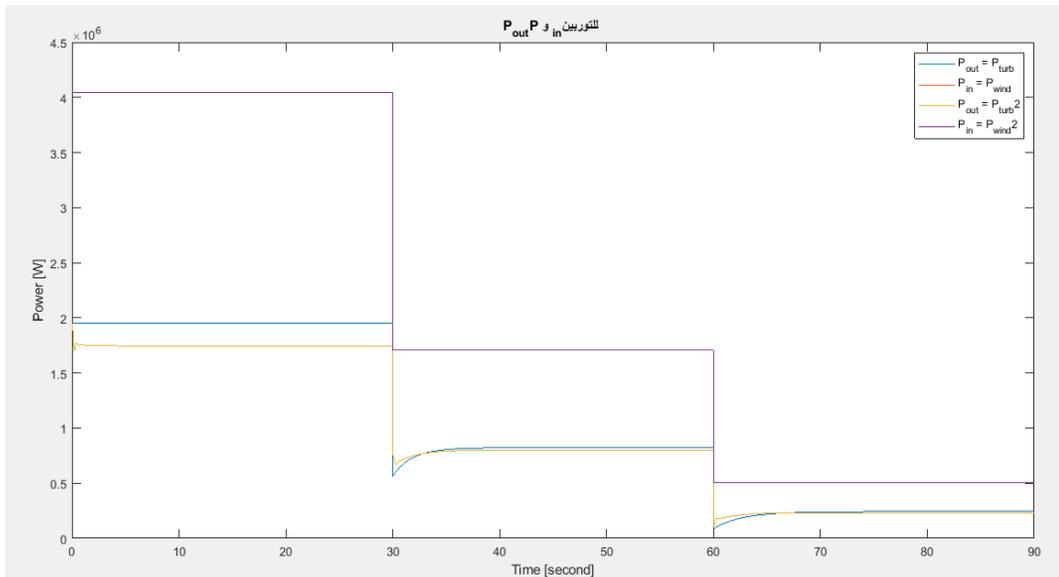
الشكل (26) نتائج محاكاة سرعة الدوران الميكانيكي لتوربين الرياح

على الرغم من التحكم في سرعة الدوران الميكانيكي لتوربين الرياح للحفاظ على القيمة المثلى وفقاً لسرعة الرياح المختلفة كما هو موضح في الشكل (26)، فإن سرعة الدوران الميكانيكي لـ DFIG لا تحافظ دائماً على قيمتها المرجعية، كما هو موضح في الشكل (27). إلى جانب ذلك من الشكل (27)، تتغير سرعة الدوران ميكانيكياً لـ DFIG بشكل كبير مع تغير سرعة الرياح. نظراً لخصائص DFIG يمكن تشغيل DFIG في نطاق سرعة واسع بما فيه الكفاية بحيث يكون عادةً قابلاً للتكيف مع التغير الكبير في سرعة الدوران ميكانيكياً.

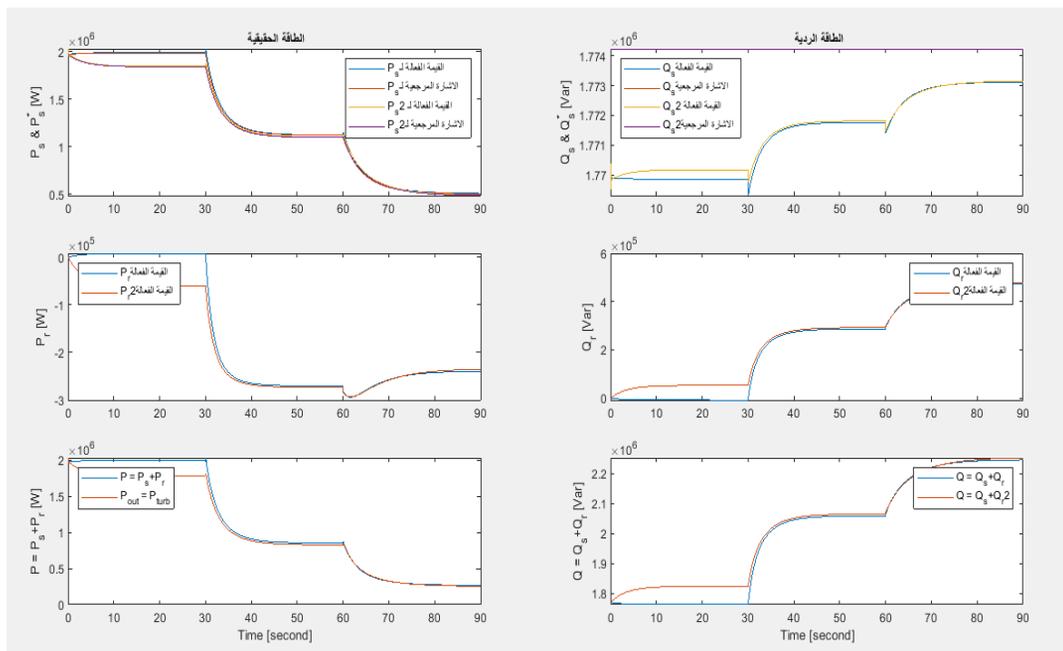


الشكل (27) نتائج محاكاة سرعة الدوران الميكانيكية لـ DFIG

يوضح الشكل (28) مدخلات وخرج طاقة توربينات الرياح. يوضح الشكل (29) القوة الحقيقية والردية لـ DFIG. من الشكل (28) نلاحظ انخفاض خرج التوربين عند السرعات المرتفعة للهواء، وذلك من خلال التحكم بزواوية ميل الشفرات بهدف تخفيض الخرج ليكون أقرب للقيمة المرجعية.



الشكل (28) نتائج محاكاة المدخلات والمخرجات من توربين الرياح



الشكل (29) نتائج محاكاة القوة الحقيقية والردية ل DFIG

14- النتيجة

ركز البحث على دراسة استخدام تقنيات الذكاء الصناعي في توربينات الرياح ، وعلى وجه الخصوص التحكم الضبابي حيث تم اقتراح وحدة تحكم ضبابية للتحكم بزواوية ميل شفرات التوربين المعرضة للاضطرابات و اشارات الضجيج الخارجية وذلك عند سرعات الرياح العالية . نظرًا لأن استجابة توربين الرياح WT يعتمد على سرعة الرياح ، فمن الضروري مراعاة معلومات الرياح في استراتيجية التحكم. ومع ذلك يمكن أن تكون هذه المعلومات غير دقيقة أو غير مؤكدة بسبب الاضطرابات. لذلك يبدو أن استخدام تقنيات الذكاء الصناعي هو نهج جيد لمواجهة عدم دقة مقاييس الرياح. تأتي أهمية التحكم بزواوية انحراف الشفرات للعنفة الريحية من أن العنفة مصممة لتعطي أعظم استطاعة ممكنة عند سرعة رياح معينة، ولا تصمم العنفات الريحية لتعطي أعظم استطاعة لها عند سرعات رياح عالية جداً لأنها نادرة وتسبب الضرر الميكانيكي لأجزاء العنفة، وفي ظروف سرعات الرياح العالية من الضروري حجب جزء من طاقة هذه الرياح من الدخول إلى العنفة وذلك لتجنب الضرر الناتج عنها في العنفة. تعتمد وحدة التحكم الضبابية المصممة على قيمة الخطأ في خرج الطاقة للتوربين وعلى سرعة الرياح المقاسة بشكل مباشر، لتعطي في خرجها زاوية الميل المرجعية لشفرات التوربين للسماح بالتشغيل المستمر على الأقل مع الأداء المنخفض عند حدوث بعض الأعطال وذلك عند سرعات الرياح العالية .

15- التوصيات المستقبلية

على الرغم من التحسن الواضح في أداء وحدة التحكم، الا انها ما تزال مجال مفتوح للباحثين لاضافة المزيد من التطوير لتحسين دقة عمل التوربين في مواجهة تغييرات البيئة الخارجية، حيث يمكن اختبار إضافة التحكم المناعي والمتحكم الضبابي التكيفي للمتحكم التقليدي للتحكم بعزم المولد في النموذج المقترح، كما يمكن اختبار إضافة خوارزميات امثلة للمتحكم الضبابي المقترح لاضافة مزيد من الدقة في التحكم بزواوية ميل الشفرات.

16- المراجع

- [1] Green Peace (2021)
<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/carbon/> Last accessed on 2021/02/13 .
- [2] Paris, Climate (2021)
https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en. Last accessed on 2021/02/13 .
- [3] Our World in Data (2020)
<https://ourworldindata.org/renewable-energy> Last accessed on 2021/02/13
- [4] IRENA (2019) Future of wind: deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf. Last accessed on 2021/02/13
- [5] Shen YW, Yuan JR, Shen FF, Xu JZ, Li CK, Wang D (2019) Finite control set model predictive control for complex energy system with large-scale wind power. Complexity. <https://doi.org/10.1155/2019/4358958>
- [6] Tomás-Rodríguez M, Santos M (2019) Modelling and control of floating offshore wind turbines. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial 16(4):381-390

- [7] Khayat, M., & Nekoui, M. A. (2020). Improving Performance of Variable Speed Wind Turbines using Takagi–Sugeno Fuzzy Controller and LQR Method. *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 9(1), 1–10.
- [8] Teja, M. R., RamaSudha, K., & Vijayasanthi, R. (2020). Wind Turbine Modelling and Pitch Angle Control Using PID, Fuzzy and Adaptive Fuzzy Control Techniques.
- [9] Tahiri, M., Djebli, A., & Mimet, A. (2017). Drivetrain Flexibility Effect on Control Performance of a Horizontal Axis Wind Turbine. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(16), 5511–5519.
- [10] Civelek, Z. (2020). Optimization of fuzzy logic (Takagi–Sugeno) blade pitch angle controller in wind turbines by genetic algorithm. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23(1), 1–9
- [11] Karthik, R., Hari, A. S., Kumar, Y. P., & Pradeep, D. J. (2020, January). Modelling and control design for variable speed wind turbine energy system. In *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP)* (pp. 1–6). IEEE.
- [12] Sierra–Garcia, J. E., & Santos, M. (2021). Deep learning and fuzzy logic to implement a hybrid wind turbine pitch control. *Neural Computing and Applications*, 1–15.

- [13] Karami–Mollaei, Ali, and Oscar Barambones. "Pitch Control of Wind Turbine Blades Using Fractional Particle Swarm Optimization." *Axioms* 12.1 (2022): 25.
- [14] Mahmoud, Mohamed Metwally, et al. "Dynamic Performance Assessment of PMSG and DFIG–Based WECS with the Support of Manta Ray Foraging Optimizer Considering MPPT, Pitch Control, and FRT Capability Issues." *Processes* 10.12 (2022): 2723.
- [15] Korkos, Panagiotis, et al. "Representation Learning for Detecting the Faults in a Wind Turbine Hydraulic Pitch System Using Deep Learning." *Energies* 15.24 (2022): 9279.
- [16] N. Mohan, *Advanced Electric Drives: Analysis, Control, and Modeling Using MATLAB/Simulink2014*

"التوفير الطاقي لجهاز التكييف المنزلي باستخدام الطاقة الشمسية"

الدكتور راند الشرع
r.sharra@damasuniv.edu.sy
قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية
جامعة دمشق

الدكتور عباس صندوق
abbassandouk@gmail.com
قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية
جامعة دمشق

المهندس علاء الرفاعي
alaa.alrfaaei@gmail.com
قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية
جامعة دمشق

الملخص:

إن العنصر الأساسي وأكبر مستهلك للطاقة هو قطاع الكهرباء ، لذلك هناك مساعي قديمة وحديثة للتوفير من إستهلاك الوقود الأحفوري في هذا القطاع . في دراستنا هذه اتجهنا نحو الاستمرار في البحث عن توفير إستهلاك الطاقة الكهربائية ، وكما هو معلوم أن هناك جزء لا بأس به من استهلاك الطاقة الكهربائية في قطاع التكييف والتبريد، وقد المعهد الدولي للتبريد (IIR) أن ما يقرب من 15 % من جميع الكهرباء المنتجة في جميع أنحاء العالم تستخدم في عمليات التبريد وتكييف الهواء من مختلف الأنواع (لوكاس ، 1998) [7] ، لذلك تم البحث والدراسة في طرق التكييف والتبريد باستخدام الطاقة الشمسية سواء الحرارية أو الضوئية ، حيث تمت الدراسة بشكل مخصص على القطاع السكني ، أي أنظمة التكييف والتبريد في المنازل ، بالإضافة إلى إستخدام **PVsyst** في حسابات التصميم للطرق التي تعتمد على الطاقة الكهرضوئية حيث يتم من خلاله معرفة المتطلبات الكهربائية اللازمة لأي جهاز تبريد من الطاقة الشمسية ومعرفة مكونات هذا النظام وإمكانية التوفير بشكل أفضل وتحسين الكفاءة

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، التبريد الشمسي، برنامج PVsyst ، التوفير الطاقي

" Energy saving for home air conditioner using solar energy "

Eng. Raaed Alsharea
r.sharra@damasuniv.edu.sy
Electric Power Department
Faculty of Electrical and
mechanical engineering
Damascus university

Eng. Abas Sundok
abbassandouk@gmail.com
Electric Power Department
Faculty of Electrical and
mechanical engineering
Damascus university

Dr. Eng. Ala'a Alrefae'y
Alaa.alrfaaei@gmail.com
Electric Power Department
Faculty of Electrical and
mechanical engineering
Damascus university

Abstract:

The main element and the largest consumer of energy is the electricity sector, so there are old and modern endeavors to save from the consumption of fossil fuels in this sector. In our study, we went on to continue to search for electricity consumption. As is known, there is a significant portion of electricity consumption in the air conditioning and refrigeration sector. The International Refrigeration Institute (IIR) estimated that approximately 15% of all electricity produced in all (Lucas, 1998). [7] Therefore, research and study were conducted on solar and thermal cooling and air conditioning methods, where the study was devoted specifically to the residential sector, namely, air conditioning and cooling systems in Homes, in addition to using PVsyst in sense Bat design methods that rely on photovoltaic energy where it is through knowledge necessary for any cooling device of solar electrical requirements and knowledge of the basic requirements and it is possible savings better and improve efficiency .

Keywords: solar power, solar cooling, PVsyst program, energy saving.

1. المقدمة

إن معظم الناس على غير دراية بأننا نستطيع التبريد باستخدام الطاقة الشمسية ، وهو أحد الأسباب التي دفعنا للبحث والدراسة أكثر في هذا المجال . وسنقدم في مقالتنا هذه بعض الأنظمة العالمية التي يتم العمل بها حالياً ويتم الاستفادة منها ، حيث يتم من خلالها تحقيق وفر كبير في الطاقة الكهربائية وتحسين كفاءة التبريد في القطاع السكني. يتم تصنيف طرق التبريد بالطاقة الشمسية بشكل عام الى مجموعتين ، الأولى : التبريد باستخدام الخلايا الكهروضوئية ((Photovoltaic panel)) ، والمجموعة الثانية : التبريد باستخدام الطاقة الشمسية الحرارية . تم الاعتماد في هذه المقالة على برنامج Pvsyst في التصميم والحسابات ، وهو من البرامج المشهورة فى تصميم محطات توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية و يستخدم على نطاق واسع فى تصميم محطات التوليد سواء كانت متصلة بالشبكة أو منفصلة عنها .

2. هدف البحث

دراسة طرق التبريد والتكييف بالطاقة الشمسية وتحسين كفاءة المكيف المنزلي من خلال إحدى هذه الطرق واستخدام برنامج Pvsyst لتحديد متطلبات المنظومات بالشكل الأمثل.

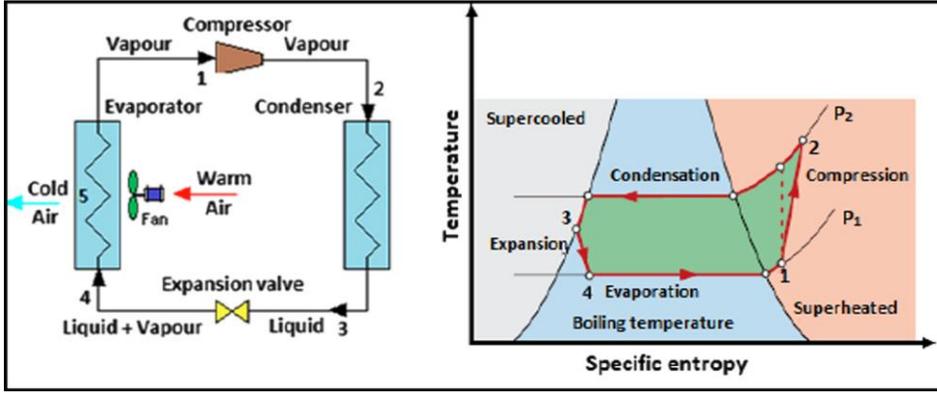
3. التعريف بالتكييف والتبريد :

إن نظم التبريد الكهربائية التقليدية تتكون من دورة ذات أربع مراحل الشكل(1) : الضاغط أو الكباس (Compressor) و المكثف (Condenser) و صمام التمدد (Expansion valve) و المبخر (Evaporator). الضاغط والذي يستهلك أكبر كمية من الكهرباء يضغط وسيط التبريد إلى درجة حرارة وضغط معينين حسب معادلة الحالة :

$$PV = nRT = KT \dots\dots\dots(1)$$

حيث P : ضغط الغاز ، V : حجم الغاز ، n : عدد جزيئات الغاز ، k : ثابت
 R : رقم رنولدز الخاص بالغاز ، T : درجة حرارة الغاز .

وبالتالى حسب القانون عند زيادة الضغط تزداد درجة الحرارة والعكس بالعكس. بعدها يتم تمرير وسيط التبريد في المكثف ليسمح بمبادلة حرارته مع الوسط الخارجى مع بقاء الضغط عند نفس القيمة وبالتالي يبرد الوسيط وتنخفض درجة حرارته ، ثم يتم من خلال صمام التمدد خفض ضغط الغاز وبالتالي تنخفض درجة حرارة وسيط التبريد حسب المعادلة (1) ليصبح سائل بارد يتم تمرير هذه السائل في المبخر ليقوم بامتصاص الحرارة من الوسط المراد تبريده ، ثم تعود الدورة من جديد إلى الضاغط .



الشكل (1) مخطط عام للتكييف بالادارة الانضغاطية Vapor compression [3]

4. طرق التكييف والتبريد باستخدام الطاقة الشمسية :

يتم تصنيف طرق التبريد بالطاقة الشمسية بشكل عام الى مجموعتين رئيسيتين اعتماداً على مصدر الطاقة هما النظام الحراري والنظام الكهروضوئي وفيمايلي سيتم سرد الطرق و شرح أهمها .[6]

1-4 التبريد باستخدام الخلايا الضوئية ((Photovoltaic panel)) :

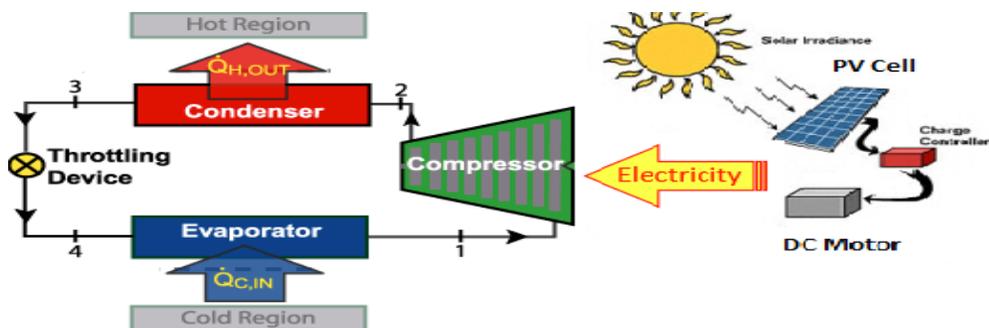
وهي طريقة غير مباشرة تعتمد على تحويل الطاقة الشمسية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة . ونذكر من أهم هذه الطرق : [7] [6]

1. ضغط البخار (Vapor compression) .
2. الحرارية (Thermoelectric) .
3. ستيرلينغ (Stirling) .

1-1-4 نظام تبريد ضغط البخار بالطاقة الشمسية : [1] [7]

Photovoltaic Vapor Compression Cooling Syste

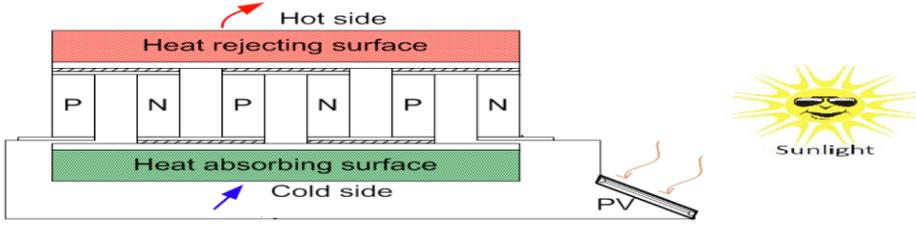
في هذه الطريقة يمكن تقديم طاقة كهربائية AC (باستخدام معرج) ويتم العمل كما هو في الحالة الطبيعية أو يمكن تقديم طاقة كهربائية DC مباشرة ولكن في هذه الحالة يتم إستخدام ضاغط مع محرك DC كما هو موضح في الشكل (2) .
يتم تحديد استطاعة النظام الشمسي ومكوناته (ألواح ، معرج ،) من خلال برنامج PVsyst الذي سيرد ذكره معنا وكيفية العمل عليه مع مثال على هذا النظام .



الشكل (2) التبريد بضغط البخار باستخدام الطاقة الشمسية [1]

2-1-4 التبريد الحراري الكهربائي : Thermo-electric Cooling

إن أثر سيبك Seebeck هو تولد قوة محركة كهربائية في دارة مكونة من ناقلين مختلفين عندما تكون إحدى الوصلتين ساخنة والأخرى باردة أما أثر بلتيير Peltier فهو الأثر المعاكس لأثر سيبك، حيث يستفاد منه في التبريد الكهروحراري حيث توضع الوصلة المبردة في الحيز المراد تبريده وتوضع الوصلة المسخنة خارجه هنا تنتقل الحرارة من الوسط المراد تبريده عبر الوصلة المبردة الى خارج الحيز الشكل(3).



الشكل (3) التبريد الحراري الكهربائي باستخدام الطاقة الشمسية [1]

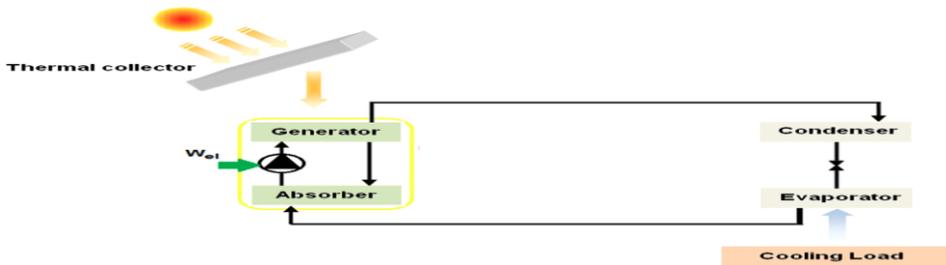
2-4 التبريد باستخدام الطاقة الشمسية الحرارية (Thermal collector) وهي

الطريقة المباشرة : تعتمد على الطاقة الحرارية للشمس بشكل مباشر ، أهم الطرق :

1. الامتصاص الشمسي. (Absorption) .
2. الامتزاز الشمسي (Adsorption) .
3. التجفيف الشمسي (Desiccant cooling) .
4. دورة القاذف (Ejector refrigeration cycle) .
5. دورة رانكلين (Rankine's cycle) .

1-2-4 الامتصاص الشمسي (Absorption) :

إن منظومات التبريد الامتصاصية (absorption system) مشابهة لمنظومات التبريد الانضغاطية (compression system) الاعتيادية إلا إنها تختلف عنها بعدم وجود ضاغط (compressor) ، هنا يتم عادة الاستعاضة عن الضاغط بدارة (تسمى المولد) تتغذى من مصدر طاقة شمسية (طاقة حرارية) كما في الشكل (4) .



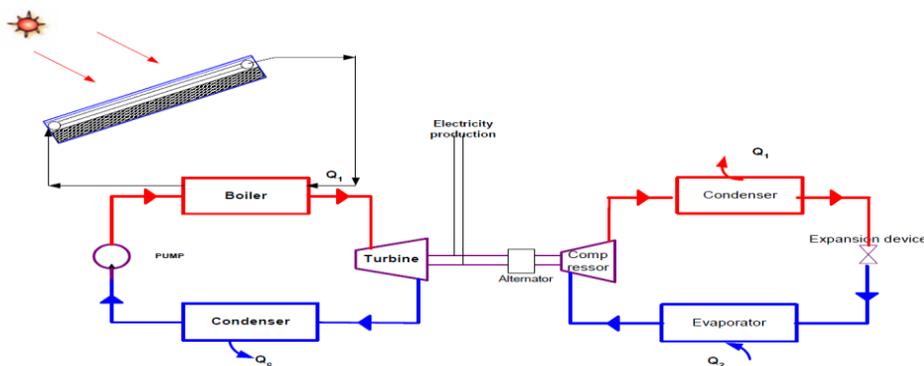
الشكل (4) نظام التبريد الامتصاصي باستخدام الطاقة الشمسية المرجع [2]

4-2-2 الامتزاز (الادمصاص) الشمسي (Adsorption) :

الادمصاص (Adsorption) : و هو وجود المادة (المادة ممتزة) على سطح مادة صلبة (مادة مازة) ، كالتبشور الأبيض المغموس داخل الحبر فتتمتاز جزيئات الحبر على سطح التبشور، بينما إذا كسرنا التبشور لوجدناه لونه أبيض من الداخل . أما الإمتصاص (Absorption) : هو وجود المادة الممتصة داخل جسم المادة الماصة كالأسفنج عندما يمتص الماء.

4-2-4 دورة رانكلين (Rankine's cycle) :

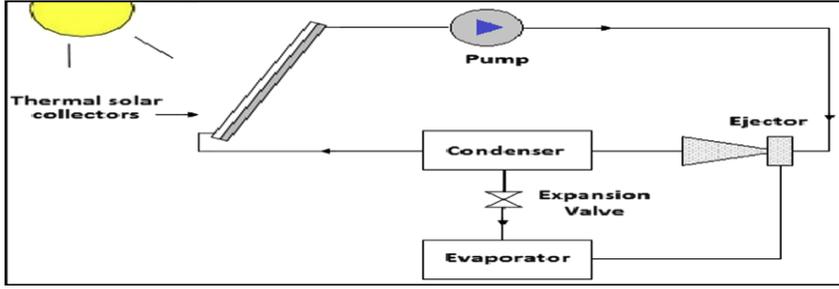
في هذه الطريقة يتم تحويل الطاقة الحرارية إلى عمل ميكانيكي يتم تقديم هذا العمل إلى الضاغط ، وبالتالي نكون قد قدمنا عمل بدل الكهرباء مع بقاء كافة مكونات وعناصر دورة التبريد التقليدية كما هي الشكل (5). المخطط التالي يوضح المبدأ العام لهذه الطريقة:



الشكل (5) دورة رانكلين Rankine's cycle [3]

4-2-5 دورة قاذف البخار : Steam Ejector Cycle :

التبريد بالبخار هو من الآلات الميكانيكية الحرارية الشائعة في نظم التبريد المستخدمة في التبريد وتكييف، والنظام يتكون من مجمع الطاقة الشمسية، مولد، مكثف ، المبخر، صمام التمدد ، القاذف (القاذف يزيد ضغط السائل عوضاً عن الضاغط) والمضخة الشكل (6) .



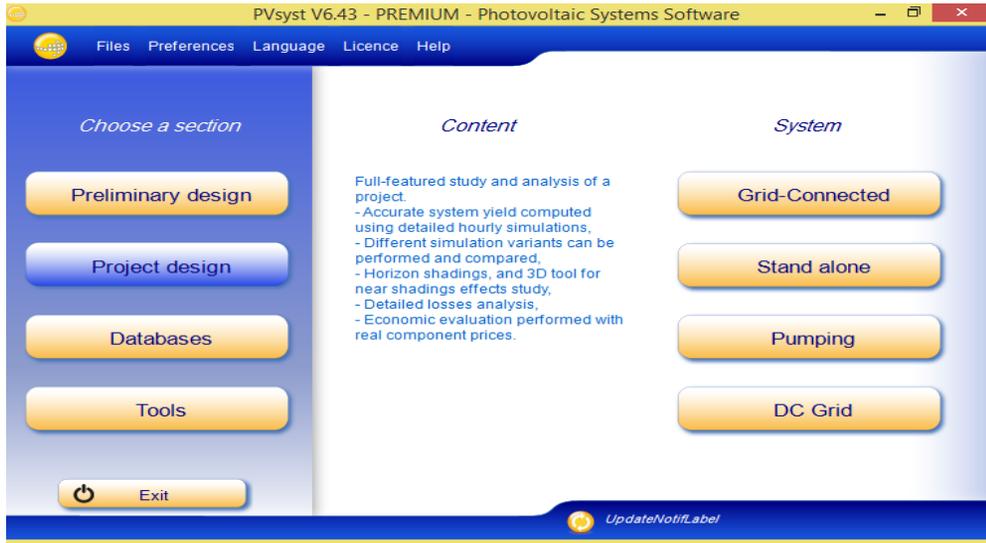
الشكل (6) دورة قاذف البخار Steam Ejector Cycle [3]

5. برنامج PVSYST :

يعتبر برنامج PVSYST من البرامج المشهورة في تصميم محطات توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية ، وهو من تصميم وابتكار أربعة من الأساتذة الكبار في مجموعة الطاقة في قسم العلوم البيئية في جامعة جنيف بسويسرا تحت رعاية وزارة الطاقة السويسرية ، إصدار ديسمبر 2009. ويستخدم على نطاق واسع في تصميم محطات التوليد سواء كانت متصلة بالشبكة أو منفصلة عنها.، يقوم هذا البرنامج بالتصميم و المحاكاة و التقييم الاقتصادي و حسابات تأثير الظل d3 . سهل في الاستخدام ، يصمم كلاً من الأنظمة المنفصلة عن الشبكة و المتصلة و أنظمة الضخ بالطاقة الشمسية. يقوم البرنامج باستيراد بيانات الارصاد الجوية والمواقع من خلال قواعد البيانات المختلفة، ويقوم بعرض نماذج تفصيلية ورسوم بيانية وتقارير كاملة وتفصيل النظام ، ويمكن استخدام الجداول والبيانات في برامج أخرى .

5-1 تصميم النظام باستخدام برنامج Pvsyst :

- النظام مربوط مع الشبكة العامة لذلك سيتم اختيار خيار on grid connected كما يوضح الشكل التالي :



الشكل (7) الواجهة الرئيسية لبرنامج PVsyst

من خلال الواجهة الرئيسية يتيح خيار تصميم البرنامج بشكل سريع ومختصر (للمشاريع التجارية مثلاً) وهو خيار Preliminary design ، كما يتيح أيضا تصميم النظام بشكل إحتراقي وتفصيلي بشكل أكبر وذلك للمهندسين المختصين وهو خيار Project design ، ومن خلال أحد الخيارين ممكن تصميم منظومات مرتبطة مع الشبكة العامة Grid-Connected أو منظومات معزولة عن الشبكة العامة Stand alone أو منظومات الضخ Pumping أو منظومات التيار المستمر DC. في دراستنا سنتعامل مع المنظومات المرتبطة مع الشبكة العامة لذلك سيتم اختيار الربط مع الشبكة كما هو موضح بالشكل السابق .

" التوفير الطاقى لجهاز التكيف المنزلى باستخدام الطاقة الشمسية "

بعد إجراء الخطوة السابقة نقوم بداية بتحديد اسم المشروع واحداثيات الموقع وذلك من خلال الواجهة التي سوف تظهر لدينا وهي موضحة بالشكل :

Geographical site parameters

Geographical Coordinates | Monthly meteo | Interactive Map

Project location

Location

Site name: Damascus

Country: Syria Region: Asia

Geographical Coordinates

Sun paths

Latitude: 33.50 (Decimal) / 33 30 (Deg. min.) (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: 36.47 (Decimal) / 36 28 (Deg. min.) (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: 620 M above sea level

Time zone: 2.0 Corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h-25m

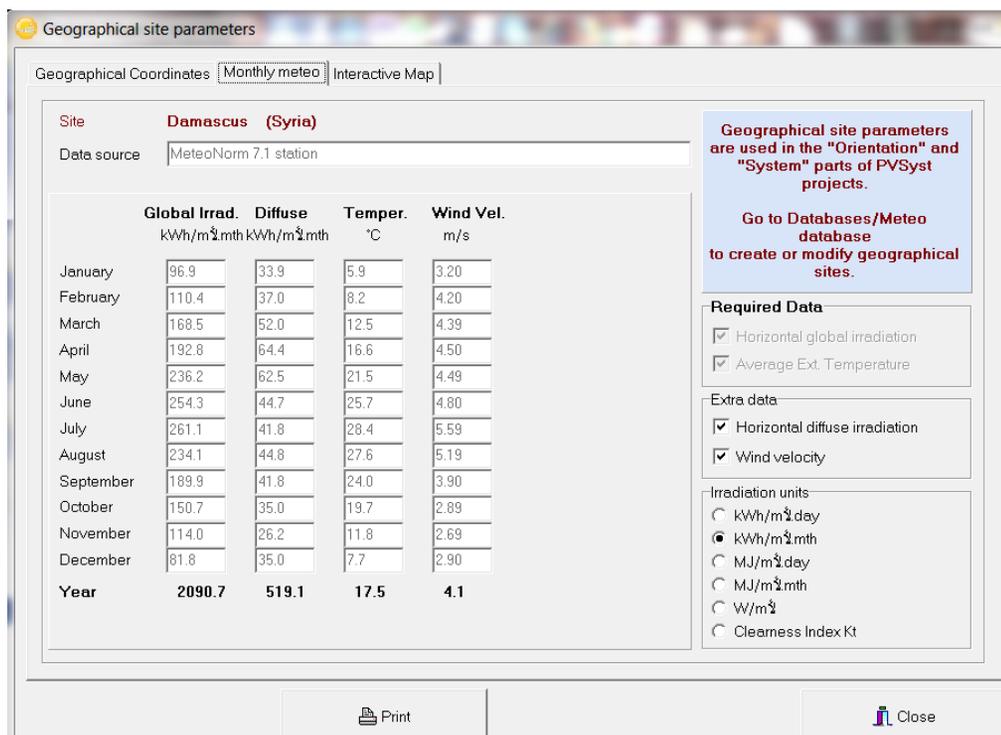
Print Close

Geographical site parameters are used in the "Orientation" and "System" parts of PVSyst projects. Go to Databases/Meteo database to create or modify geographical sites.

الشكل (8) اسم المشروع وبيانات الموقع

من خلال هذه الواجهة يتم تحديد اسم المشروع وتم اختياره هنا ليكون Damascus ، ويتم أيضا تحديد البلد والقارة و الموقع إما من خلال خرائط Google بشكل مباشر أو من خلال إدخال إحداثيات الموقع وبياناته كما في الشكل (8) .

❖ الخطوة التالية هي اختيار قاعدة البيانات حيث يتم اختيار قاعدة البيانات الشمسية Meteonom أو Nasa حسب مايتوفر في بيانات النظام وفي مشروعنا اعتمدنا على eononm . كما في الشكل التالي :



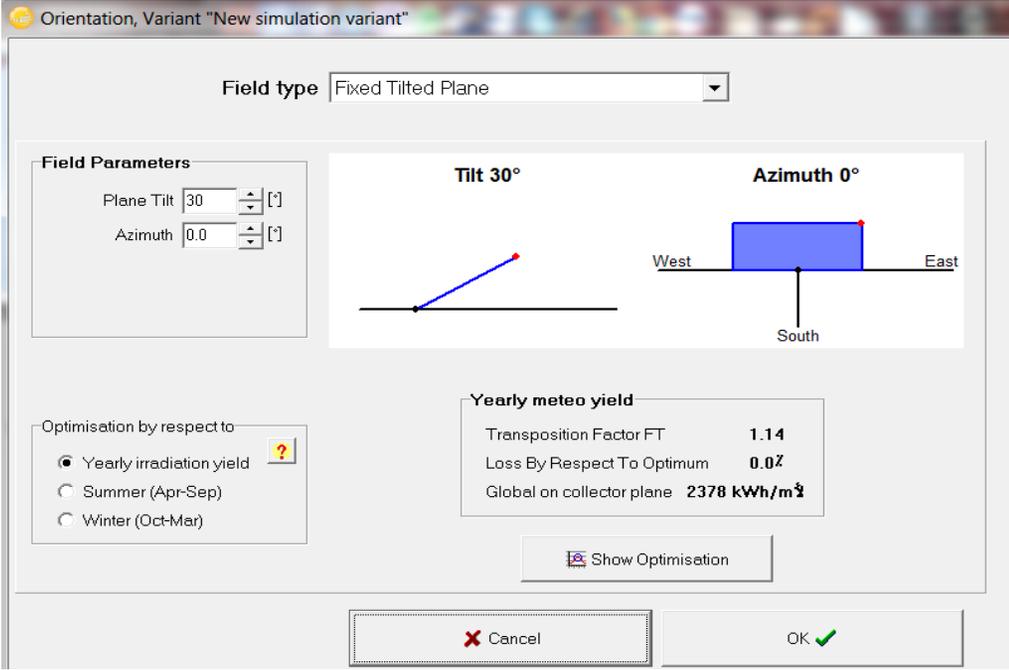
الشكل (9) البيانات الشمسية لمدينة دمشق

تمثل هذه الواجهة البيانات الشهرية المتاحة لنا والتي تم اختيارها من قاعدة البيانات Meteonorm وهي كالتالي : العمود الأول والذي يمثل شدة الاشعاع الشمسي Global radiation والعمود الثاني يمثل Diffuse radiation مع درجة الحرارة وسرعة الرياح . ويمكن مشاهدة هذه البيانات خلال اليوم أو خلال الشهر أو العام ... إلخ .

❖ الخطوة التالية هي تحديد طريقة نصب المنظومة وزوايا Tilt & Azimuth orientation of solar panels : وتحديد الفترة الزمنية المطلوب من البرنامج أن يعمل optimization على أساسها حيث تم اختيار زاوية Tilt 30 درجة وذلك يتعلق بموقع العمل مكان تركيب المنظومة في دمشق الزاوية المثلى خلال العام هي 30 درجة طبعاً وهي قريبة من زاوية خط العرض لمدينة

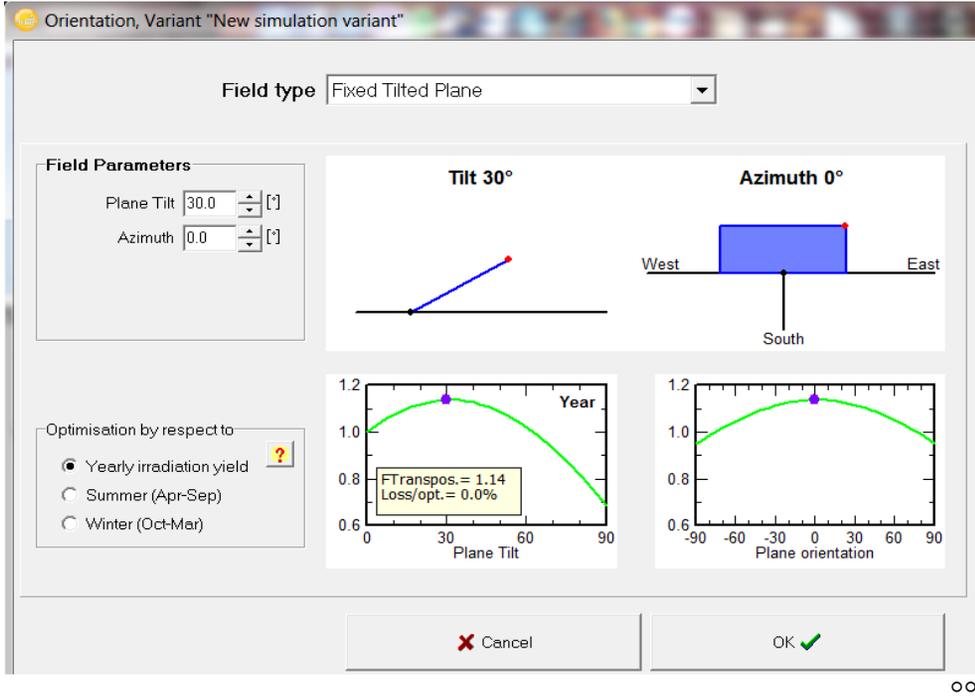
" التوفير الطاقى لجهاز التكييف المنزلى باستخدام الطاقة الشمسية "

دمشق. لو أردنا أن تكون الانتاجية أعظم مايمكن في أوقات معينة خلال العام فإن هذه الزاوية تختلف والبرنامج يتيح لنا optimization خلال أي وقت على مدار العام ، تم تحديد الزاوية الأخرى Azimuth 0 درجة أيضا هي الزاوية الأفضل في منظومتنا كما في الشكل التالي :



الشكل (10) طريقة نصب المنظومة

تم اعتماد الخيار السنوي أي يتم نصب المنظومة بحيث يكون انتاجها أعظم مايمكن خلال العام .



الشكل (11) أمثلة زاوية الميل

في هذا الشكل فإن التمثيل البياني الأول يبين الأمثلة optimization نسبة الى Tilt angle والثاني يظهر نسبة الأمثلة optimization الى Azimuth angle وكما نرى نحن نحقق أعلى قيمة للإنتاجية عند هاتين الزاويتين التي تم تحديدهما (0 & 30) درجة ولو ظهر لدينا وجود أي فقد أو ضياعات نقوم بتعديل الزوايا السابقة للوصول من خلالها إلى أعلى قدرة إنتاجية من المنظومة خلال الفترات المحددة ويظهر ذلك بشكل واضح من خلال الرسم البياني السابق .

في المنظومة المربوطة مع الشبكة لايعرض البرنامج خيار حاجات المستهلك لان الشبكة تقوم بتوفير كل حاجة المستهلك من الطاقة وفي حالة نصب منظومة شمسية فإنها ستلبي حاجة المستهلك من الطاقة وفي حالة وجود فائض تقوم بتصديره إلى الشبكة . أما إذا لم تكن الطاقة التي تنتجها المنظومة الشمسية كافية فيمكن للمستهلك حينذاك سحب جزء من الطاقة التي يحتاجها من المنظومة العامة. لذلك لاتوجد مشكلة في هذا الجانب أي لاتوجد مشكلة في توفير الطاقة للمنظومات المربوطة على الشبكة العامة

" التوفير الطاقى لجهاز التكييف المنزلى باستخدام الطاقة الشمسية "

ولذلك تجاهل مصممي هذا البرنامج إضافة خانة تحديد حاجات المستهلك لخيار ربط المنظومات على الشبكة العامة .

2-5 الحسابات التصميمية لمنظومة مربوطة على الشبكة : on grid system sizing

بعد إجراء الخطوتين الأوليتين وهما تحديد الموقع والبيانات الشمسية الخاصة فيه Site and Meteo و تحديد طريقة نصب المنظومة في مواجهة الشمس orientation .
الواجهة التالية هي الواجهة الأولى الخاصة بإدخال العناصر التفصيلية للمنظومة التي

نحتاجها

The screenshot displays the 'Grid system definition, Variant "New simulation variant"' window. It is divided into several sections:

- Global System configuration:** Shows 'Number of kinds of sub-arrays' set to 1 and a 'Simplified Schema' button.
- Global system summary:** A table showing:

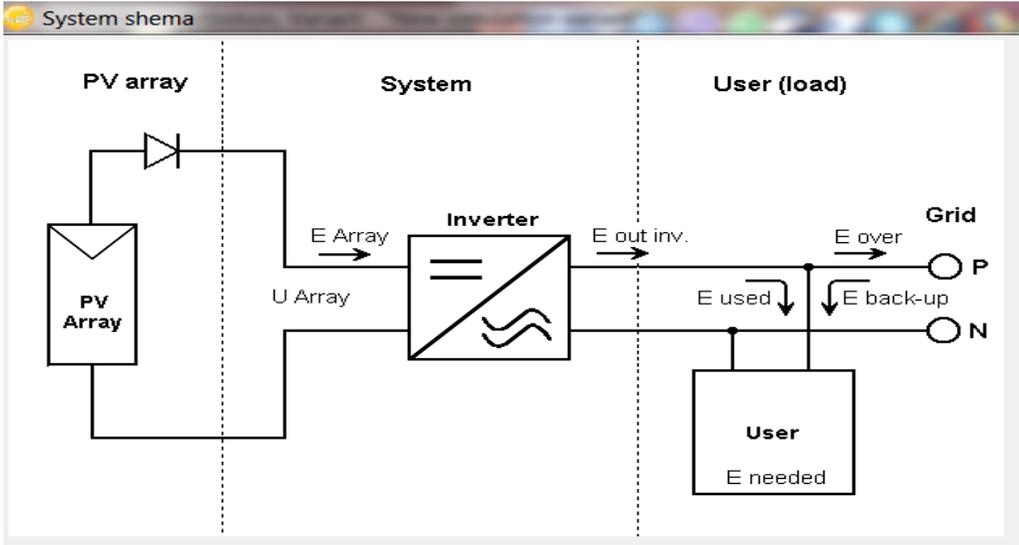
Nb. of modules	6	Nominal PV Power	1.1 kWp
Module area	8 m ²	Maximum PV Power	1.1 kWdc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	1.5 kWac
- Sub-array name and Orientation:** Name is 'Damascus university', Orientation is 'Fixed Tilted Plane', Tilt is 30°, and Azimuth is 0°.
- Presizing Help:** Includes a 'No Sizing' radio button and input fields for 'planned power' (1.0 kWp) and 'available area' (6 m²).
- Select the PV module:** Shows 'DA40' selected with 'Approx. needed modules: 5'. Sizing voltages are Vmpp (60°C) 31.6 V and Voc (-10°C) 50.3 V.
- Select the inverter:** Shows 'SMA' selected with 'Global Inverter's power: 1.5 kWac'. Operating voltage is 160-480 V and input maximum voltage is 600 V.
- Design the array:** Shows 'Number of modules and strings' with 6 modules in series and 1 string. Operating conditions include Vmpp (60°C) 190 V, Vmpp (20°C) 227 V, and Voc (-10°C) 302 V. Plane irradiance is 1000 W/m². A note states 'The inverter power is slightly oversized.'

الشكل (12) الواجهة التصميمية الرئيسية

في البداية يتم تحديد قدرة المنظومة المطلوب تصميمها كم هي قدرة إنتاجها المتوقعة ، سنختار هنا على سبيل المثال قدرة مقدارها 1000 واط (على إعتبار لدينا مكيف 1 طن أو 2 طن أو أي من استطاعة المكيفات المنزلية) ، ويمكن أيضاً الاختيار على أساس المساحة المتوفرة في الموقع كما يوضح الشكل السابق .الخطوة التالية هي تحديد عدد sub-arrays التي تضمها المنظومة .إذا كان هناك مصفوفات باتجاهات مختلفة يتم تحديد كم مصفوفة حسب الاتجاهات ، لكن هنا لدي مصفوفة باتجاه واحد لذلك وضعنا 1 ، وعلى اساسه نلاحظ أن زاوية الميل Tilt angle و Azimuth angle هي 30 و 0 درجة كما تم اختيارها سابقاً ، ويتم أيضاً تحديد أسم لل sub-arrays لكل واحدة في منظومتنا تم إختيار اسم Damascus university ومن ثم يتم تحديد نوع الألواح المستعملة ويوفر لنا البرنامج العديد من الشركات المصنعة والألواح المتوفرة من حيث القدرة لكل لوح وبعد تحديد نوع اللوح وقدرته والشركة المصنعة نستطيع أيضاً من خلال الضغط على زر open مشاهدة كافة التفاصيل للألواح المستخدمة من الاستطاعة والفولت والأمبير والمعاملات الأخرى والوزن والأبعاد وأكثر قيمة ممكن إنتاجها وأيضاً رؤية المنحنيات والرسوم البيانية الخاصة باللوح كافة (منحنيات P-V ، منحنيات P-I ، منحنيات T-V إلخ) ، بالإضافة إلى معرفة كافة التفاصيل الفنية والتقنية . في دراستنا تم إختيار الألواح من شركة DAQO . من ثم يتم أيضاً تحديد المعرج المطلوب من حيث الاستطاعة و التوتر وباقي التفاصيل ، وأيضاً نستطيع من خلال الضغط على خيار open معرفة كافة المعلومات والتفاصيل للمعرج ، في دراستنا تم إختيار المعرج من شركة SMA حيث يوجد العديد من المشاريع المنفذة في بلدنا باستخدام هذا النوع من المعرجات .

بعد ذلك يقوم البرنامج بتحديد عدد الألواح والسلاسل وطريقة ربطها والقدرة المنتجة والتيار والتوتر والمساحة ، وأيضاً يقوم البرنامج بإظهار عبارات بألوان محددة لتحديد

الاختيار الأمثل للألواح والمعرج فقد يكون المعرج إستطاعته غير كافية مثلا فيقوم البرنامج بالتنويه إلى ذلك حتى يتم إختيار معرج أفضل يتناسب مع متطلبات النظام وهكذا أيضاً بالنسبة للألواح و بعد ذلك ممكن أن نرى basic design للمنظومة التي نعمل عليها :



الشكل (13) المخطط الصندوقى للنظام المدروس basic design

في هذا الشكل الجزء الأول هو pv array والذي هو source of power أو مصدر إنتاج الطاقة ، تنتقل الطاقة بشكلها DC إلى المعرج inverter الذي يقوم بتحويلها إلى AC وأيضاً مزامنتها مع الشبكة الكهربائية في الجزء الثاني هو system . الجزء الثالث هو User Load وهو مكون من جزأين Grid و User ، بالنسبة لل User فهو سيأخذ من إنتاجية المنظومة الشيء الذي يكفيه والزائد عن حاجته يتم ضخه في الشبكة العامة كما نرى اتجاه الاسهم فالطاقة power المنتجة من المنظومة E تنتقل الى user (حسب اتجاه السهم) وكذلك بإمكان الجزء الزائد E over أن يذهب إلى Grid ، لكن في بعض الحالات (مثل الليل ، أيام الغبار ، أيام الغيوم) عندما تكون الطاقة

المنتجة من المنظومة لا تكفي أو لا تكون هناك أصلاً طاقة منتجة من المنظومة فيمكن لل user أن يأخذ ما يحتاجه من الطاقة E back-up من الشبكة العامة Grid .

3-5 ملخص النظام : System summary

❖ Orientation parameters

- Field type: **Fixed Tilted Plane**
- Plane tilt/azimuth = **30° / 0°**

❖ Compatibility between System definitions

- Full system, orientation **Tilt/Azimuth = 30° / 0°**
- 1 Sub-array PNom = 1.11 kWp, modules area = 8 m²
- **Orientation #1: No Shading field defined**

❖ System parameters

- Sub-array #1 **damascus univercity**
- PV modules: 1 strings of 6 modules in series, 6 total
- Pnom = 180 Wp Pnom array = 1.11 kWp, Area = 8 m²
- Inverters (1.50 kWac) 1 units inputs, Total 2 kWac, PNom Ratio = 0.74

❖ Shading scene parameters

- No shading scene defined

هذه الواجهة هي عبارة عن تقرير مفصل يقدمه لنا البرنامج يوضح فيه المحددات الرئيسية التي تم العمل عليها حيث أن الخانة الأولى تتحدث عن زاويتي Tilt & Azimuth حيث يتم العمل بزاويتي (0 & 30) درجة ، أيضاً يوضح التقرير عدد الألواح الشمسية المستخدمة (6 ألواح) والمصفوفات (مصفوفة واحدة) وإستطاعة اللوح الشمسي الواحد (180 Wp) والإستطاعة الإسمية للألواح الشمسية (1.11 kWp) والمساحة التي نحتاجها للألواح (8 m²) بالإضافة إلى إستطاعة المعرج (1.50 kWac) وعدد مداخل MPPT الموجودة في الإنفرتر (1) وهي عدد المداخل المستخدمة وعليه يوضح لنا أيضاً نسبة الإستطاعة الاسمية للألواح إلى نسبة الإستطاعة من المعرج 0.74 (مدخل واحد MPPT أي نسبة الاستطاعة التي نعمل عليها 1.5

" التوفير الطاقى لجهاز التكيف المنزلى باستخدام الطاقة الشمسية "

kWac و عليه النسبة هي 1.50 / 1.11) ، وفي الخانة الأخيرة يوضح البرنامج عدم وجود التظليل في هذه المنظومة .

4-5 الدراسة الإقتصادية :

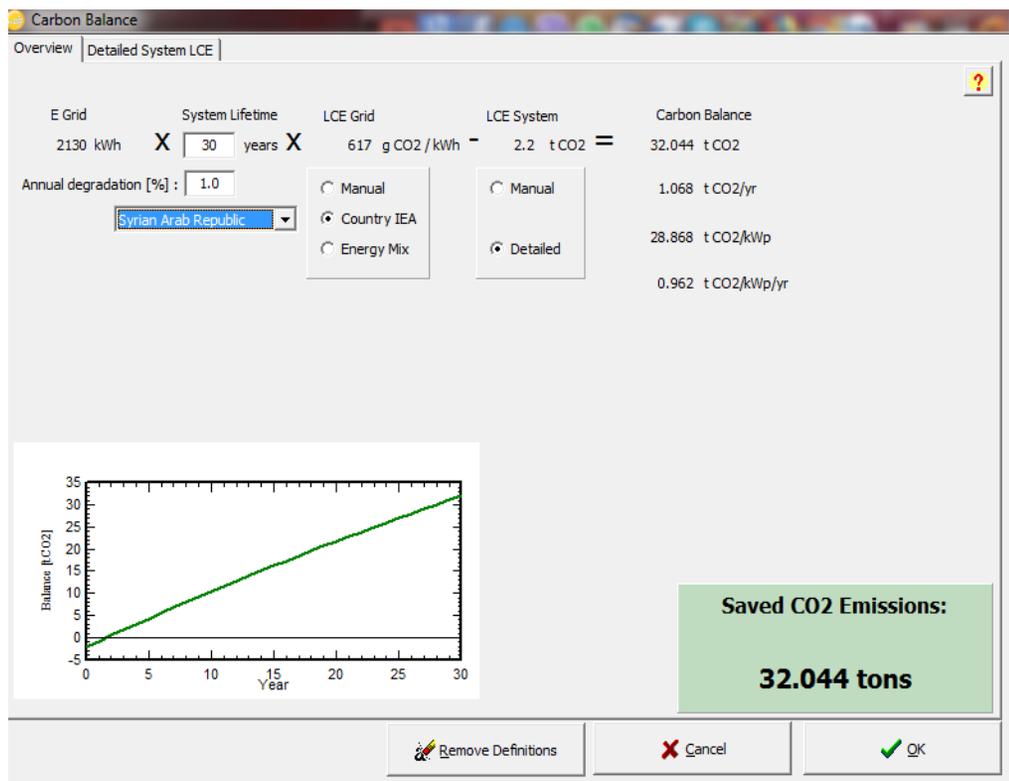
بعد الاطلاع على النتائج تتم عملية التقييم الاقتصادي (Economic evaluation)،

حيث يتم إدخال أسعار مكونات المنظومة الشمسية وجميع الأجور ومنه:

- يقوم البرنامج بحساب الكلفة الكلية للمشروع مع احتساب الضرائب .
- تحديد عمر المشروع ومعدل الحسم Rate ، ومنه تحديد كلفة الكيلو واط الساعي kWh المنج من المنظومة الشمسية .
- كما أنه يتم تحديد مقدار الإنخفاض أو الوفرة في إنبعاثات الكربون سنوياً بسبب الوفرة في الوقود الذي يحققه المشروع بمأنه لا يحتاج إلى وقود لتوليد الطاقة الكهربائية .

Economic evaluation	
Project and Simulation variant	
Project: DAMASCUS UNIVERCITY	Simulation: New simulation variant
PV Array, Pnom = 1.1 kWp	System: Grid-Connected System
PV module : DQ185MFA	Inverter : Sunny Boy 1.5
Values: <input checked="" type="radio"/> Global <input type="radio"/> By Wp <input type="radio"/> By piece <input type="radio"/> By m ²	
Investment	
PV modules 6 units of 185 Wp	264000 SP <input type="checkbox"/>
Supports / Integration	40000 SP <input type="checkbox"/>
Inverter 1 unit of 1.50 kW	200000 SP <input type="checkbox"/>
Settings, wiring, ...	40000 SP
Others, miscellaneous... <input type="button" value="Details"/>	10000 SP
Substitution underworth	0 SP
Gross investment. (excl. taxes)	554000 SP
Financing	
Taxes 0.00 %	0 SP
Subsidies - 0	0 SP
Net investment	554000 SP
Annuities	39308 SP / yr
Running Costs, Maintenance, insur.	10000 SP / yr
Total yearly cost	49308 SP / yr
Loan	
Duration 25 Years	
Rate 5.0 %	
Ann. factor 7.10 %cap./yr	
Currency	
syria pound <input type="button" value="Rates"/>	
Energy cost	
Produced Energy	2130 kWh / year
Yearly cost	49308 SP / year
Energy cost	23.1 SP / kWh
<input type="button" value="Carbon Balance"/> <input checked="" type="radio"/> Financial Balance <input type="button" value="Print"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="OK"/>	

الشكل (14) الدراسة الإقتصادية للنظام المدروس



الشكل (15) انبعاثات CO₂

وعليه فإن التكلفة الكلية للمنظومة 554000 ل.س ، ووفق التعرفة السورية للمستهلكين على التوتز 4,0 ك.ف للأغراض المنزلية 29 ل.س لشريحة الاستهلاك التي تزيد على 2500 كيلوواط ساعي بالدورة ، فتكون تكلفة الاستطاعة الاجمالية ل1 كيلو واط من النظام الشمسي المصمم في دراستنا سنويا $2130 * 29 = 61770$ ليرة سورية (2130 هي الطاقة المنتجة سنويا من النظام الشمسي) ، وعليه فإن الفترة التي يتم فيها إسترداد رأس المال هي : $554000/61770 = 9$ سنوات تقريبا . أي أنه يمكن إسترداد رأس المال بعد 9 سنوات ، والعمر الافتراضي للمنظومة هو بين 25 - 30 عام أي أننا نعمل بطاقة مجانية لمدة 16 عام بعد إسترداد رأس المال .

هذا بالإضافة إلى الوفرة الممكنة تحقيقه نتيجة تخفيض انبعاثات CO₂ والتي قام البرنامج بحسابها وهي 32.044 طن .

وأيضا يتيح لنا البرنامج التعامل مع القروض المالية إن وجدت من خلال loan duration مدة القرض و interest rate سعر الفائدة .

6. الخاتمة :

تم في هذا البحث دراسة طرق التبريد بالطاقة الشمسية ، حيث تم التطرق إلى أكثر الطرق المستخدمة في مجال التبريد بالطاقة الشمسية ، إن نسبة التوفير في بعض هذه الطرق تكون بنسبة 30% كطريقة مكيفات التبريد الهجينة وفي بعض الطرق يصل التوفير إلى 50% كالطرق التي تعتمد على العمل المقدم للضاغط من خلال الطاقة الشمسية الحرارية أو الضوئية ، وفي بعض الطرق الأخرى قد يصل التوفير إلى أعلى من 90% وذلك في الطرق التي تستخدم الطاقة الشمسية الحرارية كالامتصاص والادمصاص .

مثل هذه الأنظمة تسمح لنا بالعمل بشكل مباشر على تعديل الأنظمة الموجودة في العمل حاليا لأنه وكما نلاحظ أننا نعمل بنفس النظام التقليدي بكافة مكوناته وعليه يمكن العمل باتجاه توفير الطاقة بشكل مباشر ولا داعٍ إلى إستبدال الأنظمة الموجودة لدينا في المنازل أو المكاتب أو أي مكان يعمل بنفس نظام التبريد (نظام تبريد ضغط البخار) .

تم أيضا البحث في مجال تصميم المنظومات الشمسية التي نستطيع من خلالها معرفة ما تتطلبه أنظمة التكييف المختلفة من ألواح وممرجات وما إلى ذلك من متطلبات ، حيث تم وصف تفصيلي لنظام الشمسي باستطاعة 1 kw (على اعتبار لدينا مكيف 1 طن أو 2 طن أو أي من استطاعة المكيفات المنزلية) ومن ثم بعد معرفة التصميم نستطيع العمل مع الشبكة العامة بالتوازي ، حيث يمكن للمستخدمين الذين لا يستطيعون تحمل التكاليف العالية للأنظمة الشمسية بشكل كامل أن يقومو بتصميم مثل هذا النظام الشمسي الذي يساعد في توفير جزء من الطاقة الكهربائية من الشبكة العامة وبتكاليف أقل ، مما يتيح إمكانية لكافة المستخدمين بإمكانيات إقتصادية مختلفة أن يستفيدوا من الطاقة الشمسية وأن يساهموا في دعم الشبكة العامة .

7. المراجع العلمية:

1. Alazazmeh,A.J & Mokheimer,E.M 2015-Review of Solar Cooling Technologies. Journal of Applied Mechanical Engineering, Volume 4 • Issue 5 • 1000180 .
2. Allouhi,A & Kousksou,T & Jamil,A & Bruel,P & Mourad,Y & Y.Zeraouli,Y 2015-Solar driven cooling systems: An updated review. Elsevier International Journal of Refrigeration .Issue 1364-0321.
3. Baniyounes,A.M & Ghadi,Y.Y & Rasul,M.G & Khan,N.M.K 2013-An overview of solar assisted air conditioning in Queensland's subtropical regions, Australia. Elsevier International Journal of Refrigeration .Issue 1364-0321.
4. Bataineh,K.M & Alrifai,S 2015- Recent trends in solar thermal sorption cooling system technology. SAGE Journals. Vol. 7(5) 1–20.
5. Kim,D.S & Infante Ferreira,C.A 2007- Solar refrigeration options – a state-of-the-art review. Elsevier International Journal of Refrigeration .
6. Pridasawas,W 2006- Solar-Driven Refrigeration Systems with Focus on the Ejector Cycle. Royal Institute of Technology, KTH, TRITA REFR Report No 06/55 .
7. Simon, F & Louise, J & Ulrike, J 2003- Solar Energy State of the art. Internal Report BYG·DTU SR-03-14, ISSN 1601 – 8605,66-90 .
8. <http://www.pvsyst.com> , PVsyst 6.43 ، Route du Bois-de-Bay 107, 1242 Satigny ، Switzerland .
9. <https://nasrsolar.com/> , 2015 al nasr solar website .