مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية والكهربائية والمعلوماتية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد ١

1443 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. وليد حمادة	رئيس التحرير
أ. د. درغام سلوم	رئيس التحرير

د.محمد فراس رمضان	عضو هيئة التحرير
د. مضر سعود	عضو هيئة التحرير
د. ممدوح عبارة	عضو هيئة التحرير
د. موفق تلاوي	عضو هيئة التحرير
د. طلال رزوق	عضو هيئة التحرير
د. أحمد الجاعور	عضو هيئة التحرير
د. الياس خلف	عضو هيئة التحرير
د. روعة الفقس	عضو هيئة التحرير
د. محمد الجاسم	عضو هيئة التحرير
د. خليل الحسن	عضو هيئة التحرير
د. هيثم حسن	عضو هيئة التحرير
د. أحمد حاج موسى	عضو هيئة التحرير

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (٧٧)

. هاتف / فاكس : ٢١٣٨٠٧١ ٣١ ٩٦٣ ++

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

. البريد الالكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- ٢ نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا 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.

- **اذا 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).

١- مقدمة

٢- هدف البحث

٣- مواد وطرق البحث

٤- النتائج ومناقشتها .

٥- الاستنتاجات والتوصيات .

٦- 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).

١. مقدمة.
٢. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
٣. أهداف البحث و أسئلته.
٤. فرضيات البحث و حدوده.
٥. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
٦. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
٧. منهج البحث و إجراءاته.
٨. عرض البحث و المناقشة والتحليل
٩. نتائج البحث.
١٠. مقترحات البحث إن وجدت.
١١. قائمة المصادر والمراجع.

٧– يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

أ– قياس الورق ٢٥×١٧,٥ B5.

ب– هوامش الصفحة: أعلى ٢,٥٤– أسفل ٢,٥٤ – يمين ٢,٥– يسار ٢,٥ سم

ت– رأس الصفحة ١,٦ / تذييل الصفحة ١,٨

ث– نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس ٢٠

. كتابة النص Simplified Arabic قياس ١٣ عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس ١٣ عريض.

ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى ١٢سم.

٨– في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.

٩– 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.

١٠– الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

١١- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [١] 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

١. دفع رسم نشر (٥٠٠٠٠) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.

٢. دفع رسم نشر (٢٠٠٠٠٠) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .

٣. دفع رسم نشر (٢٠٠) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .

٤. دفع مبلغ (١٥٠٠٠) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
تحديد ضغوط الاستنزاف المثلى في المحطة AP1000 النووية بالاعتماد على الخوارزمية الجينية وأثرها على معدلات استنزاف البخار والمردود الترموديناميكي	خيرات محمد د.محمد باكير	١١-٣٨
تحسين أداء خوارزميات تصنيف حركة مرور عناوين الانترنت في شبكات الجيل الخامس باستخدام تقنيات تخفيض الأبعاد	د.حيدرا عبدالله	٣٩-٦٨
تحسين أداء شبكات الجيل الرابع 4G بتطوير تخصيص الموارد في اتصالات D2D	د. عصام أسعد	٦٩-٩٦
تكامل طاقة الرياح مع الشبكة واستخدام برنامج الاستجابة للطلب لتحقيق موثوقية التوليد الأمثل	د. غسان إبراهيم	٩٧-١٢٢

دراسة وتحليل الاستجابة الاهتزازية لعمود نقل القدرة الخاص بسفينة حاويات حقيقية	الهادي صالح د.محمد خنيسي د.منى اسبر د.عواطف نصره	١٢٣-١٥٠

تحديد ضغوط الاستنزاف المثلى في المحطة AP1000 النووية بالاعتماد على الخوارزمية الجينية وأثرها على معدلات استنزاف البخار والمردود الترموديناميكي

طالب الدكتوراه: م. خيرات محمد

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة حمص

اشراف الأستاذ الدكتور: محمد باكير

ملخص البحث:

يعتبر نقص الطاقة ومواردها من التحديات التي تواجه العالم.لذلك اتجه العلماء والباحثون والمصممون الى دراسة ترشيد استهلاك الطاقة والتقليل من هدرها.

لقد تم إجراء دراسة ترموديناميكية وكتابة معادلات توازن الكتلة والطاقة ومعادلات عمل العنفات والمضخات والمردود الترموديناميكي ،والحل عن طريق برنامج ees، ومن ثم تحديد مجالات ضغوط استنزاف البخار بناءا على درجات حرارة خرج المسخنات.[8]

في هذا البحث تم تحديد ضغوط الاستنزاف المثلى وذلك عن طريق إجراء عملية أمثلة لمجالات الضغوط باستخدام الخوارزمية الجينية،حيث تم أمثلة ستة ضغوط معا.

بعد تحديد ضغوط الاستنزاف المثلى تم دراسة أثرها على معدلات تدفقات استنزاف البخار من العنفات وعلى المردود الترموديناميكي للمحطة.

لقد وجدنا أعلى قيمة للمردود هي 0.394 وذلك عند أمثلة الضغوط)،والضغوط الموافقة لهذا المردود هي :P[9]=1057[Kpa], P[8]=2459[Kpa]

P[10]=683.8[Kpa] ,P[16]=134[Kpa] , P[17]=46[Kpa] ,P[18]=20[Kpa],

كما وجدنا تغير في قيمة معدلات استنزاف البخار نتيجة تغير الضغوط ، حيث :

نلاحظ ان الاستنزاف الأول m_8، بقي كما هو، والاستنزاف الثاني m_9 قد زاد بمقدار 0.35[Kg/s]، الاستنزاف الثالث m_{10} قد زاد بمقدار 7.8[Kg/s]،والاستنزاف الرابع m_{16} قد نقص بمقدار 3[Kg/s] ،أما الاستنزاف الخامس m_{17} فقد قلت قيمه بمقدار 2.94[Kg/s]، وكذلك الاستنزاف السادس m_{18} فقد نقصت قيمته بمقدار 1.51[Kg/s].

كما نلاحظ زيادة في المردود الترموديناميكي ٥٥% ،حيث كان مردود المحطة ٠,٣٨٨٥.

الكلمات المفتاحية: المحطة ، المردود الحراري ، الاستنزاف ، الجينية ، الأمثلة ، الجيل ، الطفرة

Determining the optimal depletion pressures in the AP1000 nuclear plant using genetic algorithms and their impact on vapor depletion rates and thermodynamic yield

Abstract:

The global challenge of energy scarcity has prompted scientists, researchers, and designers to focus on optimizing energy consumption and minimizing waste. In a previous study published on 24th March 2024 in the Journal of Al-Baath University's engineering sciences series, a thermodynamic analysis was conducted. This involved establishing mass and energy balance equations, as well as equations for turbines, pumps, and thermodynamic yield. The

solutions were obtained using the ees program, and steam depletion pressure zones were determined based on heater output temperatures.

In this research, optimal depletion pressures were determined through a genetic algorithm by analyzing stress field examples with six different pressures. The impact of these optimal pressures on steam depletion rates from turbines and the overall thermodynamic yield of the plant was then investigated. The highest yield value obtained was 0.394, with corresponding pressures of P[8] = 2459 Kpa, P[9] = 1057 Kpa, P[10] = 683.8 Kpa, P[16] = 134 Kpa, P[17] = 46 Kpa, and P[18] = 20 Kpa.

Changes in steam depletion rates were observed due to variations in pressures. The first drain (m8) remained constant, while the second drain (m9) increased by 0.35 Kg/s, the third drain (m10) increased by 7.8 Kg/s, the fourth drain (m16) decreased by 3 Kg/s, the fifth drain (m17) decreased by 2.94 Kg/s, and the sixth drain (m18) decreased by 1.51 Kg/s. Additionally, there was a 55% increase in thermodynamic yield, with the plant's overall yield reaching 0.3885.

Keywords: nuclear plant, thermodynamic yield, depletion pressures, genetic algorithm, stress field examples, steam generation, mutation.

مقدمة:

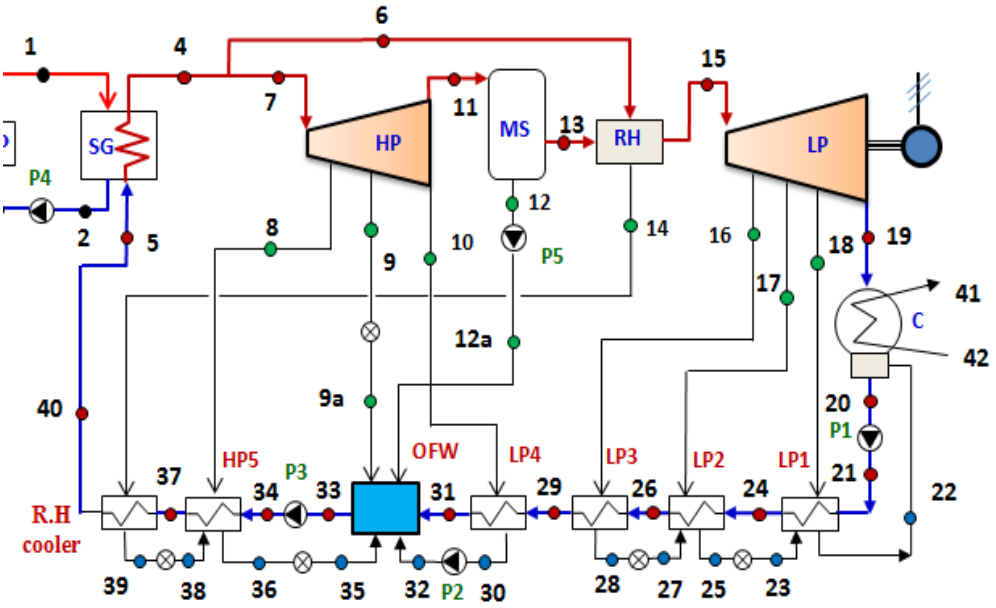
تتفاقم مشكلات الطاقة في العالم،بسبب نقص الموارد وغلاء أسعارها، فكان من الضروري تركيز الدراسة عند الباحثين والمصممين على كيفية ترشيد الطاقة والتقليل من ضياعها، والعمل على دراسة منظومة المحطة بشكل جيد. وقد تم اعتماد عدة طرق للتقليل من الطاقة المهدورة، ومن هذه الطرق تحديد ضغوط استنزاف البخار من العنفات الى المسخنات بشكل دقيق في محطات الطاقة، ومنها محطات الطاقة النووية التي انتشرت في العديد من دول العالم.

درس الباحث . Lior [9] في محطة الطاقة النموذجية الخاصة به (محطات الطاقة النووية لمفاعل PWR water المبرد)، استخدم وحدة التسخين الفائق للوقود الأحفوري مع الطاقة النووية الأصلية في محطة توليد الطاقة الحرارية. في مصنعه الهجين، حيث زادت كفاءة الطاقة والفعالية بنسبة ١٦ ٪ و ٦ ٪ ، على التوالي.

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

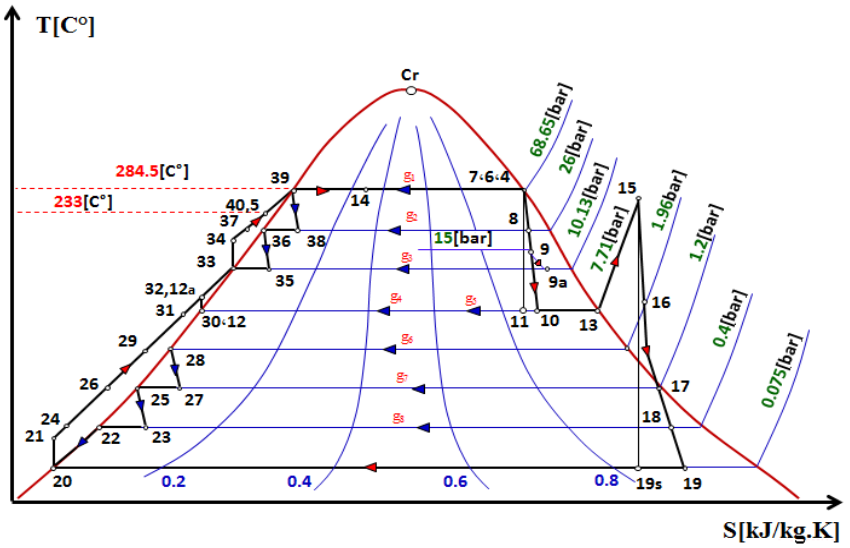
تعتبر الطاقة النووية من الطاقات النظيفة نسبيا والمتجددة وتعتبر مفاعلات PWR من أكثر المفاعلات انتشارا بسبب عوامل الأمان الشديدة فيها، وبسبب تمتعها بمردود تشغيل مرتفع نسبيا.تتميز محطات الطاقة النووية PWR بكفاءة حرارية منخفضة (حوالي 33% –34%)، مقارنة بوحدات الطاقة البخارية التي تستخدم الوقود الأحفوري (حوالي 40 – 45%). حتى بالنسبة لأحدث تكنولوجيا مستخدمة في محطات الطاقة PWR من الجيل الثالث ، فإن الكفاءة لا تتجاوز 40% ....[4]....[1]

الشكل رقم (١): المخطط الرمزي للمحطة النووية.



المخطط الرمزي للمحطة النووية

رسم المخطط الحراري (T–S) للمحطة ومكوناتها:الشكل (٢)



الدارة الترموديناميكية على المخطط (T،S)

مشكلة البحث:

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

هدف البحث:

إجراء عملية أمثلة لمجالات ضغوط استنزاف البخار من العنفات الى المسخنات،وتحديد الضغوط المثلى ودراسة تأثيرها على معدلات تدفق استنزاف البخار الى المسخنات وعلى المردود الترموديناميكي للمحطة.

مبررات البحث:

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

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

أهمية البحث:

الحاجة الماسة المستقبلية للطاقة النووية كونها:

- تأسيس قاعدة بحثية جديدة لدراسة محطات الطاقة النووية في الجامعات السورية لتكون بداية لأبحاث أخرى في هذا المجال في بلادنا والتي لابد أن تتجه يوما من الأيام للعمل بهذه التكنولوجيا المتقدمة والدقيقة.
- أحد مصادر الطاقة الكهربائية الرخيصة والطلب المتزايد عليها في بلادنا .

كما يمكن اعتبارها أحد المصادر المتجددة للطاقة إذا درست بعناية ونفذت بتصميم دقيق.

مخطط البحث:

– إجراء أمثلة لمجالات ضغوط استنزاف البخار الى المسخنات،باعتماد الخوارزمية الجينية

– تحديد الضغوط المثلى التي تعطي أعلى مردود ترموديناميكي للمحطة،ودراسة تأثير هذه الضغوط على معدلات تدفقات استنزاف البخار وعلى المردود الترموديناميكي للمحطة.

– رسم المنحنيات ومناقشة النتائج.

نفترض ان ضياعات الضغط مهملة في الانابيب والاجهزة الطاقية في المحطة،وكذلك نفترض ان الحالة مستقرة.وان البخار المستنزف من العنفات يتكاثف بشكل كامل في المسخنات.

تعطى معادلة انحفاظ الكتلة:

$$[3]\ldots[4]\ldots[5]\ldots\ldots \sum m_{in} = \sum m_{out}$$

تعطى معادلة انحفاظ الطاقة:

$$[3]\ldots[4]\ldots[5]\ldots\ldots E_{in} = E_{out}$$

تعطى معادلة المردود الحراري بالعلاقة

$$[4]\ldots[1]\ldots\ldots \eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{add}}$$

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

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

اما العمل الصافي للمحطة فيعطى بالعلاقة

$$W_{net} = [(W_{HP} + W_{LP}) - (W_{P1} + W_{P2} + W_{P3} + W_{P5})] * 0.001 \quad \text{[2]}.....$$

يعطى عمل عنفة الضغط العالي بالعلاقة:

$$W_{HP} = m_7 (h_7 - h_8) + (m_7 - m_8)(h_8 - h_9) + (m_7 - m_8 - m_9)(h_9 - h_{10}) \quad \text{[2]}.....$$

يعطى عمل عنفة الضغط المنخفض بالعلاقة:

$$W_{LP} = m_{15}(h_{15} - h_{16}) + (m_{15} - m_{16})(h_{16} - h_{17}) + (m_{15} - m_{16} - m_{17})(h_{17} - h_{18}) + (m_{15} - m_{16} - m_{17} - m_{18})(h_{18} - h_{19})$$

أما عمل المضخات فيعطى بالعلاقات التالية:

$$W_{p1} = m_{20} (h_{21} - h_{20}) \quad \text{[2]}....$$

$$W_{p2} = m_{30} (h_{32} - h_{30})$$

$$W_{p2} = W_{p5}$$

$$W_{p3} = m_{33} (h_{34} - h_{33})$$

وبالتالي تصبح معادلة المردود الحراري :

$$\eta_{th} = 1/2652[[m_7 (h_7 - h_8) + (m_7 - m_8)(h_8 - h_9) + (m_7 - m_8 - m_9)(h_9 - h_{10})] + [m_{15}(h_{15} - h_{16}) + (m_{15} - m_{16})(h_{16} - h_{17}) + (m_{15} - m_{16} - m_{17})(h_{17}$$

$$- h_{18}) +(m_{15} - m_{16} - m_{17} - m_{18})(h_{18} - h_{19})]- [m_{20} (h_{21} - h_{20})+ 2* m_{30} (h_{32} - h_{30})+m_{33} (h_{34} - h_{33})]]$$

وهي تابع الهدف

الخوارزمية الجينية:

تعتبر الخوارزمية الجينية من التقنيات الهامة في البحث عن الخيار الأمثل من مجموعة حلول متوفرة، اي تستعمل لإيجاد حلول مضبوطة او تقريبية لتحقيق الأمثلة

وتبدأ عادة:

من اختيار الكر موسومات (Population) ،بشكل عشوائي

وفي كل جيل يتم حساب الدالة المثلية(Function Fitness)

(لكل كروموسوم بشكل منفرد)،ويتم اختيار أفضل كروموسومات بالاعتماد على أفضل دالة مثلية،ومن ثم عمل تهجين (دمج) وأيضا طفرة.

المعيار الذي يجعلنا نختار أفضل الحلول ونحكم.

المعيار هو الدالة المثلية: والتي تتقبل كروموسوم (حل منفرد) وتعطي (Fitness Value)

$$Fc = \frac{1}{y \dot{-} y}$$

نلاحظ كلما كانت هذه القيمة اكبر كان الحل أفضل لأنها نعبر عن مقلوب الخطأ.

حيث : $\bar{Y}$ هي نتيجة تعويض الفرد في المعادلة (تابع الهدف).

Y هي النتيجة المطلوبة أي أعلى مردود للمحطة النووية ٤٠%.....[7]

مصطلحات الخوارزمية الجينية:

– الاصطفاء:وهو عملية اصطفاء الكر وموسومات اي الأفراد ،اي الحلول التي ستشارك في عملية التكاثر،والتي سيتم عليها لاحقا عملية مزج اجزاء منها مع اجزاء حلول أخرى،

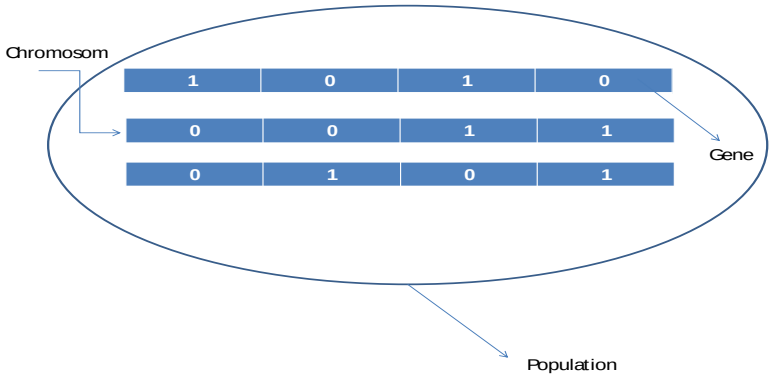
2–الجين (Gene):وهو اصغر جزء من الفرد او اصغر جزء حامل للمعلومة،(البت يسمى جين)

3–الفرد او الكر وموسوم (Chromosome):وهي الحلول المتاحة والتي تتم معالجتها،او مجموع الكر وموسومات (Population) هي مجموعة الحلول المتاحة لمشكلة ما.

4–الدالة المثلية (Function Fitness) :وهي الدالة التي تعطي نتيجتها احتمال دخول فرد ما في الاصطفاء وتوريث خاصياته،(جودة الحل).

–التزاوج او التكاثر(Crossover):عملية يتم خلالها تبادل اجزاء الحلول (قيمة المتغيرات)بين الأفراد او الكر وموسومات التي تم اصطفائها سابقا للدخول في هذه العملية ...[7].

شكل (٣) توضيحي لمصطلحات الخوارزمية الجينية:



مصطلحات الخوارزمية الجينية

نجري عملية الأمثلة لمجالات ضغوط الاستنزاف:

لدينا الضغوط التي تعمل عليها المحطة هي [KPa]:...[8]

P[8]=2459[Kpa] ,P[9]=1500[Kpa] ,P[10]=617.6[Kpa]
,P[16]=169[Kpa] P[17]=70.12[Kpa] ,P[18]=26.16[Kpa]

مجالات ضغوط الاستنزاف الستة هي:..... [8]

P_{10} = & P_9 = 1057...1500[kPa] &P_8= 1560...2459 [kPa]

P_{16}=134...169.7[kPa] & P_{17} =46.. 617.6...683.8[kPa]

70.3[kPa] & P_{18} =20.. 26.2[kPa]

أمثلة ضغوط الاستنزاف الستة: نأخذ مجالات ضغوط الاستنزاف الستة وهي:

27 P_{18} [kpa]	28 P_{17} [kpa]	29 P_{16} [kpa]	30 P_{10} [kpa]	31 P_9 [kpa]	32 P_8 [kpa]
20	46	134	617.6	1057	1560
20.33	47.28	135.9	621.1	1080	1607
20.65	48.56	137.8	624.6	1104	1655
20.98	49.84	139.6	628.1	1127	1702
21.31	51.12	141.5	631.5	1150	1749
21.63	52.39	143.4	635	1174	1797
21.96	53.67	145.3	638.5	1197	1844
22.28	54.95	147.2	642	1220	1891
22.61	56.23	149	645.5	1244	1939
22.94	57.51	150.9	649	1267	1986
23.26	58.79	152.8	652.4	1290	2033
23.59	60.07	154.7	655.9	1313	2080
23.92	61.35	156.5	659.4	1337	2128
24.24	62.63	158.4	662.9	1360	2175
24.57	63.91	160.3	666.4	1383	2222
24.89	65.18	162.2	669.9	1407	2270
25.22	66.46	164.1	673.3	1430	2317
25.55	67.74	165.9	676.8	1453	2364
25.87	69.02	167.8	680.3	1477	2412
26.2	70.3	169.7	683.8	1500	2459

وبالحل على البرنامج نحصل على بارامترات معادلة المردود :

1 η_{th} [-]	2 h_7	3 h_8	4 h_9	5 h_{10}	6 h_{15}	7 h_{16}	8 h_{17}	9 h_{18}	10 h_{19}	11 h_{20}	12 h_{21}	13 h_{30}	14 h_{32}
0.3908	2770	2556	2461	2375	2935	2696	2513	2381	2254	168.8	169.9	675.6	676.1
0.3908	2770	2560	2465	2376	2935	2697	2516	2383	2253	168.8	169.9	676.6	677.1
0.3907	2770	2564	2469	2378	2935	2698	2518	2385	2253	168.8	169.9	677.6	678.1
0.3906	2770	2567	2472	2379	2934	2699	2521	2386	2252	168.8	169.9	678.5	679
0.3906	2770	2571	2476	2380	2934	2700	2523	2387	2252	168.8	169.9	679.5	680
0.3905	2770	2575	2479	2382	2934	2701	2526	2389	2252	168.8	169.9	680.4	680.9
0.3904	2770	2578	2482	2383	2934	2702	2528	2390	2251	168.8	169.9	681.3	681.8
0.3903	2770	2582	2485	2384	2934	2703	2530	2392	2251	168.8	169.9	682.3	682.8
0.3902	2770	2585	2489	2386	2934	2704	2532	2393	2250	168.8	169.9	683.2	683.7
0.39	2770	2589	2492	2387	2934	2705	2535	2394	2250	168.8	169.9	684.1	684.6
0.3899	2770	2592	2495	2388	2933	2705	2537	2395	2250	168.8	169.9	685.1	685.5
0.3898	2770	2595	2498	2390	2933	2706	2539	2397	2249	168.8	169.9	686	686.5
0.3896	2770	2598	2501	2391	2933	2707	2541	2398	2249	168.8	169.9	686.9	687.4
0.3895	2770	2601	2504	2392	2933	2708	2543	2399	2248	168.8	169.9	687.8	688.3
0.3894	2770	2604	2506	2393	2933	2709	2544	2400	2248	168.8	169.9	688.7	689.2
0.3892	2770	2607	2509	2394	2933	2709	2546	2401	2247	168.8	169.9	689.6	690.1
0.389	2770	2610	2512	2396	2933	2710	2548	2402	2247	168.8	169.9	690.6	691
0.3889	2770	2613	2515	2397	2932	2711	2550	2403	2247	168.8	169.9	691.5	691.9
0.3887	2770	2616	2517	2398	2932	2712	2552	2405	2246	168.8	169.9	692.4	692.8
0.3885	2770	2618	2520	2399	2932	2712	2553	2406	2246	168.8	169.9	693.2	693.7

15 h_{33}	16 h_{34}	17 $\dot{m}_7$ [kg/s]	18 $\dot{m}_8$ [kg/s]	19 $\dot{m}_9$ [kg/s]	20 $\dot{m}_{15}$ [kg/s]	21 $\dot{m}_{16}$ [kg/s]	22 $\dot{m}_{17}$ [kg/s]	23 $\dot{m}_{18}$ [kg/s]	24 $\dot{m}_{20}$ [kg/s]	25 $\dot{m}_{30}$ [kg/s]	26 $\dot{m}_{33}$ [kg/s]
765.4	773.1	1239	9.965	48.17	878.9	47.4	29.75	31.07	878.9	115	1503
765.4	773.1	1246	17.86	46.27	879.9	47.03	30.38	31.65	879.9	114.6	1503
765.4	773.1	1252	25.86	44.4	880.8	46.68	31	32.22	880.8	114.3	1503
765.4	773.1	1258	33.67	42.56	881.8	46.35	31.6	32.79	881.8	114.1	1503
765.4	773.1	1264	41.31	40.74	882.7	46.03	32.18	33.36	882.7	113.8	1503
765.4	773.1	1270	48.78	38.95	883.7	45.73	32.74	33.92	883.7	113.5	1503
765.4	773.1	1276	56.09	37.18	884.7	45.44	33.3	34.48	884.7	113.2	1503
765.4	773.1	1282	63.24	35.43	885.7	45.16	33.84	35.03	885.7	113	1503
765.4	773.1	1287	70.25	33.71	886.7	44.89	34.37	35.58	886.7	112.7	1503
765.4	773.1	1293	77.12	32	887.7	44.64	34.88	36.12	887.7	112.5	1503
765.4	773.1	1298	83.85	30.32	888.7	44.39	35.39	36.66	888.7	112.3	1503
765.4	773.1	1304	90.46	28.66	889.7	44.16	35.88	37.2	889.7	112	1503
765.4	773.1	1309	96.95	27.01	890.7	43.93	36.36	37.73	890.7	111.8	1503
765.4	773.1	1314	103.3	25.39	891.7	43.71	36.84	38.26	891.7	111.6	1503
765.4	773.1	1319	109.6	23.78	892.8	43.5	37.3	38.78	892.8	111.4	1503
765.4	773.1	1324	115.7	22.19	893.8	43.3	37.76	39.3	893.8	111.2	1503
765.4	773.1	1329	121.8	20.62	894.8	43.11	38.2	39.82	894.8	111	1503
765.4	773.1	1334	127.7	19.06	895.8	42.93	38.64	40.33	895.8	110.8	1503
765.4	773.1	1339	133.6	17.53	896.9	42.75	39.07	40.84	896.9	110.6	1503
765.4	773.1	1344	139.4	16	897.9	42.58	39.5	41.35	897.9	110.4	1503

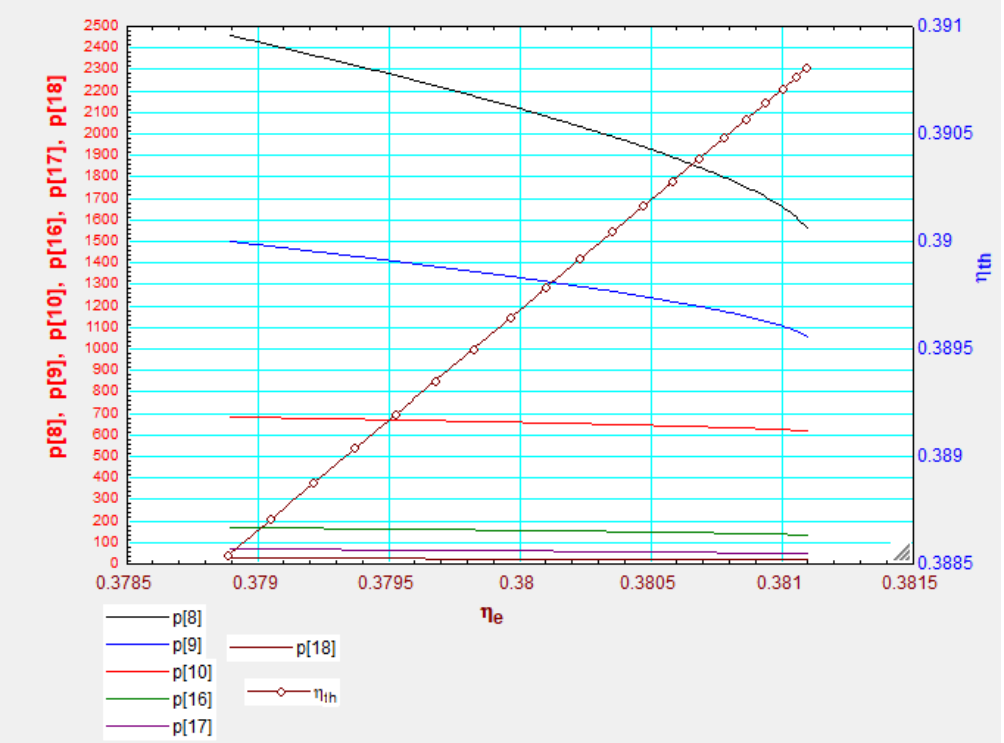
نلاحظ ان أعلى مردود قبل الأمثلة هو 0.3908 وذلك عند الضغوط:

P[16]=146[KPa] P[10]=645.5[KPa] P[9]=1244[KPa]

P[8]=1939[KPa]

P[18]=20.33[KPa] P[17]=47.28[KPa]

كما هو موضح بالشكل (3)



شكل (٣) أعلى مردود عند الضغوط P_8 P_9 P_{10} ، P_{16} P_{17} P_{18} قبل الأمثلة

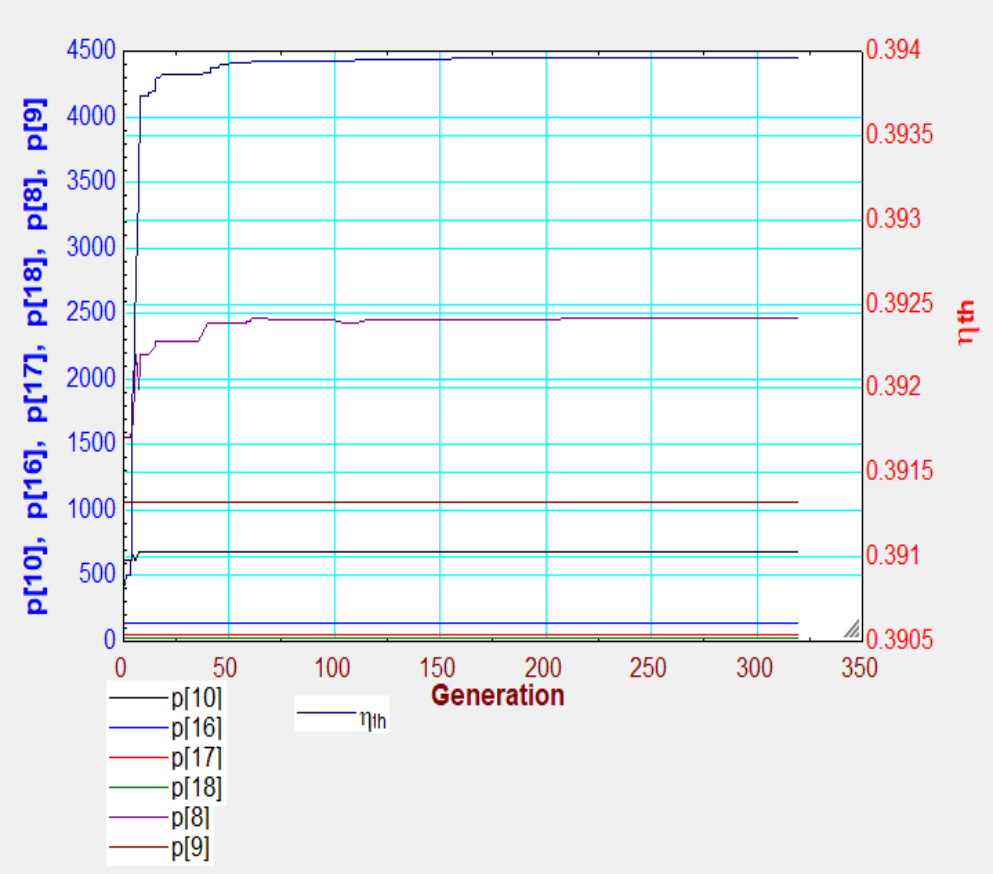
وبعد الأمثلة نجد أعلى مردود 0.394 وذلك عند الضغوط:

P[16]=134[KPa] P[10]=983.8[KPa] P[9]=1057[KPa]

P[8]=2459[KPa]

P[18]=20[KPa] P[17]=46.01[KPa]

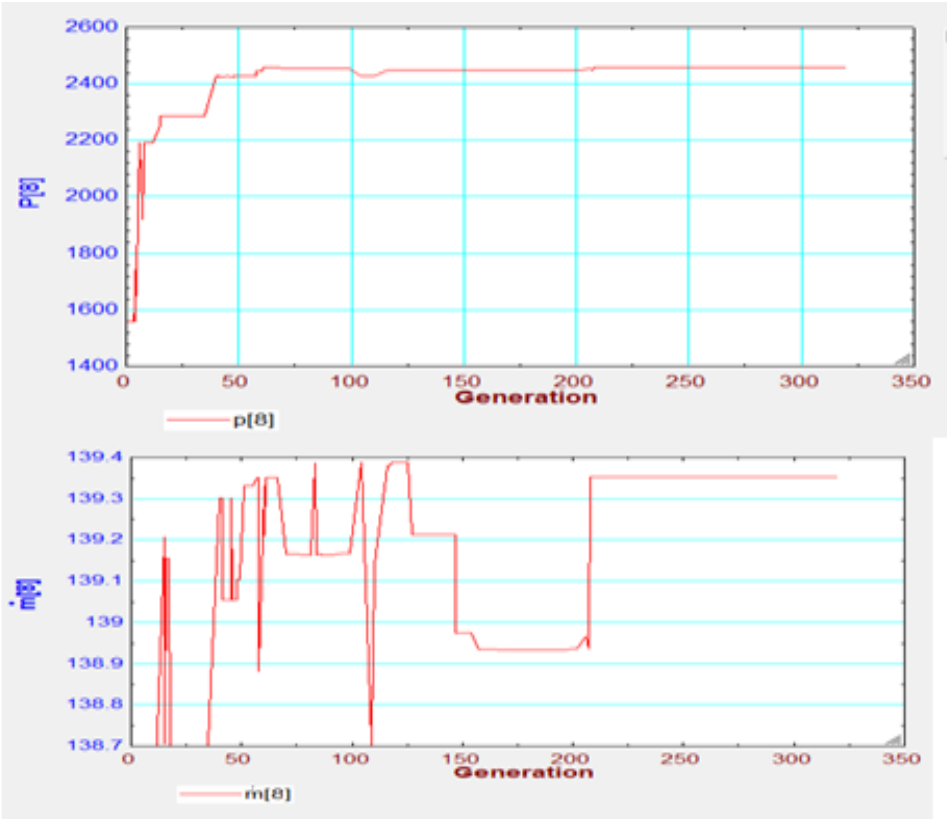
كما موضح بالشكل(٤):



شكل (٤) الضغوط المثلى لعمل المحطة

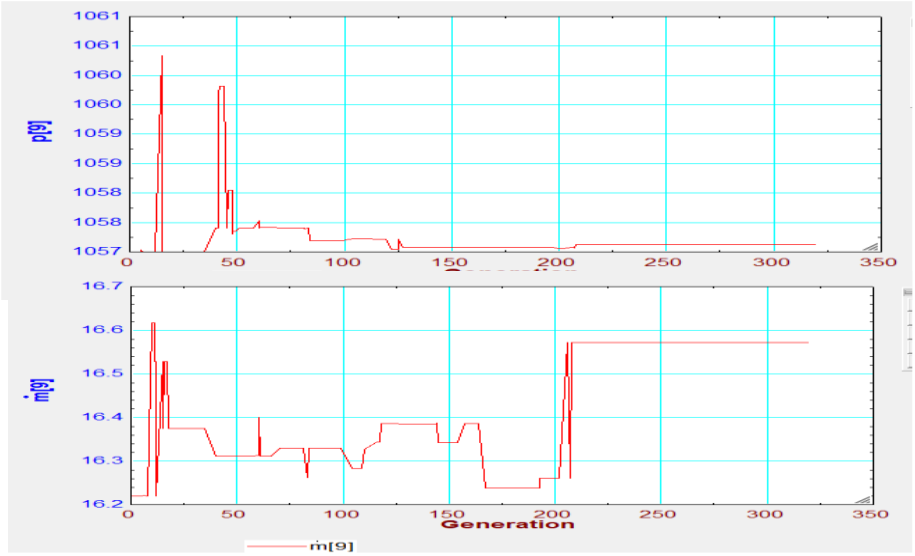
نلاحظ ان P[8] استقر عند القيمة 2459[KPa] ، P[9] استقر عند القيمة 1057[KPa] ، P[10] عند 683.8[KPa] ، P[16] عند 134[KPa] تقريبا ، P[17] عند 46[KPa] تقريبا ، P[18] عند 20[KPa]

يمكن توضيح كل ضغط على حدا مع تغير الاستنزاف الموافق له كما في الأشكال التالية:



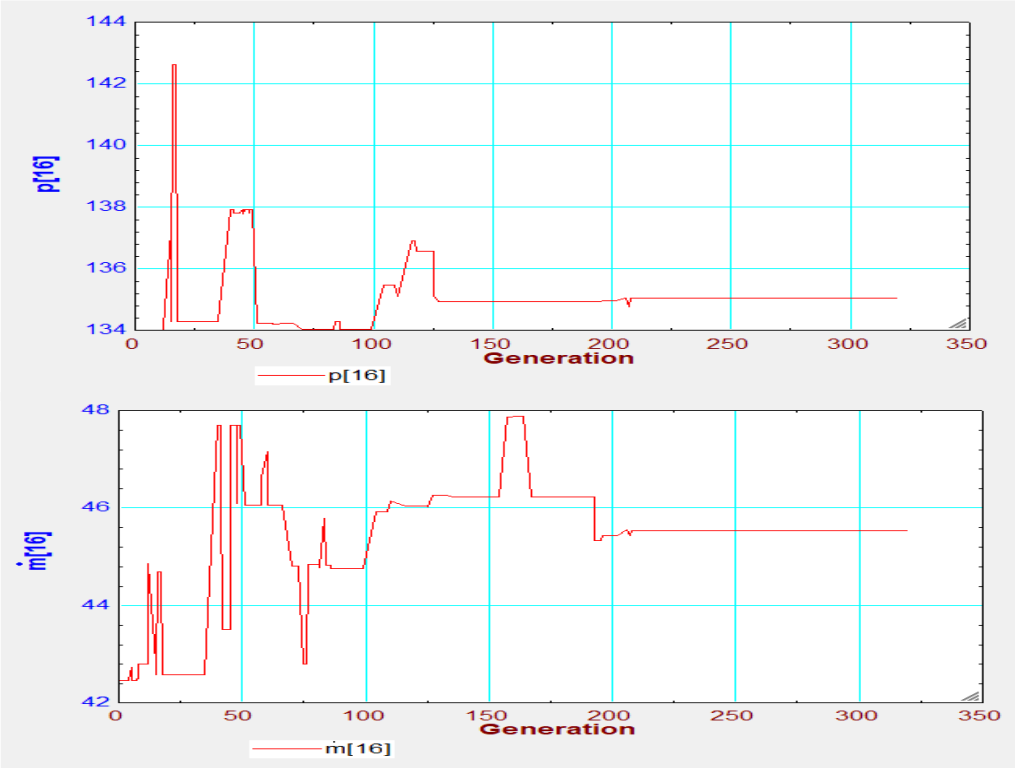
شكل (٥) تغير m[8] مع P[8]

نلاحظ ان الاستنزاف m[8] استقر عند القيمة 139.4[kg/s] وذلك عند الجيل ٢١٠ الذي يستقر عنده الضغط P[8] على القيمة 2459[KPa].



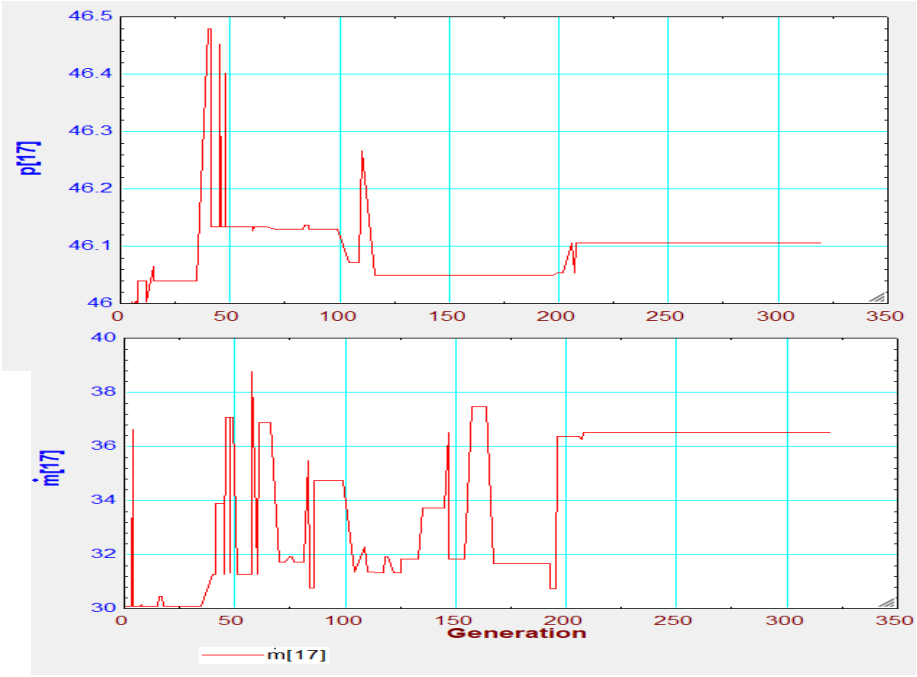
شكل (6) تغير m[9] مع P[9]

نلاحظ ان الاستنزاف m[9] استقر عند القيمة 16.57[kg/s] وذلك عند الجيل ٢١٠ الذي يستقر عنده الضغط P[9] على القيمة 1057[KPa].



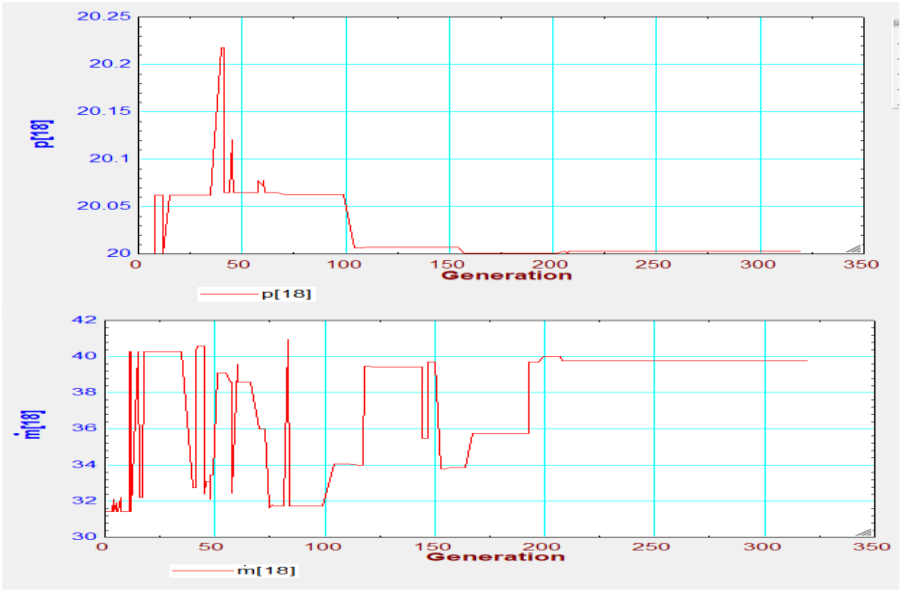
شكل (٧) تغير m[16] مع P[16]

نلاحظ ان الاستنزاف m[16] استقر عند القيمة 45.54[kg/s] وذلك عند الجيل ٢١٠ الذي يستقر عنده الضغط P[16] على القيمة 135[KPa].



شكل (8) تغير m[17] مع P[17]

نلاحظ ان الاستنزاف m[17] استقر عند القيمة 36.5[kg/s] وذلك عند الجيل ٢١٠ الذي يستقر عنده الضغط P[17] على القيمة 46[KPa].



شكل (9) تغير m[18] مع P[18]

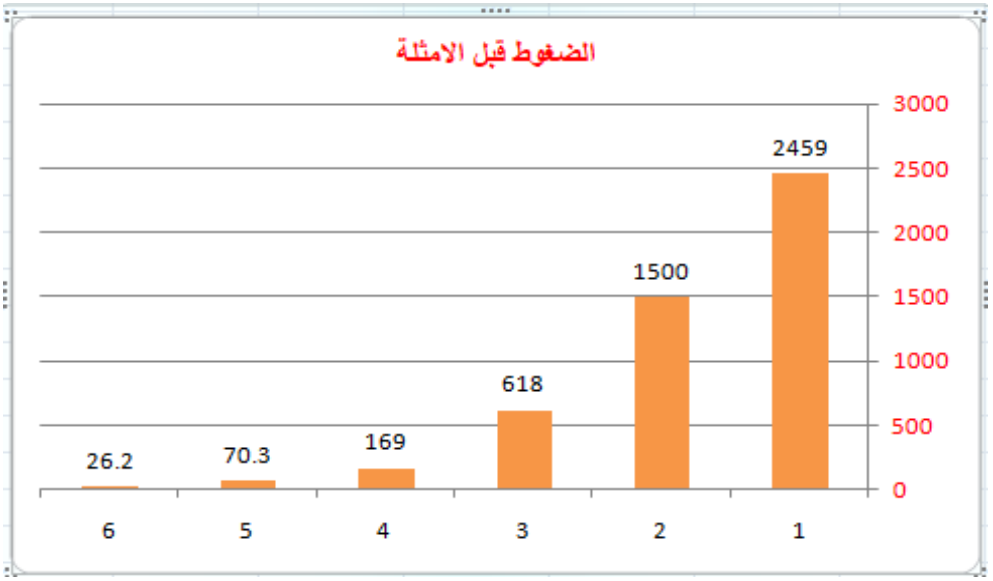
نلاحظ ان الاستنزاف m[18] استقر عند القيمة 39.78[kg/s] وذلك عند الجيل ٢١٠ الذي يستقر عنده الضغط P[18] على القيمة 20[KPa].

مناقشة النتائج:

لقد وجدنا أعلى قيمة للمردود هي 0.394 وذلك عند الضغوط:

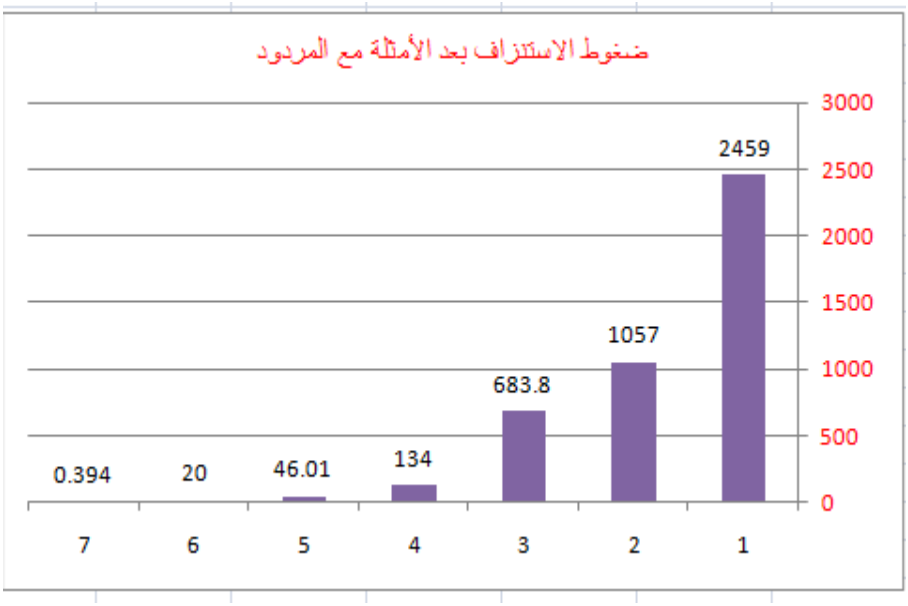
P_8	P_9	P_{10}	P_{16}	P_{17}	P_{18}
2459	1057	683.8	135	46.01	20

يوضح الشكل(10) التالي ضغوط الاستنزاف التي كانت تعمل عندها المحطة قبل الأمثلة حيث المردود 0.3885.



شكل (١٠) ضغوط الاستنزاف قبل الأمثلة

يوضح الشكل(11) التالي كيف تصبح ضغوط الاستنزاف بعد الأمثلة حيث أعلى مردود هو 0.394



شكل (١١) ضغوط الاستنزاف بعد الأمثلة

نلاحظ من الرسم البياني أن المحطة أصبحت تعمل عند أعلى قيمة لضغط الاستنزاف الأول P_8 وضغط الاستنزاف الثالث P_{10}،أي قيمة P[8]=2459[KPa]، P[10]=683.8[KPa] في حين نلاحظ أن ضغط الاستنزاف الثاني P[9] قد انخفض من ١٥٠٠ الى 1057[KPa]، وضغط الاستنزاف الرابع P[16] انخفض من ١٦٩ الى 134[KPa]، وضغط الاستنزاف الخامس P[17] قد انخفض من ٧٠,٣ الى 46[KPa]، وضغط الاستنزاف السادس P[18] انخفض من ٢٦,٢ الى 20[KPa].

أما معدلات تدفقات استنزاف البخار :

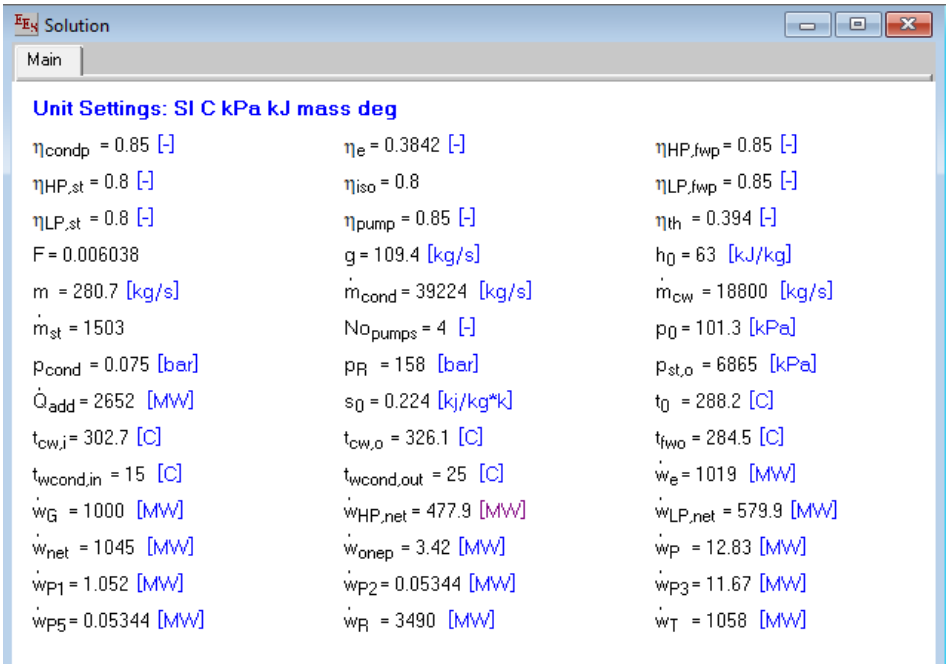
من المخطط(5-9-8-7-6) نلاحظ ان الاستنزاف الأول m_8، بقي كما هو، والاستنزاف الثاني m_9 قد زاد بمقدار 0.35[Kg/s] ، الاستنزاف الثالث m_{10} قد زاد بمقدار 7.8[Kg/s]،والاستنزاف الرابع m_{16} قد نقص بمقدار 3[Kg/s] ،أما الاستنزاف الخامس

m_{17} فقد قلت قيمه بمقدار 2.94[Kg/s]، وكذلك الاستنزاف السادس m_{18} فقد نقصت قيمته بمقدار 1.51[Kg/s].

وبالتالي نجد أفضل معدلات تدفقات استنزاف تعطي أعلى قيمة للمردود هي:

m_8	m_9	m_{10}	m_{16}	m_{17}	m_{18}
١٣٩,٤	16.57	118	45.54	36.5	39.78

وباعتماد معدلات تدفقات استنزاف البخار هذه تكون نافذة الحل لدينا:

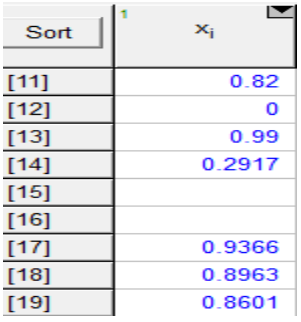


وبالتالي يمكن المقارنة بين بارامترات المحطة قبل الأمثلة وبعدها وفق الجدول التالي:

Parameters	قبل الأمثلة	بعد الأمثلة
W_{net} [MW]	١٠٣١	١٠٤٥
W_{HP} [MW]	٤٦٥,٦	٤٧٧,٩
W_{LP} [MW]	٥٧٧,٧	٥٧٩,٩
Thermal efficiency %	٣٨,٨٥	٣٩,٤
X_{HP}	٠,٨٢٤٤	٠,٨٢
X_{LP}	٠,٨٦٣٦	٠,٨٦٠١

ان معدلات تدفقات الاستنزاف هذه تحقق قيود الحل (قيود عمل المحطة) وهما:

١-درجة جفاف خرج عنفة الضغط العالي وعنفه الضغط المنخفض.



Sort	x_i
[11]	0.82
[12]	0
[13]	0.99
[14]	0.2917
[15]	
[16]	
[17]	0.9366
[18]	0.8963
[19]	0.8601

نلاحظ عند أعلى مردود تحققه معدلات تدفقات استنزاف البخار أن $X_{11} = 0.82$ ، $X_{19} = 0.8601$

وهذا يحقق قيد درجة جفاف خرج عنفة الضغط العالي وعنفه الضغط المنخفض. وهي X_{11} أكبر أو تساوي 0.82 ، X_{19} أكبر أو تساوي ٠,٨٦

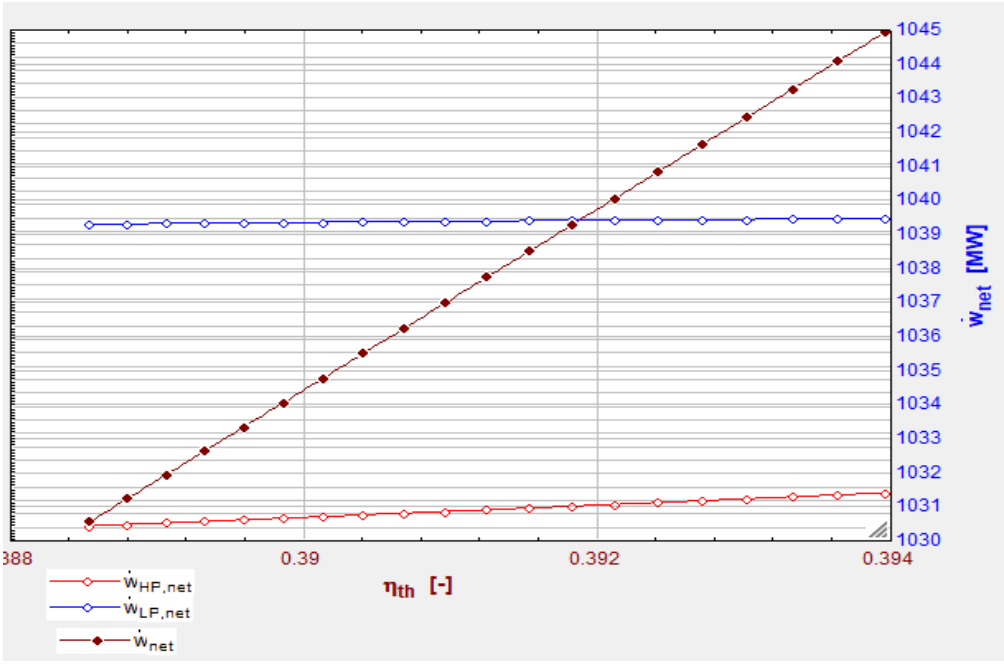
كما نلاحظ من الجدول أنه من أجل معدلات تدفقات استنزاف البخار المثلى قد زاد المردود من ٠,٣٨٨٥ الى ٠,٣٩٤ أي ازداد بمقدار 0.55% . والسبب هو زيادة العمل

الصافي .حيث تعطى معادلة المردود :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{add}}$$

حيث:$\dot{Q}_{add} = 2652[MW]$وهي مقدار ثابت لأن استطاعة المفاعل ثابتة.

كما هو مبين في الشكل (١٢):



شكل (١٢) علاقة عمل العنفات قبل وبعد الأمثلة مع المردود

نلاحظ ان عمل عنفة الضغط العالي قد ازداد من 465.6[MW] الى 477.9[MW] أي ازداد بمقدار 12.3[MW].

وعمل عنفة الضغط المنخفض قد ازداد من 577.8[MW] الى 579.9[MW] أي ازداد بمقدار 2.1[MW].

وبالتالي كما نلاحظ العمل الصافي قد ازداد بحدود [MW]14.

وبالتالي زيادة المردود الترموديناميكي للمحطة.

الاستنتاجات والتوصيات:

لقد تم أمثلة مجالات ضغوط استنزاف البخار من العنفات الى المسخنات باستخدام الخوارزمية الجينية وقد وجدنا زيادة في العمل الصافي للعنفات بحدود [MW]14 وبالتالي زيادة في المردود الترموديناميكي قدرها 55 %.

التوصيات:

يمكن إجراء عملية الأمثلة باستخدام خوارزميات أخرى مثل الخوارزمية المطورة genetic simplex.

يمكن دراسة تأثير تغيير مواقع استنزاف البخار من العنفات الى المسخنات

REFERENCES

[1] Sayyaadi, H.& Sabzaligol, T. (2010)-Comprehensive exergetic and economic comparison of PWR and hybrid fossil fuel-PWR power plants. Energy, 35 (7), 2953-2964.

[2] João , O& Antonella ,L& Costa,& Ângela,S. (2019)- Energy and exergy analyses of Angra 2 nuclear power plant. International Nuclear Atlantic Conference,83,PP169-184

[3]- Tony,S.(2019)-energy and exergy analyses of steam power plant.Energy nuclear, E3S Web of Conferences 125, ICENIS

[4]- Sayyaadi, H., & Sabzaligol, T. (2009). Exergoeconomic optimization of a 1000 MW light water reactor power generation system. International Journal of Energy Research, 33(4), 378-395.

[5]- Eshun, R. B. (2019). Energy and exergy based performance analysis of Westinghouse AP1000 nuclear power plant. Applied Sciences, 4(1), 1-10.

[6]- Rajput,K.2007-Engineering Thermodinamic.Golden house Delhi10002,3-Indian,p966 [7]- Putter, K. (2022). optimization frame work. Journal abero space, (9) p 598

[8]- Khairat , M.(2024)_ Effect of Pressures and rates of steam exhaustion from the station turbine AP1000 on the thermodynamic yield. Journal of AL Baath University,p484

تحسين أداء خوارزميات تصنيف حركة مرور عناوين الانترنت في شبكات الجيل الخامس باستخدام تقنيات تخفيض الأبعاد

ملخص البحث

مع ازدياد عدد مستخدمي شبكة الانترنت الناتج عن تطورها وتوسعها المتسارع، أدى ذلك إلى زيادة حركة المرور في هذه الشبكة، ولذلك، أصبحت مهمة تصنيف حركة مرور العناوين المنطقية IP traffic ضرورة أكثر من قبل، وقد انخفض استخدام طرق التصنيف التي تعتمد على فحص حمولة الحزمة packet payload والمنفذ port في معظم التطبيقات الحديثة، ولم تتطرق الأعمال البحثية لدراسة حركة المرور في شبكات الجيل الخامس، كما لم تتطرق إلى مشكلة الأبعاد الضخمة لمجموعات البيانات مما يجعل عملية التصنيف مكلفة. ولذلك، استخدمنا نموذجاً لتصنيف حركة المرور في شبكات الجيل الرابع وطورناه ليعمل في شبكات الجيل الخامس التي تعمل على حركة مرور أكثر كثافة، وذلك برفع دقة التصنيف بنسبة ٤% لتصبح 88.45% وتخفيض تكلفة التدريب والتنبؤ بنسبة تفوق ٩٨% بعد خفض الأبعاد باستخدام خوارزمية Fisher Score التي اختارت ٢٨ ميزة بدلاً من استخدام ٦٤ ميزة واستخدمنا نفس خوارزميات التصنيف في النموذج القديم المقترح وهي: Decision Tree، SVM، K-nearest Neighbours، Random Forest و Naive Bayes

الكلمات المفتاحية: العناوين المنطقية، حمولة الحزمة، خوارزمية Fisher Score، خوارزميات التصنيف .

Improving The Performance of Classification Algorithms for Internet Protocol Traffic in 5G Networks Using Dimension Reduction Techniques

Abstract:

With the increasing number of internet users due to its rapid development and expansion, there has been a surge in network traffic. Consequently, the classification of logical IP traffic addresses has become a pressing necessity.The utilization of classification methods relying on packet payload inspection and port examination has decreased in most modern applications. Research endeavors have not delved into studying traffic in 5G networks, nor have they addressed the challenge of massive dimensions in datasets, rendering the classification process costly. To address this, we employed a model for classifying traffic in 4G networks and enhanced it to operate efficiently in 5G networks, characterized by denser traffic. This was achieved by increasing the classification accuracy by 4% to reach 88.45% and reducing the training and prediction costs by an impressive 98% after dimension reduction using the Fisher Score algorithm, which selected 28 features instead of the original 64. The same classification algorithms were applied to the proposed old model, including Decision Tree, SVM, K-nearest Neighbours, Random Forest, and Naive Bayes.

Keywords: IP traffic, packet payload, Fisher Score algorithm, classification algorithms

١- مقدمة

أدى توسع سوق الهواتف المحمولة ورخص أسعارها وتطور شبكات الاتصالات إلى زيادة كبيرة جداً في عدد مستخدمي الانترنت حول العالم والذي أدى بدوره إلى زيادة هائلة في حركة المرور ضمن هذه الشبكات عالمياً، بالإضافة إلى انفجار صناعة التطبيقات التي اكتسحت جميع الهواتف المحمولة، كالبريد الالكتروني، تصفح الويب، مكالمات الفيديو والصوت، وتطبيقات المحادثة وغيرها. وبالتالي، فقد أصبح تصنيف حركة مرور في شبكات الهاتف المحمول ضرورة ملحة لمزودات خدمة الانترنت وللحكومات، لأثره الملموس في تحسين نشاطات إدارة الشبكة كتحليل جودة الخدمة Quality of Service (QoS) لخدمة الانترنت، واكتشاف أي خطأ في الشبكة واكتشاف الهجمات الأمنية مبكراً وغيرها من النشاطات [1] .

وقد وضع الباحثون طرقاً عديدة لتصنيف حركة المرور، واعتمدت هذه الطرق على تحديد رقم المنفذ في الحمولة، وقد تغيرت لاحقاً هذه الطرق المعتمدة على المنفذ بشكل جذري، وسبب ضعف هذه الطرق حالياً هي تغير رقم المنفذ بشكل ديناميكي في التطبيقات الحديثة فلم تعد التطبيقات تعمل باستخدام رقم منفذ محدد مسبقاً. أما الطرق التي تعتمد على فحص الحمولة payload-based technique فيتم فيها فحص محتوى الحمولة فلم تعد فعالة أيضاً بسبب استخدام تقنيات التشفير والتي تعيق تحليل الحمولة واكتشاف مافيها من المعلومات [2] .

حالياً، تستخدم تقنيات تعلم الآلة لتصنيف حركة المرور[3] ، ومع ذلك، لم يتوجه الباحثون لتطبيق ذلك في شبكات الهاتف المحمول، ومع ذلك، فلم تتناول الدراسات الحديثة حقيقة تعقيد مجموعات البيانات في التدريب، الأمر الذي يؤثر على الأداء في مرحلتي التدريب

والتنبؤ. وهذا ما قدمناه في هذه الورقة البحثية وذلك باستخدام تقنيات تخفيض الأبعاد على مجموعة بيانات لحركة المرور في شبكات الهاتف المحمول بالجيل الرابع والخامس.

اعتمدنا على تطوير نموذج سابق لتصنيف حركة المرور في شبكة الجيل الرابع سنسميه في متن البحث بالنموذج القديم [4]، وتطويره لاستخدامه في شبكات الجيل الخامس باستخدام نفس الخوارزميات في النموذج والقديم وهي: Decision Tree، SVM، K-nearest Neighbours، Random Forest و Naive Bayes. ركزّت عملية التطوير على تخفيض أبعاد مجموعات من البيانات باستخدام خوارزمية Fisher score لتنخفض أبعاد مجموعة البيانات من ٦٤ إلى ٢٨ وتزداد دقة التصنيف لتصبح ٨٨,٤٥% في النموذج المقترح بدلاً من ٨٤,٩٩% في النموذج القديم وينخفض زمن التدريب لستة أضعاف وزمن التنبؤ بمقدار عشر أضعاف.

٢- الهدف من البحث

يهدف هذا البحث إلى تحسين أداء خوارزميات التصنيف لحركة المرور في شبكات الجيل الخامس وذلك بتخفيض أبعاد مجموعات البيانات المستخدمة لتخفيض زمن التدريب وزمن التنفيذ ورفع دقة التصنيف.

٣- الدراسة النظرية

٣-١ تعلم الآلة

تعتبر تعلم الآلة (Machine Learning) أحد أهم فروع الذكاء الاصطناعي الذي شهد تطورًا هائلاً في العقود الأخيرة. يعني تعلم الآلة أن الأنظمة والبرامج يمكنها التعلم والتحسن من خلال التفاعل مع البيانات والخبرات السابقة بدلاً من الاعتماد على البرمجة التقليدية. يتيح تعلم الآلة للأنظمة الاصطناعية فهم الأنماط والتقارير المتكررة في البيانات، ومن ثم اتخاذ قرارات وتنفيذ المهام بكفاءة أعلى ودقة أفضل [5]. ومن بين الخوارزميات الشائعة

في تعلم الآلة: خوارزميات التصنيف[6]، خوارزميات التجميع [7]، وخوارزميات التعلم [8].

٣-٢ خوارزميات تخفيض الأبعاد

تخفيض الأبعاد (Dimensionality Reduction) هو عملية تقليل عدد السمات أو المتغيرات في مجموعة البيانات، مع الحفاظ على المعلومات الهامة والبارزة. تلعب خوارزميات تخفيض الأبعاد دورًا هامًا في تعلم الآلة، حيث تساهم في تحسين أداء النماذج وتقليل التعقيد الحسابي وتحسين فهم البيانات. واحدة من الخوارزميات الشهيرة في تخفيض الأبعاد هي Fisher Score، والتي تستخدم لاختيار السمات الهامة والمميزة في مجموعة البيانات. تهدف خوارزمية Fisher Score إلى تصنيف السمات بناءً على فاعليتها في تمييز الفئات المختلفة [9].

٣-٢-١ خوارزمية Fisher Score

تم تطوير هذه الطريقة باسم Ronald A. Fisher، وهي تستند إلى مفهوم "تحليل التباين" (Analysis of Variance) وهو مفهوم إحصائي [10]. تقوم خوارزمية Fisher Score بحساب درجة الفصل (Separation) بين متوسط القيم في كل فئة وتباين البيانات داخل الفئات [x1].

يتم حساب Fisher Score لكل سمة باستخدام الصيغة التالية (المعادلة ١):

$$Fisher\ Score = \frac{(Mean\ of\ Class\ 1 - Mean\ of\ Class\ 2)^2}{Variance\ of\ Class\ 1 + Variance\ of\ Class\ 2} \qquad (1)$$

حيث تكون هناك فئتين، على سبيل المثال، فئة إيجابية وفئة سلبية. بعد حساب *Fisher Score* لجميع السمات في البيانات، يمكن ترتيب السمات بتنازلي حسب قيم *Fisher Score.* السمات ذات قيم عالية لـ *Fisher Score* تكون أكثر أهمية في التمييز بين الفئات.

يمكن استخدام القائمة المرتبة للاختيار من بين السمات الأكثر أهمية لتشكيل مجموعة جديدة من البيانات، وهذا يُسمى تخفيض الأبعاد. يمكن أيضًا استخدام *Fisher Score* لتحديد مدى أثر السمات المختارة على النموذج بعد تدريبه [11].

٣-٣ تصنيف حركة المرور للانترنت

تم إجراء العديد من الأعمال البحثية لتصنيف حركة المرور، مع مراعاة أنواع مختلفة من تطبيقات الإنترنت. اقترح العديد من الباحثين تقنيات تصنيف مختلفة في هذا المجال وتنقسم ضمن ما يلي:

٣-٣-١ التصنيف على أساس رقم المنفذ

في هذه الطريقة يتم تسجيل منافذ تطبيقات الإنترنت في هيئة الأرقام المخصصة للإنترنت أو Internet Assigned Number Authority (IANA). بعد ذلك، يتم تصنيف حركة مرور IP باستخدام قائمة IANA لأرقام المنافذ المسجلة. على سبيل المثال، ترد أرقام المنافذ لبعض تطبيقات الإنترنت المسجلة في IANA في الجدول ١، وكما ذكرنا سابقاً فهي طريقة غير فعالة نظراً لطبيعة التطبيقات الجديدة التي تستخدم أرقام منافذ متغيرة [12].

الجدول 1: أرقام المنافذ المحددة من IANA لبعض تطبيقات الإنترنت

التطبيق	رقم المنفذ
FTP	21
Telnet	23
SMTP	25
DNS	53
HTTP	80
IRC	194

٣-٣-٢ التصنيف على أساس الحمولة

يُعرف هذا النهج أيضًا باسم تقنية الفحص العميق للحزم Deep Packet Inspection (DPI). في هذا النهج، يتم تحليل محتويات الحمولة، ويتم البحث عن التوقيع signature الدقيق للتطبيقات المعروفة. كان هذا هو البديل الأول للنهج الذي يعتمد على رقم المنفذ.

تم تطوير هذه التقنية خصيصًا لتطبيقات P2P. لكن تقنية التصنيف هذه لها عيوب كثيرة، مما يجعلها غير مقبولة على نطاق واسع. أولاً، هذا النهج غير قادر على تصنيف حركة الإنترنت التي لا تتوفر لها التوقيعات. وبالتالي، تتضمن هذه الطريقة التحديث المستمر لنمط التوقيع للتطبيقات الجديدة. وتتطلب أجهزة مكلفة للغاية للبحث عن أنماط في حمولة الحزمة. نظرًا لأن حمولة الحزمة بأكملها تحتاج إلى تحليل، وبالتالي فإن سعة التخزين وقوة الحوسبة عالية جدًا مطلوبة. علاوة على ذلك، يتم تشفير حمولة الحزمة في الوقت الحاضر باستخدام تقنيات تشفير مختلفة، مما يؤدي إلى منع فحص حمولة الحزمة وبالتالي تصبح هذه التقنية غير فعالة [13].

٣-٣-٣التصنيف باستخدام تعلم الآلة

تعتمد هذه التقنية على تدريب نموذج التعلم الآلي باستخدام ميزات إحصائية متنوعة مستقلة عن حمولة الحزمة ثم استخدام هذا النموذج المدرب لتصنيف حركة المرور. من المزايا الرئيسية التي يوفرها هذا النهج أن فحص رقم منفذ الحزمة أو حمولة الحزمة غير مطلوب. في الوقت الحاضر، تُستخدم العديد من تقنيات التعلم الآلي عمومًا لتحقيق مهمة تصنيف حركة المرور [14].

٤- الأعمال السابقة

٤-١ التصنيف على أساس رقم المنفذ

قام الباحثون [15] بتقييم نهج التعريف القائم على المنفذ لتصنيف حركة مرور الشبكة في بروتوكولات المراسلة الخاصة بهم، مثل HTTP و FTP. قدم تقييمهم التجريبي نتائج بدقة لا تزيد عن ٧٠٪، كما قام باحثون آخرون [16] بتقييم التصنيف القائم على المنفذ لحركة مرور الانترنت الخاصة بهم في مختبرات جامعتهم. وأكدوا أن الحل المطبق لم يتمكن من تحديد ٣٠٪ -٧٠٪ من البيانات التي تم جمعها.

٤-٢ التصنيف على أساس الحمولة

اقترح باحثون آخرون [17] إطارًا يسمى Lightweight DPI (LW-DPI) لتصنيف حركة مرور الشبكة عن طريق فحص محتوى عدد محدود من الحزم أو جزء صغير من حمولة حزمة معينة. اعتمد التقييم على حركة مرور الشبكة التي تم جمعها من مزودي خدمة الإنترنت التجاريين ومختبرات الجامعة المحلية، وحققت تجاربهم دقة تصنيف تصل إلى ٩٩٪.

كما اقترحت مجموعة من الباحثين [18] طريقة BitProb والتي تستخدم مفهوم توقيعات البت الاحتمالية وهي عبارة عن طول سلسلة ثنائي n-bit مستخرج من تدفقات الشبكة لتصنيف حركة مرور الشبكة. يتم إنشاء توقيع n-bit لكل تدفق من خلال مراقبة الحزم القليلة الأولى. بعد ذلك، يتم تغذية n-bit إلى آلة انتقال الحالة المسماة Probabilistic Counting Deterministic Automata (PCDA) لحساب احتمالية تواقيع البتات وتصنيفها إلى بروتوكولات مؤقتة. تم استخدام ثلاث مجموعات بيانات تغطي ٢٠ بروتوكولًا واستطاعوا تخفيض نتائج التصنيف الخاطئ.

من جانب آخر، توجه بعض الباحثين إلى تطوير خوارزميات تعتمد على السياق والتي حققت أداء يضاهي أداء نماذج الذكاء الاصطناعي، فقد قام الباحثون [19] بتصميم مصنف MediaSense وهي خوارزمية قادرة على تصنيف حركة المرور المشفرة الخاصة بالملتميديا في الزمن الحقيقي بدقة تضاهي أساليب التعلم العميق.

٤-٣ التصنيف باستخدام تعلم الآلة

لم تتطرق الأعمال التي استخدمت تقنيات تعلم الآلة إلى تخفيض الأبعاد إذ ركزت على رفع دقة التصنيف دون الأخذ بعين الاعتبار سرعة التدريب وسرعة اتخاذ القرار عند تشغيل النموذج في البيئة الحقيقية.

اقترحت إحدى الدراسات [20] تصنيف حركة المرور في شبكات الجيل الخامس باستخدام التعلم العميق لتخصيص الموارد وذلك بفحص حركة الشبكة لتوقع الطلب المستقبلي والذي

استطاع تحقيق دقة تصنيف وصلت إلى ٩٧,٣٩٧٥%. كما استخدم باحثون آخرون [21] تقطيع الشبكة وخوارزميات التعلم العميق لتوفير القدرة لمشغلي الشبكات على إنشاء شبكات أو شرائح افتراضية متعددة على نفس البنية التحتية المادية. تتسم هذه الشرائح بأنها مستقلة ومخصصة مما يسمح بإدارتها ديناميكيًا وفقًا للمتطلبات المحددة بين مشغلي الشبكات والمستخدمين. يصنف النموذج حركة المرور بالتنبؤ بنوع الشريحة الدقيق لكل مستخدم.

لقد استخدم الباحثون [22] ثلاث أنواع من خوارزميات التعلم العميق وهي Deep Belief Network و Convolution Neural Network و Multi-layer Perceptron لتصنيف حركة مرور الشبكة. ودمجوا نتائج جميع المصنفات الثلاثة باستخدام تقنية Bayesian decision fusion. أظهرت النتائج التجريبية على مجموعة بيانات التي أنشؤوها أن الطريقة المقترحة تعمل على تحسين دقة التصنيف وتعمل بشكل جيد على أنواع حركة مرور الشبكة المختلفة بمتوسط دقة تصنيف وصل إلى ٩٧٪. كما استخدام باحثون آخرون [23] تقنية جديدة في التعليم شبه الخاضع للإشراف وهي federated semi-supervised learning وذلك لتصنيف حركة مرور الشبكة وحقق النموذج دقة تصنيف تصل إلى ٩٧,٨١%.

أنشأ الباحثون [24] مجموعة بيانات حية لحركة الإنترنت تألفت من ٢٣ ميزة وتتألف من حركات المرور لتطبيقات DNS و WWW و P2P و FTP و Telnet. كما قاموا بتطبيق مجموعة من خوارزميات تعليم الآلة Naive Bayes و Bayes Net و decision tree و SVM لتصنيف حركة مرور الشبكة. حققت شجرة القرار أعلى دقة تصنيف بلغت ٧٨,٩١٪. كما صنف الباحثون [25] حركة المرور باستخدام تعلم الآلة وذلك باستخدام نوعين مختلفين من مجموعات البيانات لحركة مرور تتضمن مجموعة من التطبيقات كـ تطبيقات البريد الإلكتروني و WWW و CHAT و FTP . استخدموا مجموعة من خوارزميات تعلم الآلة وهي: K-Nearest Neighbor و Naive Bayes و RBF و Bayes Net. وحققت Bayes Net أعلى دقة تصنيف. بالإضافة إلى عمل مشابه

للعمل السابق، طور الباحثون [26] مجموعة بيانات لحركة الإنترنت لمدة ثانيتين ودقيقتين على التوالي لالتقاط الحزم لثمانية تطبيقات من تطبقات الانترنت. واستخدموا خمس خوارزميات تعلم آلة لتصنيف حركة المرور وهي: C4.5 و RBF و MLP و Naïve Bayes و Bayes Net. وحققت Bayes Net أعلى دقة تصنيف أيضاً.

٤-٤ ملخص الدراسات المرجعية

قدمت الأعمال الأولى طرقاً لتصنيف إدارة حركة المرور باستخدام خوارزميات تصنيف حسب المنفذ أو الحمولة، ثم ظهرت العديد من الأعمال التي استخدمت تقنيات متنوعة للذكاء الاصطناعي والتي ركزت في معظمها على تحسين دقة التصنيف وتوفير تكلفة التصنيف عن طريق تحسين دقة التصنيف باختيار التقنيات الأنسب، ولم تتطرق هذه الأعمال إلى تخفيض تكلفة هذه العملية بمعالجة مجموعات البيانات الضخمة وتخفيض أبعادها وهو ما عملنا عليه في هذا البحث واستطعنا تخفيض تكلفة التدريب والتنبؤ مع رفع دقة التصنيف كما سيظهر في قسم النتائج.

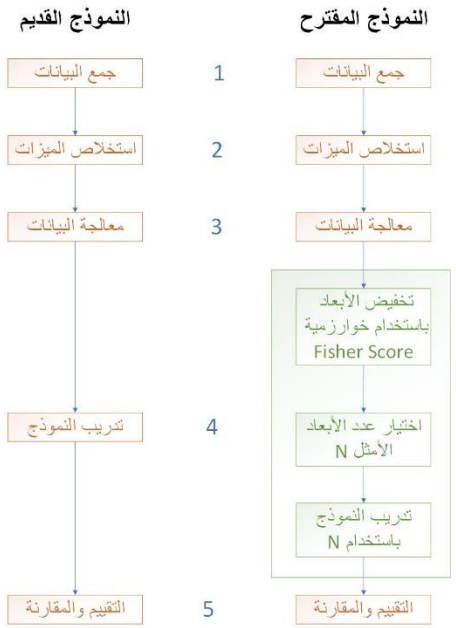
٥- النموذج المقترح

اعتمد النموذج المقترح الذي يعمل على تصنيف حركة المرور في شبكات الجيل الرابع على مجموعة بيانات تم إنشاؤها ومعالجتها لتدريب أشهر خوارزميات التصنيف عليها واختيار الخوارزمية الأنسب وفق النتائج.

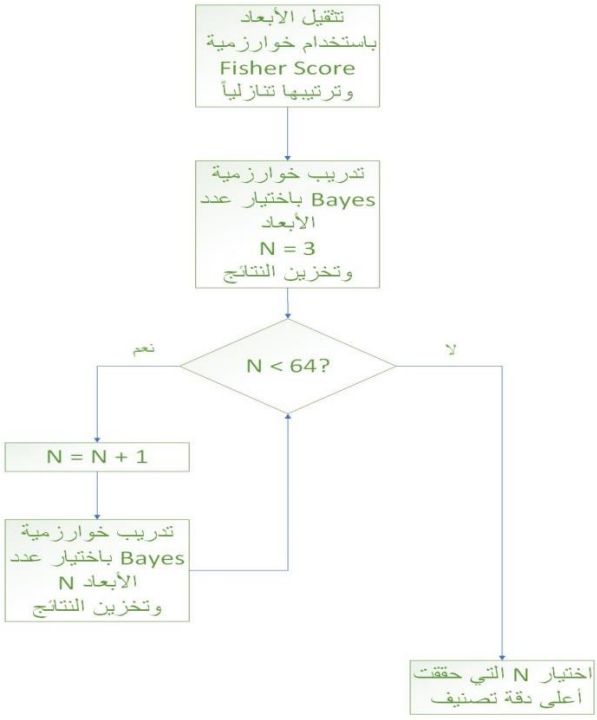
تحتوي مجموعة البيانات على مجموعة متنوعة من الحقول التي توفر رؤية شاملة حول حركة المرور في الشبكة. من بين هذه الحقول، يمكن التمييز عن العديد من المعلومات المهمة. يشمل ذلك حجم البيانات المرسلة والمستقبلة، وزمن التأخير بين الحزم، ومعدلات البيانات الكلية للتدفق، بالإضافة إلى معلومات حول المصدر والوجهة والمنافذ المستخدمة. يعكس هذا التنوع في الحقول قدرة المجموعة على تقديم رؤية شاملة حول سلوك حركة المرور، مما يمكن الخوارزميات من استخدام هذه المعلومات لتحسين عمليات التصنيف

وتحليل الأنماط في الشبكة بشكل فعال، ولكن ليست جميع الحقول على نفس الدرجة من الأهمية في اتخاذ القرار عند التصنيف، ومع ذلك، يعمل النموذج القديم على استخدامها جميعاً في عملية التصنيف وهو ما يعني ارتفاع تكلفة التصنيف لمعالجتها، وانخفاض دقة التدريب نظراً لكثرة الأبعاد المستخدمة.

ولذلك، عملنا على تطوير النموذج ليعمل في شبكات الجيل الخامس وذلك بتخفيض تكلفة التصنيف نظراً لكثافة حركة المرور في هذا النوع من الشبكات مقارنة بالجيل الرابع، وذلك بتخفيض الأبعاد من ٦٤ إلى ٢٨ وهو ما أدى إلى انخفاض زمني التدريب والتنبؤ بنسبة تفوق ٩٨% وتحسن دقة التصنيف بنسبة ٤% كما سيظهر في قسم النتائج. يوضح الشكل ١ مراحل بناء النموذج القديم والتعديلات التي قمنا بها – المرحلة الرابعة– لتقديم النموذج المقترح، ويوضح الشكل ٢ المخطط التفصيلي لعملية تخفيض الأبعاد واختيار عدد الأبعاد الأفضل.



الشكل ١: مقارنة بين مراحل بناء النموذج القديم والنموذج المقترح الذي تشكل بعد تخفيض الأبعاد



الشكل2 : خوارزمية اختيار عدد الأبعاد الأمثل

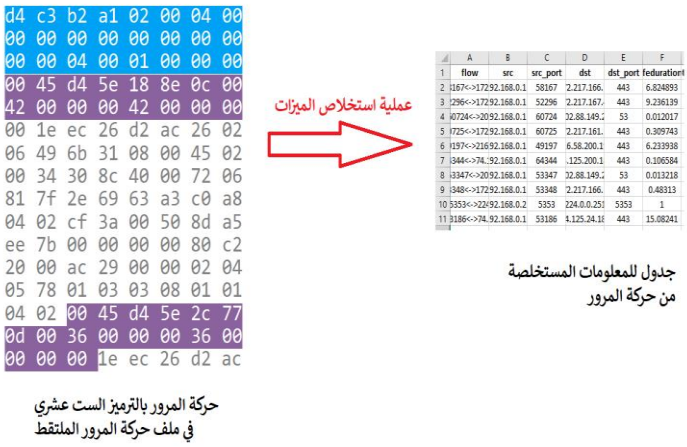
٥-١ جمع بيانات حركة المرور

استخدمنا البيانات التي جمعها الباحثون في النموذج القديم [4] وتم تجميعها بالتقاط بيانات حركة مرور الإنترنت في الوقت الفعلي لشبكة الجيل الخامس باستخدام أداة التقاط حزم شائعة تسمى Wireshark. وتتضمن حركة المرور على الإنترنت لمدة ٣٠ ثانية لستة أنواع من التطبيقات: البريد الإلكتروني والمراسلة الفورية و P2P و VOIP ووسائط الويب وتطبيقات WWW من خلال الاتصال بشبكة الجيل الخامس باستخدام نقطة اتصال من بيانات الجوال.، وهذه المجموعة محفوظة بتنسيق .pcap.

٥-٢ استخلاص الميزات

قام الباحثون في النموذج القديم بتحويل ملف pcap الذي يتضمن حركة المرور بصيغتها الأساسية واستخلاص المعلومات المهمة منها لتصبح بشكل جدول ليكون قابلاً لتمريره على

خوارزميات التصنيف كما في الشكل ٣، تتألف مجموعة البيانات بعد عملية استخلاص الميزات من ٦٤ ميزة، وهو عدد كبير ويجب تخفيضه للحصول على أداء أسرع ودقة تصنيف أفضل من التي قدمها الباحثون الذين أنشأوا مجموعة البيانات وهذا ما استطعنا تحقيقه في هذا العمل.



الشكل 3: عملية استخلاص الميزات لتحويل ملف pcap إلى جدول يمكن استخدامه في خوارزميات الذكاء الاصطناعي

٥-٣ معالجة البيانات

قام الباحثون الذين وضعوا النموذج القديم بتنظيف البيانات من الأسطر الناقصة والتخلص من الحقول غير الضرورية.

٥-٤ تخفيض الأبعاد

وهي المرحلة التي قمنا بها لتحسين نموذجهم، لقد قمنا بتخفيض الأبعاد التي تبلغ ٦٤ وذلك لتسريع عملية التصنيف وتحسين دقتها. لقد استخدمنا خوارزمية fisher score وهي من أفضل الخوارزميات الممتازة لتخفيض الأبعاد وذلك لقدرتها على تمييز المتغيرات باستخدام التباين الداخلي والخارجي في الإحصاء فيسمح بتحديد المتغيرات ذات الأهمية العالية في عملية التصنيف، ولتقليل الأبعاد بشكل فعال والحفاظ على المعلومات الأكثر أهمية دون التأثير على جودة عملية التصنيف. وكذلك لتحسين أداء النماذج، فعندما يتم تركيز النماذج

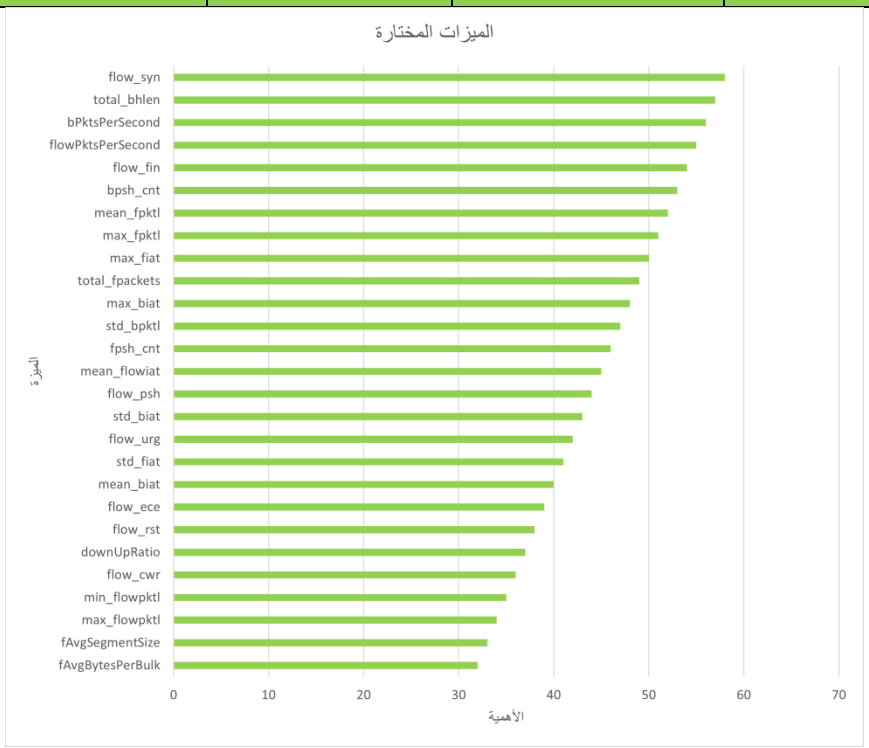
على المتغيرات الرئيسية، سيصبح النموذج أكثر قدرة على اكتشاف العلاقات والأنماط. وبالتالي، تتحسن دقة وفعالية عملية التصنيف. بالإضافة إلى سهولة التنفيذ والتطبيق والوصول إلى نتائج التخفيض منطقية قابلة للفهم.

استطعنا تخفيض الأبعاد باستخدام خوارزمية fisher score (الأشكال ٤-٥ والجدول ٢) لتصبح ٢٨ بدلاً من ٦٤ وتحسنت دقة التصنيف في خوارزميات التصنيف المختارة من ١% إلى ٤% واستطعنا تخفيض وقت التدريب والتنبؤ كما سيتوضح ذلك في القسم الخاص بالنتائج.

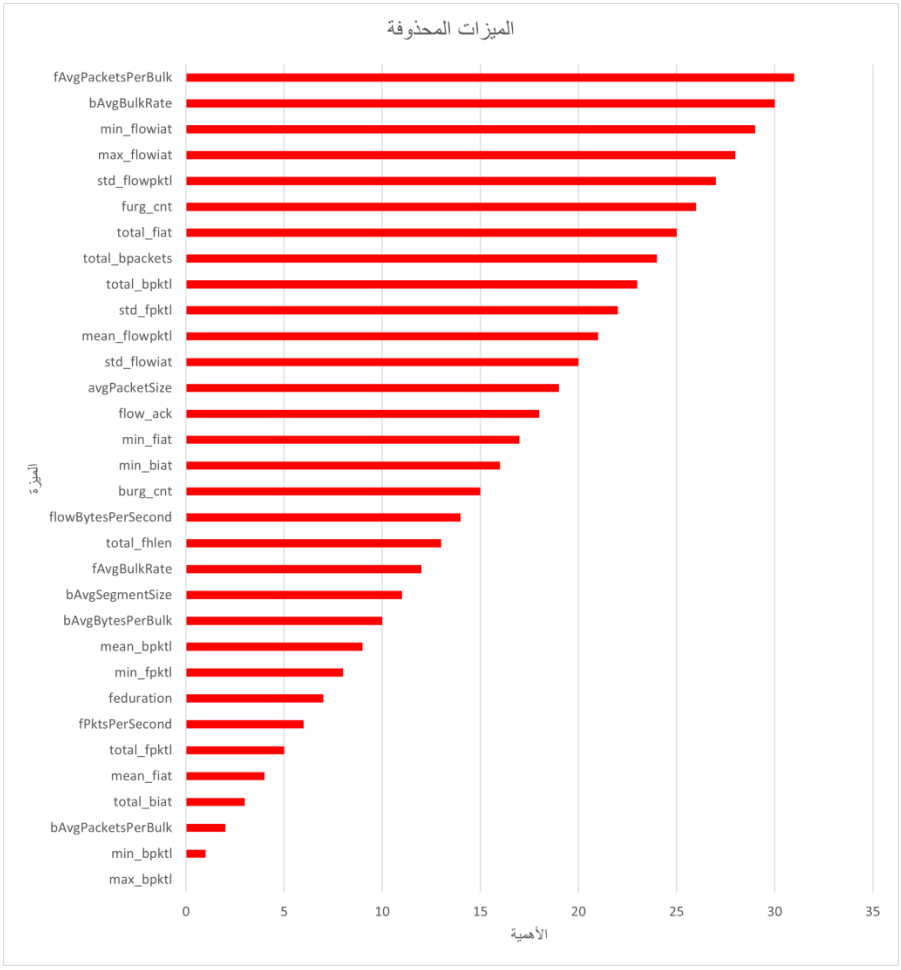
الجدول2 : ميزات مجموعة البيانات، الميزات المظللة بالأخضر هي التي تم اختيارها بعد التصنيف والميزات المظللة بالأحمر هي التي تم استبعادها

flow	total_biat	bAvgSegmentSize	avgPacketSize
src	mean_fiat	fAvgBulkRate	std_flowiat
src_port	total_fpktl	total_fhlen	mean_flowpktl
dst	fPktsPerSecond	flowBytesPerSecond	std_fpktl
dst_port	federation	burg_cnt	total_bpktl
max_bpktl	min_fpktl	min_biat	total_bpackets
min_bpktl	mean_bpktl	min_fiat	total_fiat
bAvgPacketsPerBulk	bAvgBytesPerBulk	flow_ack	furg_cnt
std_flowpktl	min_flowpktl	std_biat	max_fpktl
max_flowiat	flow_cwr	flow_psh	mean_fpktl
min_flowiat	downUpRatio	mean_flowiat	bpsh_cnt
bAvgBulkRate	flow_rst	fpsh_cnt	flow_fin
fAvgPacketsPerBulk	flow_ece	std_bpktl	flowPktsPerSecond
fAvgBytesPerBulk	mean_biat	max_biat	bPktsPerSecond

fAvgSegmentSize	std_fiat	total_fpackets	total_bhlen
max_flowpktl	flow_urg	max_fiat	flow_syn



الشكل 4: قيمة عامل الأهمية للميزات المختارة وتتراوح قيمها بين ٣٢ و٥٩



الشكل 5: قيمة عامل الأهمية للميزات التي تم استبعادها وتتراوح قيمها بين ٠ و٣٢

٥-٥ تدريب النموذج

استخدمنا خوارزميات التصنيف التي استخدمها الباحثون في النموذج القديم وهي تتوافق مع طبيعة البحث، فتصنيف حركة المرور يتطلب خوارزميات تصنيف فعالة في الزمن الحقيقي، وهي أربع خوارزميات: Naive Bayes و Random Forest و Decision tree و SVM.

٥-٥ مقاييس الأداء

وتتضمن مقياس عملية تخفيض الأبعاد و٥ مقاييس عملية التصنيف.

المحصلة Score

وهي رقم موجب يبدأ من صفر لتحديد أهمية الميزة عند تخفيض الأبعاد، وهو نتيجة التحليل الإحصائي التي تقوم به خوارزمية تخفيض الأبعاد Fisher score. تشير القيم المتدنية إلى الميزات التي يجب استبعادها والقيم المرتفعة إلى القيم المؤثرة في عملية التصنيف [27]. واستناداً لنتائج عملية التدريب يتم تحديد القيمة المعيارة للمحصلة والتي يتم بناء عليها اختيار أو استبعاد الميزات.

الدقة Accuracy

الدقة هي مقياس التقييم الأكثر استخدامًا في مسائل التصنيف. حيث تقيس نسبة نقاط البيانات المصنفة بشكل صحيح من إجمالي عدد نقاط البيانات. يتم حسابها على النحو التالي:

$$Accuracy = (TP + TN + FP + FN) / (TP + TN)$$

حيث TP هو عدد الإيجابيات الحقيقية، TNهو عدد السلبيات الحقيقية، FP هو عدد الإيجابيات الخاطئة، و FN هو عدد السلبيات الخاطئة [28] .

الإنضباط Precision

الإنضباط يعرف بأنه نسبة التنبؤات الإيجابية الحقيقية من جميع التوقعات الإيجابية .حيث يقيس قدرة النموذج على التنبؤ بالعينات الإيجابية بشكل صحيح .يتم حسابه على النحو التالي[28] :

$$Precision = TP / (TP + FP)$$

الاستدعاء Recall

الاستدعاء Recall، المعروف أيضًا باسم الحساسية، هو نسبة التنبؤات الإيجابية الصحيحة من جميع العينات الإيجابية الفعلية. كذلك يقيس قدرة النموذج على تحديد العينات الإيجابية بشكل صحيح. يتم حسابه على النحو التالي [28]:

$$Recall = TP / (TP + FN)$$

درجة F1 (F1-Score)

مقياس درجة F1 هي المتوسط التوافقي للدقة و الاستدعاء. كذلك، تعتبر درجة F1 مقياس شائع الاستخدام عندما يكون كل من الدقة والاستدعاء مهمين. علاوة على ذلك يتم حساب درجة F1 على النحو التالي[28]:

$$F\text{-}score = 2 * (precision * recall) / (precision + recall)$$

مصفوفة الارباك Confusion Matrix

مصفوفة الإرباك هي جدول يلخص أداء نموذج التصنيف. على سبيل المثال، تعرض مصفوفة الإرباك عدد الإيجابيات الصحيحة والسلبيات الصحيحة و الإيجابيات الخاطئة و السلبيات الخاطئة. من ناحية أخرى تعد هذه المصفوفة مفيدة لتصور أداء النموذج وتحديد مجالات التحسين[29].

		Positive		Negative	
الصفة المتوقعة Predicted Label	True	Positive (TP_	False	Positive (FP)	Positive

Negative	True Negative (TN)	False Negative (FN)

الصفة الحقيقية True Label

٦-٥ التنفيذ العملي للنموذج

٦-٥-١ تصدير ملفات حركة المرور:

وهي المرحلة الأولى قبل عملية التدريب، والتي تتطلب تصدير ملفات حركة المرور إلى صيغة csv ليمكن استخدامها مع مكتبات بايثون المتخصصة بالذكاء الاصطناعي، وذلك باتباع الخطوات التالية:

١. استعراض ملف pcap في Wireshark
٢. اختيار File > Export Packet Dissections > as "CSV"
٣. اختيار الموقع والاسم للملف الناتج CSV وحفظ الملف

٦-٥-٢ استيراد المكتبات:

وفي هذه المرحلة يتم استيراد مكتبات مهمة مثل pandas للتعامل مع البيانات، numpy للعمليات الرياضية، ومكتبات أخرى للتصوير البياني وتنفيذ نماذج التعلم الآلي.

٦-٥-٣ تحميل البيانات والتحضير:

وهي بداية عملية التدريب، وفيها يتم تنفيذ ما يلي:

- قراءة ملف CSV الذي يحتوي على بيانات حركة الشبكة باستخدام pandas
- معالجة البيانات وحذف الأسطر غير المكتملة وحذف بعض الأعمدة غير الضرورية.

٦-٥-٤ تثقيل المدخلات وتحديد أهميتها:

تطبيق خوارزمية Fisher Score على مجموعة البيانات لتحديد تثقيل كل مدخل من المدخلات في مجموعة البيانات.

٦-٥-٥ تحديد عدد الأبعاد الأمثل بعد التخفيض:

وفي هذه المرحلة يتم تحديد عدد الأبعاد الأمثل وفق ما يلي (راجع الشكل ٢):

- ترتيب المدخلات وفق تثقيلها وتنفيذ عملية التدريب (الخطوة رقم ٦) لخوارزمية واحدة فقط وهي Naïve Bayes باستخدام أثقل ثلاثة مدخلات ثم أثقل أربعة مدخلات وهكذا حتى ٦٤ مدخل، والغرض من هذه العملية التكرارية تحدد عدد الأبعاد الذي يحقق دقة تصنيف مساوية أو تفوق دقة التصنيف في النموذج القديم.
- مقارنة النتائج التي تظهر في كل تكرار مع دقة التصنيف للنموذج القديم، وتظهر النتائج أن عدد الأبعاد ٢٧ حقق أفضل نتيجة.
- بعد تحديد العدد الأمثل، يتم استخدامه في تدريب الخوارزميات الأربعة.

٦-٥-٦ التدريب والتقييم:

وهي عملية التدريب التقليدية لخوارزميات التصنيف الأربعة (Naive Bayes، Random Forest، Decision Tree وSVM) وتبدأ بتغذية الخوارزميات بالمدخلات التي تم اختيارها من المرحلة السابقة وإظهار النتائج ثم حساب زمني التدريب والتنبؤ ودقة التصنيف لكل خوارزمية.

٦- النتائج والمناقشة

٦-١ نتائج تدريب النموذج قبل تخفيض الأبعاد

استخدم الباحثون في النموذج القديم خوارزميات التصنيف الأربعة: Naive Bayes، Random Forest، Decision tree، وSVM على مجموعة البيانات الأصلية والتي تتألف من ٦٤ ميزة وقد حققت خوارزمية Random Forest أفضل دقة تصنيف وصلت إلى ٨٧%. وقمنا بإعادة عمليات التدريب التي أجراها الباحثون على نفس مجموعة البيانات الموجودة على مستودع الكود المصدري الخاص بالورقة البحثية [30] وقد حققت خوارزمية

Random Forest أعلى دقة تصنيف ولكنها وصلت إلى ٨٤,٩٩% ولم تصل إلى ٨٧% (الجداول ٣-٤).

الجدول 3: نتائج تدريب النموذج على مجموعة البيانات الأصلية قبل تخفيض الأبعاد باستخدام خوارزمية Random Forest

Correctly Classified Instances	1614	84.99%
Incorrectly Classified Instances	285	١٥,٠٠%
Mean absolute error	0.12	
Root mean squared error	0.21	
Total Number of Instances	1899	
Training Time	1.38368 s	
Prediction Time	0.10853 s	
TP Rate	85%	
FP Rate	13.6%	
Precision	84.9%	
Recall	85%	
F-Measure	83.7%	

الجدول 4: مصفوفة الإرتباك للنموذج المدرب على مجموعة البيانات الأصلية قبل تخفيض الأبعاد باستخدام خوارزمية Random Forest

a	b	c	d	e	f	<-- classified as
١٥٦	٣	٠	٣	١٦	٤٥	a = EMAIL
٣	٢٩	٠	٦	١٨	٣٦	b = INSTANT MESSAGING
٠	٠	١١٦	٠	٠	٢	c = P2P

d = VOIP	٦٨	٩	١٠٠	٠	٣	٤
e = WEB MEDIA	٤٨	١٦٧	٥	٠	٣	٧
f = WWW	١٠٤٦	٠	٣	٠	٢	١

٦-٢ نتائج تدريب النموذج بعد تخفيض الأبعاد

قمنا بترتيب الميزات وفقاً لأهميتها في عملية التصنيف كما وضحنا في قسم "معالجة البيانات" وقد حصلت الميزات على محصلة تراوحت من صفر إلى ٥٩. أجرينا مجموعة من عمليات التدريب بدءاً من ثلاثة ميزات وتم زيادة الميزات تدريجياً حتى لاحظنا أن أول ٢٦ ميزة قد حققت نفس النتائج التي حققها النموذج قبل التصنيف (الجداول ٥-٦). تابعنا زيادة عدد الميزات المدخلة إلى النموذج واستطعنا تحقيق نتائج أفضل باستخدام أول ٢٨ ميزة، وبناءً على عمليات التدريب، اخترنا القيمة المعيارية للمحصلة ٣٢، فكل ميزة محصلتها أكبر من أو تساوي ٣٢ تم اختيارها، وكل ميزة دون ٣٢ تم استبعادها.

الجدول 5:نتائج تدريب النموذج على مجموعة البيانات الأصلية بعد تخفيض الأبعاد باستخدام خوارزمية Random Forest

Correctly Classified Instances	١٦٧٩	8٨.٤٥%
Incorrectly Classified Instances	220	١١,٥٥%
Mean absolute error	0.06	
Root mean squared error	0.17	
Total Number of Instances	1899	
Training Time	0.02049 s	
Prediction Time	0.00075 s	
TP Rate	88.4%	
FP Rate	6.6%	
Precision	88.1%	
Recall	88.4%	

F–Measure	88.1%

الجدول 6: مصفوفة الإرتباك للنموذج المدرب على مجموعة البيانات الأصلية بعد تخفيض الأبعاد باستخدام خوارزمية Random Forest

a	b	c	d	e	f	<-- classified as
١٧٢	٢	٣	٤	٩	٣٣	a = EMAIL
٥	٥٦	٠	١٠	٧	١٤	b = INSTANT MESSAGING
١	٢	١١٠	٢	٢	١	c = P2P
٤	٥	٣	١٣٢	١٥	٢٥	d = VOIP
٨	٧	٢	٦	١٩١	١٦	e = WEB MEDIA
١٨	٧	٢	٣	٤	١٠١٨	f = WWW

٦-٣ المقارنة

لقد حققت مجموعة البيانات الجديدة على نفس الخوارزميات الأربعة المستخدمة مسبقاً نتائج أفضل فرفعت دقة التصنيف بنسبة ٤% بعد تخفيض الأبعاد بنسبة ٥٦,٢٥% وخفضت وقت التدريب والتنبؤ بنسبة تفوق ٩٨%. ونظراً لاعتماد خوارزمية Random Forest في كلا العملين كأفضل خوارزمية، سنقارن النموذجين قبل التخفيض وبعده مع هذه الخوارزمية (الجدول ٧).

الجدول 7: مقارنة النموذج المدرب بخوارزمية Random Forest قبل تخفيض الأبعاد وبعد تخفيض الأبعاد في مجموعة البيانات

معيار المقارنة	النموذج قبل التخفيض	النموذج بعد التخفيض
دقة التصنيف	84.99%	٨٨.٤٥%
أخطاء التصنيف	١٥,٠٠%	١١,٥٥%
Mean absolute error	0.12	0.06
Root mean squared error	0.21	0.17
زمن التدريب	1.38368 s	0.02049 s

زمن التنبؤ	0.10853 s	0.00075 s
معدل الإيجابيات الصحيحة TP Rate	85%	88.4%
معدل الإيجابيات الكاذبة FP Rate	13.6%	6.6%
الإنضباط Precision	84.9%	88.1%
الاستدعاء Recall	85%	88.4%
درجة F1 (F1-Score)	83.7%	88.1%

٧- التطلعات المستقبلية

نقترح العمل على إحدى المحاور التالية في الأعمال المستقبلية:

١- استخدام مجموعات بيانات حديثة في أعمال التطوير المستقبلية.

٢- تطبيق مجموعة من تقنيات تخفيض الأبعاد ومقارنة أدائها لاختيار التقنية الأفضل.

٣- استخدام تقنيات التعلم العميق بعد تخفيض الأبعاد.

٤- دراسة تأثير عملية التخفيض الأبعاد على أمان البيانات.

٥- دراسة تأثير عملية تخفيض الأبعاد على استهلاك الطاقة.

8- الخلاصة

استعرضنا في هذه الورقة البحثية مشكلة تصنيف حركة مرور الانترنت في شبكات الجيل الخامس، وتلخصت المشكلة في ندرة الدراسات التي تناولت تصنيف حركة المرور في الجيل الخامس، وتعقيد مجموعة البيانات. ولذلك، استخدمنا نموذجاً سابقاً لتصنيف حركة المرور في شبكات الجيل الرابع وطورناه ليعمل في شبكات الجيل الخامس وذلك باستخدام خوارزميات تخفيض الأبعاد. استخدمنا خوارزمية Fisher Score التي اختارت ٢٨ ميزة بدلاً من استخدام ٦٤ ميزة ورفعت من أداء نموذج التصنيف كاملاً. اعتمدنا على نفس خوارزميات التصنيف في النموذج القديم المقترح وهي: Decision Tree، SVM، K-nearest Neighbours، Random Forest و Naive Bayes، أثبتت نتائج الاختبارات أن النموذج المقترح عمل بسرعة أفضل في التدريب والتنبؤ، وبدقة تصنيف أعلى في جميع الخوارزميات إذ وصلت دقة التصنيف في النموذج المقترح إلى ٨٨,٤٥% مقارنة بالنموذج القديم الذي حقق ٨٤,٩٩%.

٩- جدول الاختصارات

الاختصار	الاسم الكامل

4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
CSV	Comma-Separated Values
DPI	Deep Packet Inspection
DNS	Domain Name System
FN	False Negative
FP	False Positive
FTP	File Transfer Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IP	Internet Protocol
LW-DPI	Lightweight Deep Packet Inspection
MLP	Multilayer Perceptron
P2P	Peer-to-Peer
PCAP	Packet Capture
PCDA	Probabilistic Counting Deterministic Automata
QoS	Quality of Service
RBF	Radial Basis Function
SVM	Support Vector Machine
TN	True Negative
TP	True Positive
VOIP	Voice over Internet Protocol
WWW	World Wide Web

١٠- المراجع

[١] Moore, Andrew W., and Denis Zuev. 2005 **Internet traffic classification using bayesian analysis techniques**. Proceedings of the ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modeling of computer systems..

[٢] Callado, Arthur, et al. 2009 **A survey on internet traffic identification**. IEEE communications surveys & tutorials 11.3 37-52.

[٣] Nguyen, Thuy TT, and Grenville Armitage. 2008 **A survey of techniques for internet traffic classification using machine learning.** IEEE communications surveys & tutorials 10.4: 56-76.

[4] Gupta, Amit, Anupam Raj, and Mayank Arora. **IP traffic classification of 4G network using machine learning techniques.** 2021 5th International conference on computing methodologies and communication (ICCMC). IEEE, 2021.

[٥] Jordan, Michael I., and Tom M. Mitchell. 2015 **Machine learning: Trends, perspectives, and prospects**. Science 349.6245 255-260.

[٦] Kotsiantis, Sotiris B., Ioannis Zaharakis, and P. Pintelas. 2007. **Supervised machine learning: A review of classification techniques.** Emerging artificial intelligence applications in computer engineering 160.1 3-24.

[٧] Ahuja, Ravinder, et al. 2020. **Classification and clustering algorithms of machine learning with their applications**. Nature-inspired computation in data mining and machine learning 225-248.

[٨] Mathew, Amitha, P. Amudha, and S. Sivakumari. 2021.**Deep learning techniques: an overview.** Advanced Machine Learning Technologies and Applications: Proceedings of AMLTA 2020 : 599-608.

[9] Gu, Quanquan, Zhenhui Li, and Jiawei Han. **Generalized fisher score for feature selection.** arXiv preprint arXiv:1202.3725 (2012).

[10] Sun, Lin, et al. **Feature selection using Fisher score and multilabel neighborhood rough sets for multilabel classification.** Information Sciences 578 (2021): 887-912.

[١١] Reddy, G. Thippa, et al. 2020 **Analysis of dimensionality reduction techniques on big data**. Ieee Access 8: 54776-54788.

[١٢] Camarillo, G. **The Internet Assigned Number Authority** (IANA) Uniform Resource Identifier (URI) Parameter Registry for the Session Initiation Protocol (SIP). No. rfc3969. 2004.

[١٣] Finsterbusch, Michael, et al. 2013 **A survey of payload-based traffic classification approaches**. IEEE Communications Surveys & Tutorials 16.2 : 1135-1156.

[١٤] Salman, Ola, et al. 2020**A review on machine learning–based approaches for Internet traffic classification.** Annals of Telecommunications 75 : 673-710.

[١٥] Moore, Andrew W., and Konstantina Papagiannaki. 2005 **Toward the accurate identification of network applications**. International workshop on passive and active network measurement. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,.

[١٦] Sen, Subhabrata, Oliver Spatscheck, and Dongmei Wang. 2009 **Accurate, scalable in-network identification of p2p traffic using application signatures.** Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web. 2004.

[١٧] Fernandes, Stênio, et al. "**Slimming down deep packet inspection systems**." IEEE INFOCOM Workshops 2009. IEEE,.

[١٨] Hubballi, Neminath, Mayank Swarnkar, and Mauro Conti. 2020 **BitProb: Probabilistic bit signatures for accurate application identification**. IEEE Transactions on Network and Service Management 17.3: 1730-1741.

[19] Aceto, Giuseppe, et al. DISTILLER: **Encrypted traffic classification via multimodal multitask deep learning**. Journal of Network and Computer Applications 183 (2021): 102985.

[20] Mareri, Bruce, et al. MANTA: **Multi-Lane Capsule Network Assisted Traffic Classification for 5G Network Slicing.** IEEE Wireless Communications Letters 11.9 (2022): 1905-1909.

[21] Mohammedali, Noor Abdalkarem, et al. **Traffic Classification using Deep Learning Approach for End-to-End Slice Management in 5G/B5G**. 2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE, 2022.

[٢٢] Izadi, Saadat, Mahmood Ahmadi, and Amir Rajabzadeh. 2022 **Network traffic classification using deep learning networks and Bayesian data fusion**. Journal of Network and Systems Management 30.2 . 25.

[٢٣] Jin, Zhiping, et al. 2023.**A federated semi supervised learning approach for network traffic classification**. International Journal of Network Management 33.3 : e2222.

[٢٤] M. Shafiq, X. Yu, A. A. Laghari, L. Yao, N. K. Karn, and F. Abdessamia, 2017 **Network Traffic Classification techniques and comparative analysis using Machine Learning algorithms**, doi: 10.1109/CompComm.2016.7925139

[٢٥] A. (Karunya U. Jamuna and V.(Karunya U. Ewards S.E, 2013 .**Efficient Flow based Network Traffic Classification using Machine Learning**," Int.J.Eng. Res. Appl.,vol.3, no.2,.

[٢٦] K. Singh, S. Agrawal, and B. S. Sohi, 2013 **A Near Real-time IP Traffic Classification Using Machine Learning,** Int. J. Intell. Syst. Appl., vol. 5, no. 3, 2013, doi: 10.5815/ijisa..03.09.

[٢٧] Li, Tao, et al. 2022 **A binary individual search strategy-based bi-objective evolutionary algorithm for high-dimensional feature selection**. Information Sciences 610 651-673.

[28] Hossin, Mohammad, and Md Nasir Sulaiman. 2015 .**A review on evaluation metrics for data classification evaluations.** International journal of data mining & knowledge management process 5.2 (): 1.

[٢٩] Liang, Jingsai. Confusion matrix: **Machine learning**. POGIL Activity Clearinghouse 3.4 (2022).

[٣٠] "GitHub - **anupamraj1312/4G-IP-traffic-classification-using-Machinelearning**." https://github.com/anupamraj1312/4G-IP-trafficclassification-using-Machine-learning (accessed Feb. 07, 2021)

تحسين أداء شبكات الجيل الرابع 4G بتطوير تخصيص الموارد في اتصالات D2D

ملخص:

يعتبر تحسين جودة الخدمة في شبكات الاتصال الحديثة أهم التحديات التي تواجه مزودي الخدمة نظراً للتزايد الكبير لعدد المشتركين ومحدودية الموارد المتاحة، وتزايد الطلب على الخدمات عريضة الحزمة التي تقدمها هذه الشبكات وبسرعات وجودة خدمة ترضي رغبات المشتركين.

وتعتبر زيادة السعة أهم متطلبات جودة الخدمة حيث ساهمت مؤخراً تقنية D2D في تحسين أداء الشبكات الخليوية وزيادة سعتها مع دعم أفضل لجودة الخدمة لمقدرتها على توفير موارد أكثر والمساهمة في تحسين سوية الخدمات المقدمة.

في هذا البحث تم التركيز على تخصيص الموارد في اتصالات D2D، وذلك بدراسة تقنية الوصول OFDM المعتمدة في الجيل الرابع 4G وتضمينها بنظام D2D بغرض زيادة السعة وبالتالي تحسين جودة الخدمة من خلال دعم المشتركين وتحسين تجربتهم في الوصول للتطبيقات عريضة الحزمة.

تعتمد الخوارزمية الجديدة في تخصيص الموارد على تقسيم الخلايا إلى مجموعة من الحلقات يخصص بعضها للاتصالات الخليوية وبعضها الآخر لاتصالات D2D بحيث يتم تقاسم الموارد وإعادة استخدامها بطريقة أكثر مرونة وفعالية وحدود دنيا للتداخل ، حيث بينت النتائج امكانية زيادة السعة مع زيادة عدد الحلقات وتقليل التداخل.

كلمات مفتاحية :

جودة الخدمة ، السعة ،الفاعلية الطيفية ، اتصالات جهاز لجهاز ، التداخل.

Improving performance of 4G networks by developing allocating resources in D2D Communications

Summary :

Improving the quality of service in modern communication networks is the most important challenges facing service providers due to the large number of subscribers and the limited available resources, and the increasing demand for broadband services provided by these networks and at speeds and quality of service that satisfy the subscribers' desires.

The increase in capacity is the most important service quality requirement, as D2D technology recently contributed in improving the performance of cellular networks and increasing their capacity with better support for quality of service because of its ability to

introduce more resources and contribute to improving the level of services provided.

In this paper, the focus was on resource allocation in D2D communications, by studying OFDM access technology in the fourth generation 4G with the use of D2D system in order to increase the capacity and thus improve the quality of service by supporting subscribers and improving their experience in reaching the broadband applications.

The new resource allocation algorithm relies on dividing the cells into a group of rings, some of which are allocated to cellular communications and others for D2D communications, so that resources are shared and reused in a more flexible and effective way with minimum interference limits. The results show the possibility of increasing the capacity while increasing the number of rings and reducing interference.

Keywords: QoS, capacity, Spectral efficiency, cellular network, D2D communication, interference.

قائمة الاختصارات

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

4 G LTE: Fourth generation long term evolution

3G: third generation

BS: base station

CM: cellular mode

CP: cyclic prefix

D2D: device to device

LTE: long term evolution

OFDM: orthogonal frequency division multiplexing

QoS: quality of service

RB: Resource block

RN: relay node

SNR: signal noise ratio

SINR: signal interference ratio

UEs: user equipments

١- مقدمة:

عند إجراء اتصال بين مستخدمين في الشبكة الخليوية التقليدية، تنتقل الرسائل من المرسل وتمر من خلال المحطة القاعدية BS ومن ثم تصل إلى المستقبل، و عند تفعيل الاتصالات D2D يمكن للرسائل الانتقال مباشرة من المرسل إلى المستقبل دون المرور بالمحطة القاعدية، وبما أن الاتصالات D2D تستند إلى الاتصالات الخليوية، فإنها خاضعة لتحكم المحطة القاعدية، وهذا يعني أن المحطة القاعدية تعرف متى يبدأ الاتصال ومتى ينتهي، ويمكنها التحكم دوماً بهذا النوع من الاتصالات .

اهتمت العديد من الدراسات باتصالات D2D حيث تم اقتراح مخططات لتوفير الطاقة في[1]، في حين تمت دراسة مخطط للاتصالاتD2D بكفاءة الطاقة جنبا إلى جنب مع تخصيص الموارد في [2] وفي [3] يشارك مستخدمو D2D أيضا مورد الوصلة الصاعدة مع المستخدمين الخليويين .

أما في [4] تم تقديم طريقة جديدة لتخصيص الموارد حيث يمكن لزوجD2D إعادة استخدام موارد أكثر من مستخدم خلوي واحد .

أما في [5] فقد تم اقتراح طريقتين جديدتين لتخصيص الموارد:

تتمثل أحدها في أن الاتصالات D2D تشترك في نفس الموارد مع المستخدمين الخليويين ويمكن أن تكون الموارد إما موارد للوصلة الصاعدة أو الوصلة الهابطة .

أما الطريقة الثانية فتستخدم الموارد بشكل متعامد مع المستخدمين الخليويين، مما يعني أنه لا يوجد تداخل في الطيف .

في [6] تدرس تقنيات الوصول المتعدد التي تستخدم للسماح لعدة مشتركين في الشبكة الخليوية باستخدام كمية محدودة من الطيف الراديوي في وقت واحد .

وبالتالي فإن الاتصالات D2D هي الطريقة التي يمكن بها لجهازين التواصل مع أو بدون محطة القاعدة (BS) من أجل تحسين معدل نقل البيانات بين المستخدمين والأجهزة القريبة. حيث يهدف البحث إلى تطوير خوارزمية لزيادة موارد الخلية باستخدام تقنية الاتصالات D2D ضمن الشبكات الخليوية وذلك بدراسة السعة وطرق زيادتها.

وقد تمت نمذجة الشبكة المدروسة وحساب الفاعلية الطيفية لعدة نماذج باستخدام برنامج المحاكاة MATLAB، حيث تشير UE إلى تجهيزات المستخدم، وتتيح المحطة القاعدية لأكثر من جهاز UE التواصل مباشرة مع بعضها البعض مع الاحتفاظ ببعض التحكم والإشراف على وصلة D2D وذلك للحد من التداخل .

تم في هذا البحث وضع نموذج للشبكة المدروسة ، يحتوي نموذج النظام على الجزء الداخلي والجزء الخارجي حيث يتألف الجزء الداخلي من تجهيزات المشتركين التقليدية التي تتواصل عبر المحطة القاعدية بينما يتألف الجزء الخارجي من تجهيزات مستخدميD2D معينه متجاورة ضمن المسافة المحددة .

يتم تخصيص العدد المحدود من المصادر في الجزء الخارجي من الخلية لمستخدميD2D وعدد المصادر في الجزء الداخلي يوزع في خلية صغيرة وبذلك يتم تخفيض كتلة الموارد من خلال تطبيق طريقة تقاسم الموارد المتاحة، حيث نقوم بتقسيم الخلية الواحدة إلى حلقات متعددة، ونحسب سعة النظام والفاعلية الطيفية آخذين بالاعتبار تحسين أداء الشبكة المدروسة.

٢- خوارزميات تخصيص الموارد في الاتصالاتD2D

وضعت سابقاً عدة خوارزميات لتخصيص وجدولة الموارد لتجهيزات المستخدمين ومن هذه الخوارزميات .

- **خوارزمية تخصيص الموارد الموجهة من خلال السعة** [9]:

(CORAL: Capacity Oriented Resource Allocation)

تعتمد هذه الخوارزمية نمط النظام الخليوي مع عدد من المستخدمين الخليويين وأزواج D2Dمتعددة لتحقيق سعة عالية أي أن CORAL تسمح لكل مستخدم D2D تشارك موارد أكثر من مستخدم خلوي واحد مما يساهم في تحسين السعة ، وتنقسم عملية تخصيص الموارد لهذه الخوارزمية إلى مرحلتين .

- المرحلة الأولى: CORAL يسمح لكل زوج D2D لاختيار المستخدم الخلوي الأمثل من مجموعة من المستخدمين الخليويين المرشحين من أجل ضمان تخصيص كل زوج D2D موارد مستخدم خلوي واحد على الأقل . وتحدد أولوية لكل زوج D2D استنادا إلى المسافة أو ربح القناة بين الزوج D2D والمحطة القاعدية .وكلما كانت المسافة أصغر، تكون الأولوية والأفضلية لزوج D2D أكبر، ويمكن لآلية تخصيص الأولوية هذه أن تساعد في معالجة الحالة التي يكون فيها للأزواج D2D المختلفة نفس المستخدم الخلوي الأمثل، وفي هذه الحالة فإن أزواج D2D المختلفة ستختار في نفس الوقت نفس المستخدم نفسه ، مما قد يسبب تداخلا بين أزواج D2D المختلفة وتداخل أكبر على المستخدم الخلوي الأمثل.
- المرحلة الثانية: تسمح الخوارزمية لكل مستخدم خلوي لا يزال غير مشارك بواسطة زوج D2Dفي المرحلة الأولى لاختيار زوج D2D الأمثل ، إذا كان المستخدم الخلوي المتبقي يقع داخل منطقة الزوجD2D ، فإنه لا ينبغي اختيار هذا الزوج D2D . وسيختار المستخدم الخلوي المتبقي زوج D2D مع ربح أقل للقناة بين المستخدم الخلوي والمرسل D2D من أزواج D2D التي لا تغطي مناطقها هذا المستخدم الخلوي.

تعمل هذه الخوارزمية على تخصيص الموارد من خلال تقاسم موارد المستخدمين الخلويين.

- **خوارزمية تخصيص الموارد بجدولة التقسيم الزمني** (Time Division Scheduling Resource Allocation Algorithm) [10].

في هذه الخوارزمية، يقدم إطار جدولة لتقسيم الزمن لاستيعاب المزيد من مستخدمي D2D حيث تنقسم فترة جدولة المحطة القاعدية إلى مجموعة من الفترات الزمنية ذات طول ثابت.

تقوم المحطة القاعدية خلال كل فترة جدولة بالكشف عن مستخدمي D2D المحتملين والحصول على معلومات عن حالة القناة (CSI) على كافة الوصلات، واستناداً إلى المعلومات المكتشفة، سيتم تعيين مجموعة من أزواج D2D لكل فاصل زمني ثم تخصص موارد المستخدمين الخليويين للمشاركة مع أزواج D2D في بداية كل فترة جدولة، وفي كل فاصل زمني، لن يتم اتصال سوى أزواج D2D المخصصة لهذه الفترة عن طريق تشارك الموارد الخليوية المخصصة .وباستخدام هذا الإطار لتقسيم الفترات الزمنية، سيوزع عدد كبير من المستخدمين D2Dعلى فترات زمنية مختلفة للاتصال بحيث يتمكن النظام من استخدام موارده الطيفية بكفاءة أكبر واستيعاب المزيد من المستخدمين منD2D .

وتعتمد الخوارزمية المقترحة على :

- تخصيص زوج D2D لكل فاصل زمني (تعيين مجموعة من أزواج D2D من N زوج D2Dلكل فاصل زمني).
- تخصيص كتلة موارد لكل فترة (RB) (تخصيص ال RB للمستخدمين الخليويين مع زوج D2D في الفترة الزمنية .

٣- السعة في الشبكات الخليوية :

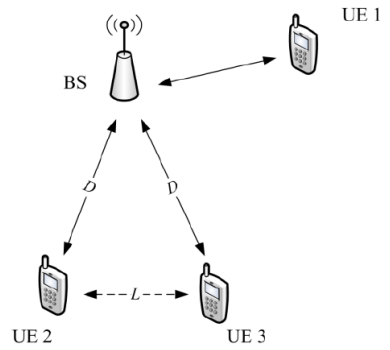
تعرف السعة على أنها مقدار حركة البيانات العظمى التي يمكن أن تتعامل معها الشبكة في وقت واحد ، فالسعة العالية تعني أن الشبكة يمكنها التعامل مع المزيد من المستخدمين في وقت واحد و حركة البيانات تكون أكبر مع أكبر عدد من المشتركين الذين يمكنهم استخدام الشبكة وتقاسم مواردها بجودة خدمة مقبولة .

وفي الشبكات الخليوية، تؤدي سعة النظام الكبيرة دوراً كبيراً في تحسين نوعية الخدمة خلال عمليات الاتصال بين المستخدمين، وبما أن زيادة سعة النظام هي الأساس لتحسين جودة الخدمة بالنسبة للمستخدمين فقد تم من خلال [11] دراسة بعض الطرق التي يمكن استخدامها لتحسين سعة النظام في الشبكة الخليوية التي لا تقتصر على القفز الترددي، والتحكم في الطاقة، و microcells ، وبرامج الترميز ، وإدخال هوائيات تكيفية في المحطة القاعدية .

تم في [12] دراسة امكانية استخدام وصلات D2D مع نظام تعدد الإرسال بتقسيم التردد المتعامد OFDM مع الحفاظ على مستويات محددة للتداخل .

٤- تحليل وتصميم الشبكة المدروسة

تتكون الشبكة المدروسة من خلية مفردة ، وفيها مستخدم خلوي وزوج D2D كما يظهر في الشكل (2) حيث تم التركيز على تقاسم الموارد بين الشبكة الخليوية-3GPP LTE وشبكة الاتصالات D2Dالمضمنة معها [9] .



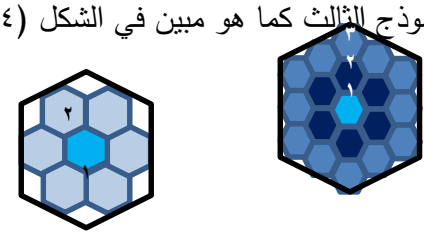
الشكل (2) نموذج لنظام اتصالات D2D ضمن شبكة خلوية

في النموذج المقترح، سيتم تقسيم الخلية المفردة إلى حلقات متعددة بحيث تتكون كل حلقة من خلايا صغيرة متعددة حيث تم استخدام ثلاثة أنماط مع هذا النموذج كما هو مبين في الشكل (3) والشكل (4).

يحتوي النمط الأول على حلقتين، والنمط الثاني على ثلاث حلقات [13]، والنمط الثالث المقترح على أربعة حلقات ، ثم نحدد عدد الخلايا الصغيرة الموجودة في كل نمط وتصميم طريقة تخصيص الموارد لكل نمط، وللاعتبارات المذكورة سابقاً عن أهمية زيادة السعة كأساس لتحسين جودة الخدمة في الشبكة الخليوية ، فقد تم التركيز على حساب السعة في حالتين : الأولى تعدد الارسال بتقسيم التردد المتعامد OFDM المعتمد في نظام LTE مع اتصالات D2D وفي الحالة الثانية تم حساب السعة لنظام OFDM بدون اتصالات D2D .

وبما أن الهدف هو تحسين جودة الخدمة في الشبكة الخليوية عن طريق زيادة السعة ، فقد تم التركيز على حساب سعة النظام مع نمط تعدد الإرسال بتقسيم التردد المتعامد OFDM المعتمد في نظام LTE مع اتصالات D2D وبدونها .

يتم تقسيم خلية واحدة إلى حلقتين في النموذج الأول وثلاث حلقات في النموذج الثاني وأربع حلقات في النموذج الثالث كما هو مبين في الشكل (٤).

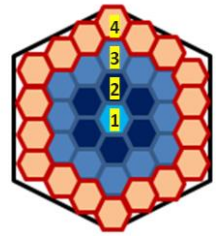


الشكل (3) تقسيم الخلية إلى حلقتين وثلاث حلقات [14]

في نموذج الحلقتين، يتم تواصل المستخدمون في الحلقة ١ عن طريق ال BS و في الحلقة٢ عن طريق الاتصال D2D.

بالنسبة لنموذج الثلاث حلقات في الحلقة١ والحلقة٢ يتم استخدام BS للاتصال و في الحلقة٣ يتم استخدام اتصالات D2D[13].

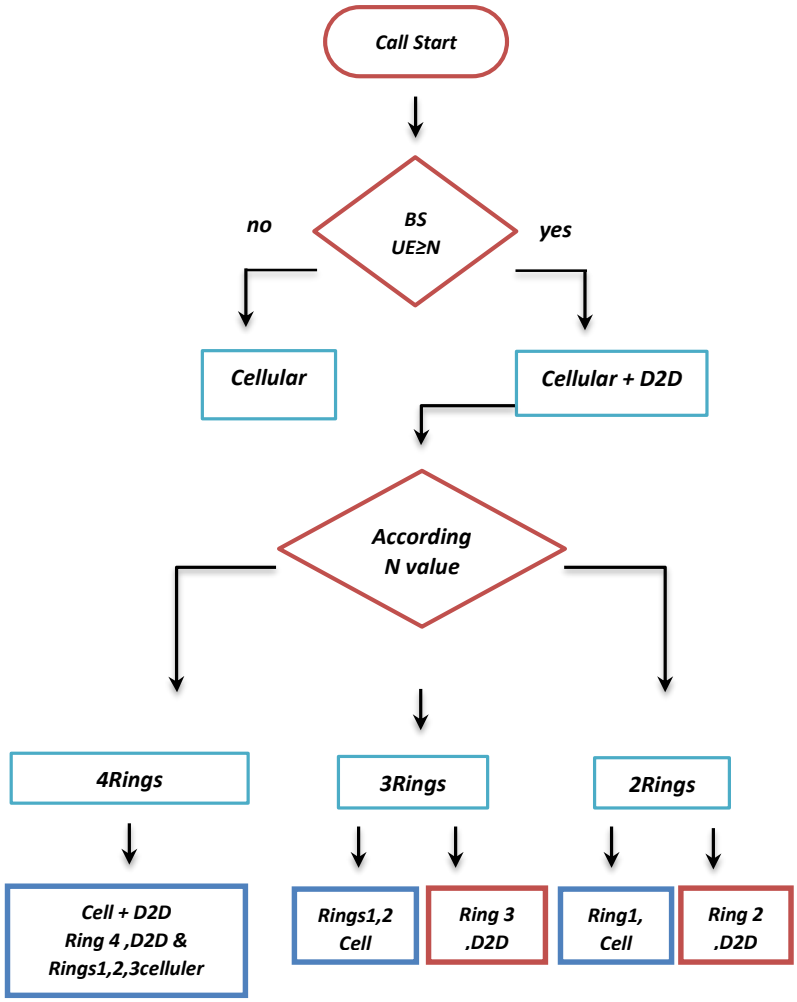
أما في النموذج المقترح نقوم بتقسيم الخلية إلى أربع حلقات بحيث يمكن أن نستخدم نمطي الاتصال ونحصل على M=18 خلية جزئية (الخليوي و D2D) .



الشكل (4) تقسيم الخلية إلى أربع حلقات

يوضح الشكل (4) الحصول على أربعة حلقات حسب النمط المقترح وهو ما يقسم الخلية إلى M=18 خلية جزئية يمكن توزيع الموارد الراديوية بينها وبالتالي إعادة تخصيص الموارد وزيادة سعة الخلية ورفع مستوى الفاعلية الطيفية فيها .

يمكن توضيح عمل الخوارزمية المقترحة من خلال المخطط المبين في الشكل (٥) :



الشكل (5) المخطط الصندوقي لمراحل عمل الخوارزمية المقترحة

حساب السعة Capacity calculation

تعطى علاقة شانون لحساب السعة كما في المعادلة (1) حيث تكون c هي سعة الشبكة، B هي عرض النطاق الترددي .

$$C = B\ log_2(1 + SNR) \quad (1)$$

حيث SNR نسبة الإشارة إلى الضجيج و التي تعطى على النحو:

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \quad (2)$$

نقوم بحساب سعة السيناريوهات القائمة على OFDM ، كما هو مبين في المعادلة(3) [15]

$$C = \left(1 - \frac{\Delta}{T_S}\right) * B * log_2\left(1 + \frac{\rho}{\rho * f + 1}\right) \quad (3)$$

في المعادلة (3) نجد، Δهي البادئة الدورية ، Tsهي مدة رمز OFDM ، ρهي SINRعندما تستقبل كل السعة على مسار واحد ولا يوجد تداخل من خلايا أخرى و f هي نسبة إشارة الخلية المجاورة على إشارة الخلية المدروسة (سوية التداخل في الأقنية المتجاورة).

وتكون السعة بالنسبة إلى OFDM، على النحو التالي:

حساب سعة الشبكة الخليوية فقط كما هو موضح في المعادلة (4)، وتحسب السعة في الشبكة الخليوية مع D2D في المعادلة (5) [16].

$$C = B(1 - CP)log_2\left(1 + \frac{SNR_{cell}}{SNR_{cell} * f + 1}\right) \quad (4)$$

$$C = (1 - a)B(1 - CP)log_2\left(1 + \frac{SNR_{cell}}{SNR_{cell} * f + 1}\right) + MaB\ log_2\left(1 + \frac{SNR_{d2d}}{SNR_{d2d} * f + 1}\right) \quad (5)$$

نأخذ بعين الاعتبار كل الحالات، أي خلية واحدة تنقسم إلى حلقتين وثلاث حلقات وأربع حلقات على التوالي .

حيث a النسبة المئوية لعرض المجال الترددي المخصص لـ UE_{D2D}

B عرض المجال الترددي الإجمالي

N عدد إجمالي المستخدمين UE.

M هو عدد الخلايا الصغيرة

وقد تم حساب السعة في حالتين.

الأولى هي السعة عندما يستخدم جميع المستخدمين الشبكة الخليوية.

الثانية هي عندما يستخدم جزء من المستخدمين الاتصالات الخليوية بينما يستخدم البقية الاتصالات D2D وذلك تبعاً لتوزعهم في حلقات الخلية.

حساب الفاعلية الطيفية Spectral efficiency calculation [14]

يمكن تعريف الفعالية الطيفية أو فعالية عرض الحزمة بمعدل نقل المعطيات في واحدة عرض الحزمة المحجوز.

Spectral efficiency = net data rate in bps / Channel Bandwidth in Hz

$$\eta_s = \frac{R_s H}{B} \left[\frac{bits/s}{Hz}\right] \qquad (10)$$

حيث :

R_s معدل الرموز .

H الأنتروبية المتضمنة الرمز ، وهي متوسط كمية المعلومات في الرمز الواحد .

B عرض الحزمة المحجوز.

وفي حالة استخدام تعديل M–ary تعطى قيمة H بالعلاقة $H = log_2 M$ وواحدتها $[\frac{bits}{symbol}]$

٣- المحاكاة

يبين الجدول (١) محددات المحاكاة لكل السيناريوهات المعتمدة في تقنية OFDM.

الجدول (١) أهم البارامترات المستخدمة في المحاكاة

Parameter	Symbol	Value
Bandwidth	B	10 MHz

Range of cell signal – low	f	0.2
Range of cell signal – high	f	0.8
Number of D2D cell in case 1	M	6
Number of D2D cell in case 2	M	11.875
Number of D2D cell in case ٣	M	١٨
Percentage of dedicated BW for D2D	a	0.1
Cyclic prefix percentage	CP	0.05
SNR of cellular users	SNR_{cell}	0 to 10
SNR of D2D users	SNR_{d2d}	10 to 20

حيث تتغير قيمة Mوالمعبرة عن الخلايا الجزئية التي من الممكن أن تعيد تخصيص الموارد اعتماداً على اتصالات D2D .

بعد ذلك تم إجراء المحاكاة ورسم المنحنيات المعبرة عن الفاعلية الطيفية بدلالة النسبة SNR، باعتبار أن السيناريو ثنائي الحلقة له عدد مختلف من D2D UE عن السيناريو الثلاثي الحلقة وكذلك عن رباعي الحلقات.

بالنسبة للبارامتر f (سوية التداخل في الأقنية المتجاورة) و حيث أن اتصالات D2D يمكن تصنيفها في الشبكة الخلوية إلى كل من Inband D2D و Outband D2D بناءً على الطيف الذي تحدث فيه اتصالات D2D .

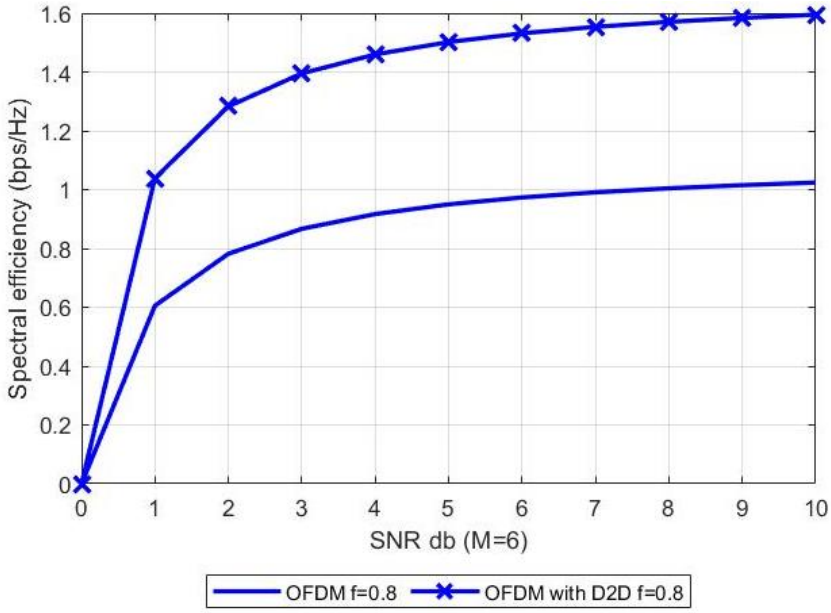
- تقنية Inband D2D تعمل ضمن المجال الترددي للخلية ذات ميزة العمل تحت تحكم وإشراف المحطة القاعدية ولكن يمكن هنا أن يحدث تداخل ضمن الأقنية المتجاورة ونعتبر ان قيمة مؤشر التداخل مرتفعة وتعطى $f=0.8$.
- تقنية OutbandD2D تعمل على ترددات خارج المجال الترددي للخلية وهنا تتميز بمستوى تداخل منخفض ضمن الاقنية المتجاورة ونعتبر ان قيمة مؤشر التداخل منخفضة وتعطى$f=0.2$.

ولإتمام المقارنة تم حساب السعة من أجل نظام OFDM مع D2D عندما يكون $f=0.8$, $f=0.2$ ومن ثم حساب الفاعلية الطيفية .

وبينت النتائج أن الفاعلية الطيفية تزداد مع تزايد SNRعموماً من أجل قيم f ,$f=0.8$ $=0.2$.

أيضاً تحسن واضح للفاعلية الطيفية وفق النمط (OFDM + D2D) مقارنة مع OFDM منفردة، بسبب إعادة استخدام الموارد من أجل الاتصال D2D في جميع خلايا D2D حيث يتم تحرير BS ومواردها المشاركة في عملية الاتصال .

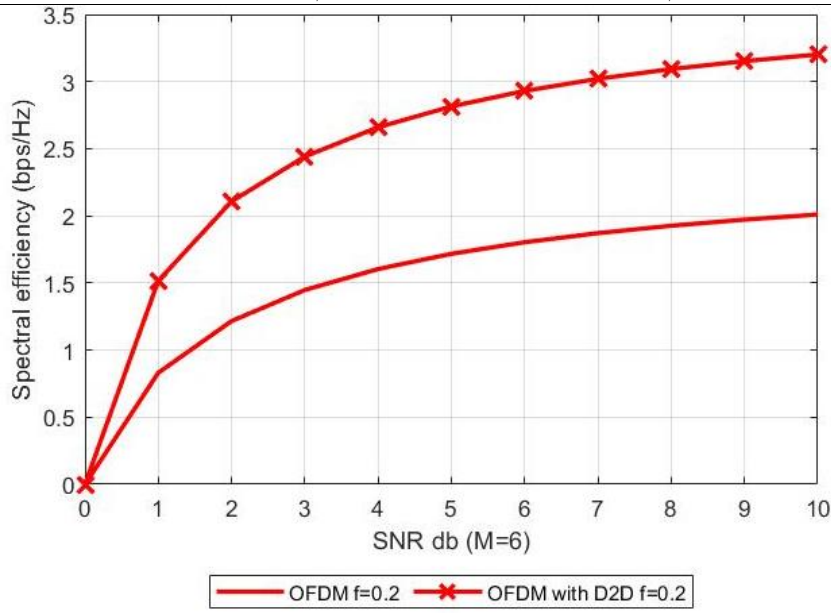
يبين الشكل (٦) أن الفاعلية الطيفية في نموذج الحلقتين تتزايد مع تزايد قيمة SNR .



الشكل (6) الفاعلية الطيفية في حالة استخدام D2D وبدونها من أجل نموذج الحلقتين

$f=0.8$

يبين الشكل (٧) حساب الفاعلية الطيفية في نموذج الحلقتين حيث أنها تتزايد مع تزايد قيمة SNR في حالة التداخل المنخفض حيث تحسنت مقارنة مع قيمة التداخل المرتفع .



الشكل (7) الفاعلية الطيفية في حالة استخدام D2D وبدونها من أجل نموذج الحلقتين $f=0.2$

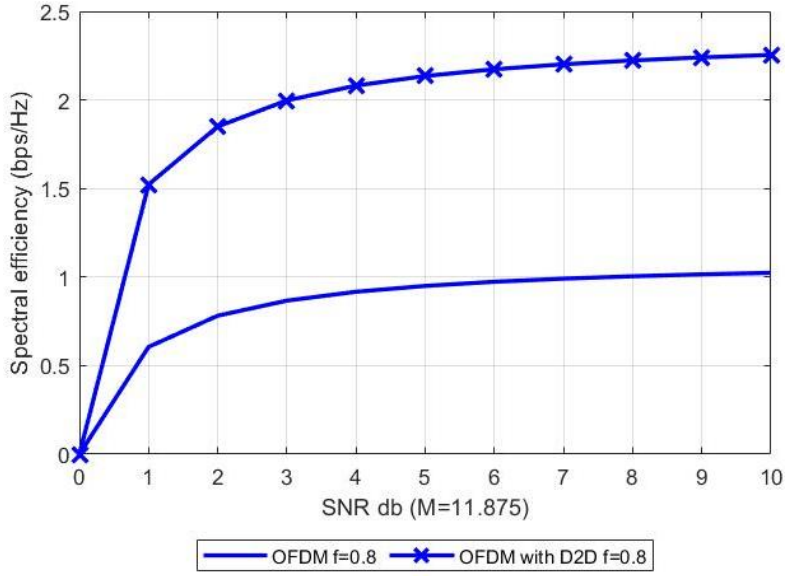
تتحسن الفاعلية الطيفية عموماً مع زيادة SNR في الحالتين مع D2D وبدونها ويبين الشكل (7) أن زيادة f (زيادة مستويات التداخل) يؤدي إلى تناقص واضح في الفاعلية الطيفية.

يتم استخدام BS لاكتشاف الأجهزة وللاتصال و بمجرد اتصال D2D UEs يتم تأمين موارد إضافية لل BS وبالتالي يمكن تأمين اتصالات UEs أخرى و استخدام الموارد المتوفرة .

تم في المرحلة اللاحقة إعادة حساب الفاعلية الطيفية لنمط الثلاث حلقات ، وتمت مقارنة الأداء من أجل حالة OFDM و حالة D2D+OFDM في كلتا حالتي $f=0.8$, و $f=0.2$.

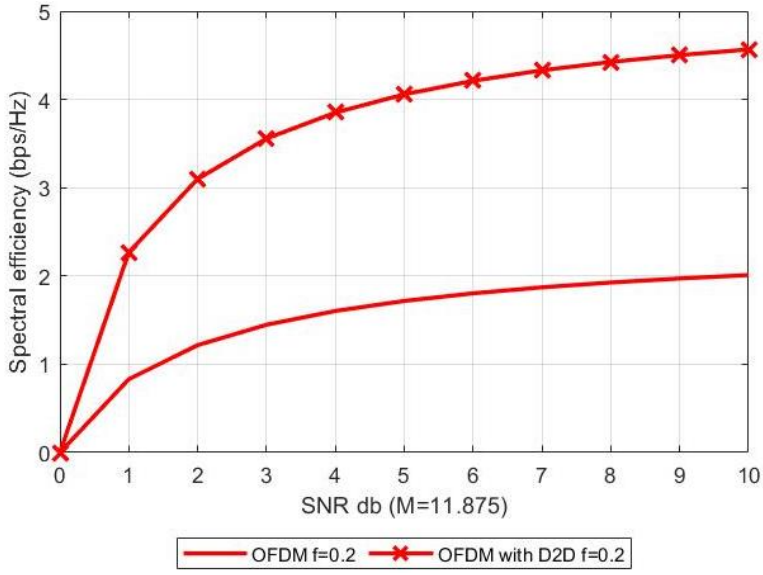
وكانت نتائج المحاكاة كما يبين الشكل (8) ,والشكل (9)تحسن كبير في الفاعلية الطيفية للنظام عند استخدام D2D ويظهر التحسن واضحاً من أجل قيم f المنخفضة .

الشكل (8) يبين نموذج الثلاث حلقات الذي يوضح تزايد الفاعلية الطيفية مع تزايد قيمة SINRمع الأخذ بالاعتبار حالة التداخل المرتفع .



الشكل (8) الفاعلية الطيفية للنظام OFDM مع D2D وبدونه في حالة نموذج ثلاث حلقاتf=0.8

الشكل (٩) يبين نموذج الثلاث حلقات الذي يوضح تزايد الفاعلية الطيفية مع تزايد قيمة SINRمع الأخذ بالاعتبار حالة التداخل المنخفض .



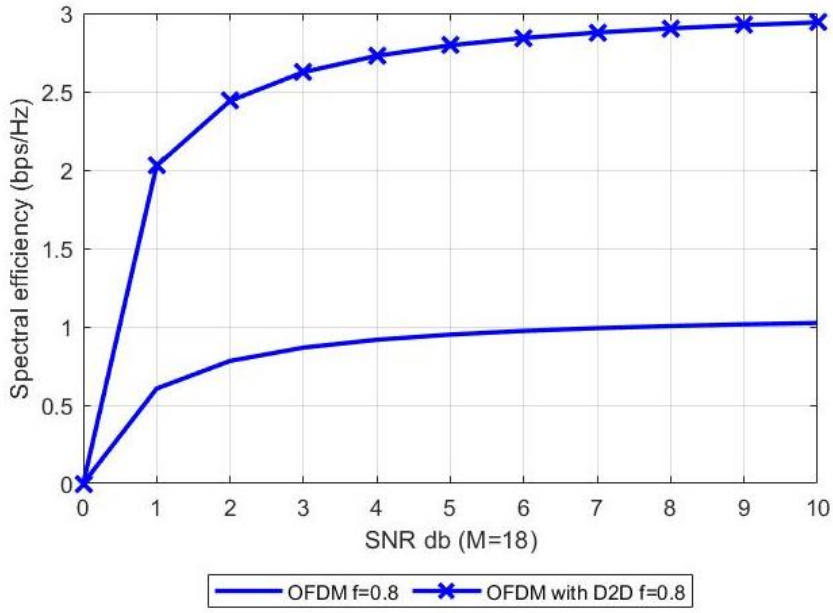
الشكل (9) الفاعلية الطيفية للنظام OFDM مع D2D وبدونه في حالة نموذج ثلاث حلقات$f=0.2$

بمقارنة نموذج الثلاث حلقات (حيث عدد الخلايا $M \cong 12$) نجد تزايد الفعالية الطيفية بمقدار 24% مقارنة مع نموذج الحلقتين (حيث $M \cong 6$) .

تبين النتائج أنه من أجل حالة ثلاثة حلقات تتزايد الفاعلية الطيفية حوالي الضعف في حالة استخدام D2D + OFDM عما هو عليه في حالة OFDM فقط .

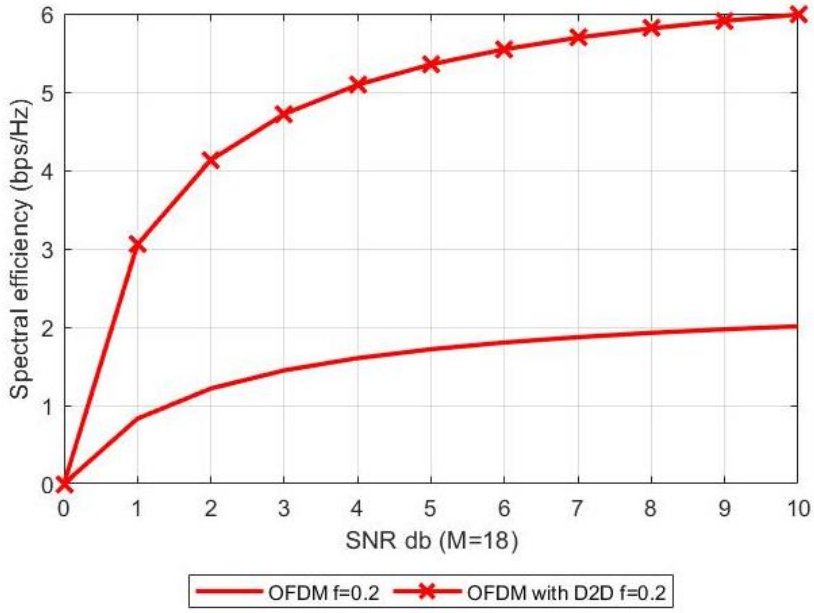
أخيراً تم حساب الفاعلية الطيفية من أجل حالة الأربع حلقات حيث عدد الخلايا (M=18).

يبين الشكل (11)، تزايد ملحوظ في الفاعلية الطيفية للنظام عند استخدام D2D وتزايد الفاعلية الطيفية أيضا مع تناقص قيمة f (المعبرة عن سوية التداخل في الأقنية المجاورة) مقارنة مع قيمة التداخل المرتفعة في الشكل (10).



الشكل (10) الفاعلية الطيفية للنظام OFDM مع D2D وبدونه في حالة نموذج أربع حلقات $f=0.8$

يبين الشكل (11) حساب الفاعلية الطيفية في نموذج الأربع حلقات حيث أنها تتزايد مع تزايد قيمة SNR في حالة التداخل المنخفض حيث تحسنت مقارنة مع قيمة التداخل المرتفع .



الشكل (١١) الفاعلية الطيفية للنظام OFDM مع D2D وبدونه في حالة نموذج أربع حلقات$f=0.2$

تتزايد الفاعلية الطيفية في نموذج الأربع حلقات (حيث $M = 18$ عدد الخلايا) مقارنة مع نموذج الثلاث حلقات (حيث $M \cong 12$ عدد الخلايا)

و نموذج الحلقتين (حيث $M \cong 6$).

حيث بينت النتائج زيادة الفاعلية الطيفية بمقدار 23% عند مقارنة نموذج الأربع حلقات لحالة D2D + OFDM عما هو عليه في الثلاث حلقات

٤- النتائج

تم دراسة الفاعلية الطيفية بناءً على سعة نظام LTE الذي يستخدم نظام OFDM مع تقنية D2D باستخدام خوارزمية مطورة لتخصيص الموارد المعتمدة على تقسيم الخلية لمجموعة حلقات حيث تخصص الحلقات القريبة من المحطة للاتصالات الخليوية والبعيدة عن المحطة لاتصالات D2D مما سمح بزيادة إعادة استخدام الموارد بصورة أكثر فاعلية.

وبينت النتائج زيادة الفاعلية الطيفية للنظام عند استخدام D2D عما هو بدون استخدامها، كما وبينت النتائج فعالية الخوارزمية المقترحة حيث أظهرت الدراسة:

تزايد الفاعلية الطيفية 50% في حالة استخدام OFDM+D2D مقارنة باستخدام OFDM فقط في الأنماط المدروسة وتصل إلى 60% في النمط المقترح.

٧- المراجع :

[1] On ASER analysis of energy efficient modulation schemes for a device-to-device MIMO relay network S Parvez, PK Singya, V

Bhatia - IEEE Access, 2019 - ieeexplore.ieee.org

[2] Energy-Efficient Device-to-Device Communications for Green Smart

Cities, IEEE Transactions on Industrial Informatics (Volume: 14, Issue: 4, April 2018)

[3] Interference-aware channel assignment and power allocation for

device-to-device communication underlaying cellular network, ABV-

Indian Institute of Information Technology and Management, Gwalior, India, Received 14 April 2019, Accepted 21 September 2019

[4] B. Wang, L. Chen, X. Chen, X. Zhang and D. Yang, "Resource

Allocation Optimization for Device-to- Device Communication Underlaying Cellular Networks", 2016 - ieeexplore.ieee.org

[5] Optimal duplex mode selection for D2D-aided underlaying cellular

networks C Du, Z Zhang, X Wang, J An - IEEE Transactions on

Vehicular ..., 2020 - ieeexplore.ieee.org .

[6] Sohrab Alam, Ashish Mittal, Mohd Gulman Siddiqui "Capacity

Improvement by Cell Splitting Technique in CDMA System over

Telecommunication Network" Department of Electronics & Communication Engineering, (A.S.E.T.), Amity University, Noida,

Uttar Pradesh, India 2017.

[7] A Survey of Device to Device and Cooperative Communication for

the Future Cellular Networks International Journal of Wireless Information Networks volume 27, pages411–432 (2020).

[8] Intensive Benchmarking of D2D communication over 5G cellular

Networks: prototype, integrated features, challenges, and main

Applications Wireless Networks volume 26, Published: 09 September

2019 .

[9] Resource Allocation for Device-to-Device (D2D) Communications of

Uplink Multi-Cell Networks, Conference: 2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)

October 2020

[10] Task scheduling, resource provisioning, and load balancing on

Scientific workflows using parallel SARSA reinforcement learning

Agents and genetic algorithm The Journal of

Supercomputing volume 77, pages2800–2828 (2021)

[11] Spatial Methods for Increasing the Bandwidth of a Mobile Information Network. Published in: 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)

[12] Resource and Power Allocation for OFDM-Based Device-to-Device Communications in a Multicell Environment , Journal of Communications Technology and Electronics volume 65, pages532–540 (2020)

[13] Evaluation of model to enhance resource allocated for Device-to-Device Communication in cellular Networks – resource capacity analysis" Submitted by NDAGIJIMANA Adonia College of Science and Technology - School of Information and Communication Technology (SoICT) -June 2016

[14] A New Relation Between Energy Efficiency and Spectral Efficiency in Wireless Communications Systems, Montreal, Canada. DOI: 10.1109/MWC.2019.1800161

[15] Arash Asadi, Qing Wang and Vincenzo Mancuso “A Survey on Device-

to-Device Communication in Cellular Networks”, *Student Member,*

IEEE.2015

[16] C. H. Yu, K. Doppler, C. B. Ribeiro and O. Tirkkonen, “Resource Sharing

Optimization for Device-to-Device Communication Underlaying

Cellular Networks”, *IEEE Transactions on Wireless Communication*,

Vol. 10, No.8, AUG, 2017

تكامل طاقة الرياح مع الشبكة واستخدام برنامج الاستجابة للطلب لتحقيق موثوقية التوليد الأمثل

الدكتور غسان ابراهيم

ملخص

يهدف البحث للتعرف على النهج الأمثل لعمل محطات توليد الطاقة بوجود موارد الطاقة المتجددة، مثل الرياح وذلك باستخدام استراتيجية الاستجابة للطلب. يأخذ النهج المقترح في الاعتبار التأثيرات الهامة لموارد تخزين الطاقة وبرنامج الاستجابة للطلب لجميع أنواع الأحمال ، بما في ذلك الأحمال الصناعية والتجارية. تناولت هذه الدراسة سبعة أنواع من الأحمال: السكنية والصناعية والتجارية وكبار المستخدمين والمكاتب والزراعة والحكومة. باستخدام برنامج الماتلاب تم تصميم كود يمثل تطبيق استراتيجية الطلب وإدخال الطاقة الريحية للمشاركة في تغذية الأحمال وتم رسم منحنيات الحمل للقطاعات السبعة من أجل المقارنة بين حالة توزع الحمل وتكوّن الذروة قبل تطبيق استراتيجية الاستجابة للطلب وبعد تطبيق هذه الاستراتيجية مع إدخال طاقة الرياح للمشاركة في تلبية الطلب على الحمل.

الكلمات المفتاحية: الذّروة، الأحمال، الرياح، الاستجابة للطلب، استقرار الشبكة.

Wind power integration with the grid and use of demand response to achieve optimal generation reliability

The main objective of the research is to identify the optimal approach for generating power plants in the presence of renewable energy resources, such as wind, using demand response strategy. The proposed approach takes into account the significant effects of energy storage resources and demand response program for all demand loads, including industrial and commercial loads. This study considered seven types of loads: residential, industrial, commercial, large users, offices, agriculture, and government. Using MATLAB, a code is designed to represent the application of demand strategy and the introduction of wind energy to participate in feeding the loads. The load curves for the seven sectors are drawn to compare the load distribution and peak formation status before applying the demand response strategy and after applying this strategy with the introduction of wind energy to participate in meeting the load demand.

Keywords: Peak, Loads, Wind, Demand Response, Grid Stability.

مقدمة:

يجمع العالم تقريباً على أنّه يمكن تحقيق نظام الطّاقة المستدامة من خلال دمج طاقة الرّياح في الشبكات الكهربائية بسبب ميزاتها الأساسية المتمثّلة في عدم انبعاث الكربون وتأمين الإمدادات غير المحدودة تقريباً. ومع ذلك يجب أن ترفد مزارع الرياح الشبكة بالطاقة، بحيث تكون تكاليف توليد الطاقة مساوية أو أرخص من الأساليب الحاليّة للتّوليد، لكي يكون تكاملها مجديًا اقتصاديًا. ومع ذلك، فإنّ الطبيعة المتقطّعة لطاقة الرياح تشكّل خطراً محتملاً على موثوقيّة أنظمة الطّاقة. لذا يعدّ تشغيل النظام بظروف آمنة منخفضة التكلفة أحد أهم الأغراض الأساسية لمشغّلي أنظمة الطاقة، حيث يبحث الباحثون في العديد من التقنيات التي يمكن أن تسهّل التكامل السّلس لطاقة الرياح دون المساس بموثوقية أنظمة الطاقة. ومن خلال تعزيز مزارع الرياح بأنظمة التخزين كالبطاريات، يتم توفير حل بسيط لتقليل هذه المخاطر. أثبتت العديد من الدراسات التي بحثت في استخدام أنظمة الطاقة أنّها يمكن أن تحسن تكامل مصادر الطّاقة المتجدّدة (RES) وتساعد في تخفيف الضّغط عن الشبكات. قد يتأثر الجهد والتيار في النظام بإضافة طاقة الرياح، مما قد يكون له تأثيرات ضارّة إضافيّة. كما أنّ انخفاض العطالة النّاتج عن إضافة مصادر الطّاقة المتجددة يزيد من الحاجة إلى احتياطيات الأحمال، مما يؤدي في النهاية إلى رفع تكاليف التشغيل[1]. عادةً ما تتواجد مصادر الطاقة المتجددة في مواقع جغرافية نائية نتيجة اعتمادها على الظروف المناخية. ونتيجة للقدرة المحدودة لخطوط النقل والقيود الحرارية القريبة لشبكات الطاقة الحديثة، فإن دمج مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة يتطلب الكثير من العمل. ومن أجل النظر في التوليد المتغيّر للطاقة المتجددة، لا بدّ من تعديل الشبكات الحاليّة أو تحسينها وإنّ إنشاء خطوط نقل جديدة أو تحسين الخطوط الحالية يتطّلب استثمارات مالية كبيرة [2]. ولهذا السبب يعدّ استخدام أنظمة تخزين الطاقة (ESS) لتعزز عمل أنظمة الطاقة طريقة فعالة لتحسين استقرار شبكة الطاقة ومن خلال تخزين الفائض من الطاقة وإطلاقها عندما يكون هناك طلب مرتفع، توفر أنظمة تخزين الطاقة نهجًا ذكيّاً للتعامل مع اختلافات مخرجات الطاقة، والحفاظ على التّردد، وضمان استقرار الجهد، وتعزيز الجودة الشاملة لمصدر الطاقة. يعد تحسين إنتاج الطاقة، وتقليل ذروة الحمل ، وتعزيز الجهد والتردد، من المزايا الإضافية لأنظمة تخزين الطاقة [3]. ومن خلال تضمين أنظمة تخزين الطاقة، يتم ضمان توفير الكهرباء دون انقطاع للعملاء وتجنب

الانقطاعات. يشير مفهوم استجابة الطلب إلى مجموعة من الاستراتيجيات التي تعمل مع المرافق الكهربائية لتغيير طريقة استخدام المستهلكين للطاقة وإفادة كلا الطرفين [4]. تقدم استراتيجية (استجابة الطلب) العديد من الفوائد، مثل تقليل تكاليف التشغيل للمرافق والمستهلكين، وزيادة موثوقية نظام الطاقة، وتقليل أحمال الذروة، وتقليل الضغط على الشبكة. من أجل إنشاء أنظمة طاقة مستدامة تعتبر أنظمة (استجابة الطلب) و(أنظمة تخزين الطاقة) مكونين أساسيين فعند استخدامهما، يتم تقليل تكرار ومدة الانقطاعات، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في موثوقية نظام الطاقة [5] . من خلال طريقة استجابة الطلب يمكن خفض أحمال الذروة بشكل فعال، ومن الممكن تخزين مصادر الطاقة المتجددة خارج ساعات الذروة وإطلاق تلك الطاقة المخزنة لتلبية الطلب في ذروة الطلب عن طريق تحديد موقع تخزين الطاقة بعناية [6]. بفضل طريقة (استجابة الطلب) يصبح نظام الطاقة أكثر تطوّراً وقدرة على التعامل مع تغيرات الحمولة[7] .

تعمل استراتيجية استجابة الطلب على موازنة التوليد والحمل في سياق التوليد الموزع مع الأخذ في الاعتبار السلوك غير المتوقع للأحمال والتحكم في مدى جودة نظام الطاقة والذي يستخدم موارد طاقة الرياح والطاقة الشمسية. تتمثل الخطوة الأولى في العملية التحليلية ضمن استراتيجية استجابة الطلب لتقييم النظام هي اقتراح نموذج احتمالي يعتمد على هيكل النظام ووظيفته. ثم يتم حساب العديد من المؤشرات عن طريق حل هذه النماذج باستخدام العمليات التكرارية. يستخدم هذا النوع من التحليل السكاني والتقريبي ويتضمن التعداد. يتم تقييم نموذج المخاطر من خلال دمج نموذج التعداد مع نموذج الحمل ودراسة جانبين رئيسيين: طريقة "توقع فقدان الحمل"، والتي تقيم احتمالية تجاوز الطلب على الكهرباء على أساس إجمالي قدرة التوليد، وطريقة نهج "التكرار والمدة"، الذي يحلل احتمالية ومدة الاضطراب أو الانقطاع ويمكن استخدام الكثير من الخوارزميات لتحقيق ذلك مثل طريقة سرب الجزيئات [8]، والخوارزمية الجينية [9].

الهدف من البحث:

تطرح هذه الدراسة النهج الأمثل لتوليد محطات الطاقة في ظل وجود موارد الطاقة المتجددة، مثل الرياح باستخدام استراتيجية الاستجابة للطلب. يأخذ النهج المقترح في الاعتبار التأثيرات الهامة لموارد تخزين الطاقة وبرنامج الاستجابة للطلب لجميع أحمال الطلب، بما في ذلك الأحمال الصناعية والتجارية. تهدف هذه الدراسة لتطبيق استراتيجية الاستجابة للطلب على سبعة أنواع من الأحمال: السكنية والصناعية والتجارية وكبار المستخدمين والمكاتب والزراعة والحكومة، واستخراج منحنيات الأحمال لهذه الأنواع قبل تطبيق الاستجابة للطلب وبعدها، والتعرف على أثر استراتيجية الاستجابة للطلب مع إدخال الطاقة الريحية للمشاركة في تغذية الحمولة.

الدراسات السابقة:

دراسة [10] المنشورة عام (2019)، بيّنت أنّ المستهلكين يستجيبون لسعر الكهرباء ويغيّرون نمط استهلاكهم الأساسي للطّاقة وفقاً لذلك من أجل الحصول على فوائد إضافيّة. ومع تطوّر أنظمة الطّاقة المتنوعة (الكهربائيّة والحرارة، والغاز الطبيعي،...) حيث أصبح المستهلكين قادرين على المشاركة في الاستجابة للطلب وهذا ما سُمّي بالاستجابة المتكاملة للطّلب (Integrated Demand response). وبينت الدراسة أنّه يمكن للمستهلك الاستجابة ليس فقط من خلال تقليل استهلاك الطاقة أو الاستهلاك خارج أوقات الذّروة وإنما من خلال تغيير نوعيّة الطّاقة المستهلكة.

دراسة [11] المنشورة عام (2021) أكّدت على أنّ تزايد الاستجابة للطّلب من قبل المستهلكين المنزليين والصّناعيين وغيرها من القطّاعات يؤمّن مرونة في أنظمة الطّاقة المتجدّدة. ولكن مازال مفهوم الاستجابة للطلب محدود الاستخدام، واختبرت الدّراسة الإمكانيّات الاقتصادية المستقبليّة للاستجابة للطّلب في منطقة الشمال الأوروبي الغنيّة بمصادر الطّاقة المتجدّدة.

دراسة [12] المنشورة عام (2020) اقترحت مجموعة من محدّدات الاستجابة للطلب كأوقات التشغيل وأوقات التّوقف، وعدد مرّات الإقلاع في اليوم، وحدود الطاقة المسموح بها وفترات الاسترداد المطلوبة. تمّ اختبار الاستجابة

للطلب وفق المحددات المذكورة باستخدام بيانات أحمال في الهند، وتبين أن استجابة الطلب تقلل من تكاليف الإنتاج من خلال استبدال المولّدات الحرارية ذات التكلفة العالية بمصادر الطاقة المتجددة.

الاستجابة للطلب:

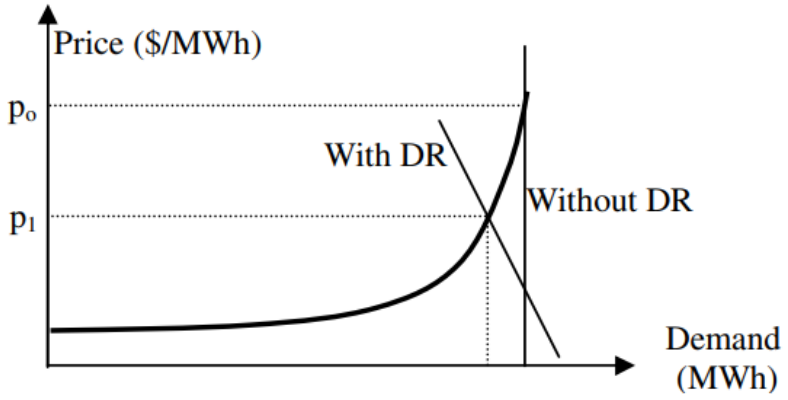
تشير طريقة الاستجابة للطلب (Dynamic Response) إلى مجموعة متنوعة من الأساليب لتغيير كمية وتوقيت استخدام الكهرباء للمستهلكين، مما يسمح لمورد الكهرباء بموازنة العرض والطلب على الكهرباء بسهولة أكبر. هناك عوامل رئيسية مشتركة تشترك فيها العديد من برامج الاستجابة للطلب الناجحة. وتشمل هذه العوامل ما يلي [١٠]:

١. تقليل القيود التي تحول دون دخول المشاركين المحتملين.
٢. منهجية التعويض التي تشجع على المشاركة.
٣. الثقة في وجود ما يكفي من استجابة الطلب خلال ساعات الذروة لتجنب بناء وحدات توليد جديدة.

يجب أن يتم توليد الكهرباء في الوقت الذي تكون فيه هناك حاجة إليها لتلبية متطلبات جميع المستهلكين بشكل موثوق. فعندما يقوم الفرد بتشغيل مكيف الهواء في المنزل أو عندما يتم تشغيل تجهيزات في المصنع، يتوقع المستهلكين أن تبدأ أجهزتهم بالعمل على الفور من خلال أنظمة تخزين الطاقة. وبالرغم من ذلك، هناك صعوبة في تخزين الكهرباء بفعالية وكفاءة بكميات كبيرة لتلبية هذا الطلب بالشكل الفوري. يتطلب ضمان توصيل الكهرباء بشكل موثوق على نطاق الشبكة جهودًا مستمرة وفورية لمطابقة العرض من موارد توليد الطاقة مع الطلب المتقلب باستمرار من المستهلكين السكنيين والتجاريين والصناعيين. ويتم تحقيق ذلك باستخدام مجموعة متنوعة من تقنيات توليد الطاقة القابلة للتوزيع السريع مثل محركات الديزل وتوربينات الغاز. وقد أدى الانتشار الأخير لتقنيات توليد الطاقة المتجددة المتغيرة مثل الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتوربينات الرياح إلى زيادة التحديات المتمثلة في تحقيق التوازن بين العرض والطلب على الكهرباء للمستهلكين.

فوائد الاستجابة للطلب:

إنّ برامج الاستجابة للطلب تحسّن أداء السوق الكهربائي، وإنّ المشاركين في برامج الاستجابة للطّلب لديهم خيارات متنوعة حتى عندما لا تكون منافسة البيع بالتجزئة متاحة، ويمكن للمستهلكين إدارة استهلاكهم، وهذا ما يؤثّر على الأسعار وعلى البرامج المستخدمة. ويعدّ الأساس للكثير من المستخدمين لتأمين برامج الاستجابة للطّلب وخاصّة للمستهلكين من الدّرجة الكبيرة. يحسّن مبدأ الاستجابة للطلب تقلّبات الأسعار في السوق. وبيّنت إحصائيات حول أزمة الكهرباء في كاليفورنيا بين عاميّ (٢٠٠٠-٢٠٠١) أنّ الانخفاض الطفيف في الطلب بنسبة ٥% مثلاً يؤدّي إلى انخفاض الأسعار بنسبة ٥٠ % أثناء الأزمة. إن زيادة تكاليف التوليد بشكل مضاعف أثناء الاقتراب من سعة التّوليد العظمى، يجعل الاستجابة للطلب الحل الأمثل لتقليل هذه التكاليف، حيث أنّ التقليل في الطّلب يؤدي إلى حدوث انخفاض كبير في تكاليف التّوليد والذي بدوره يقلّل من سعر الكهرباء كما هو موضّح بالمخطط [14]:



الشكل ١ أثر استخدام الاستجابة للطلب على سعر الكهرباء

برنامج الاستجابة للطلب:

إن برنامج الاستجابة للطلب يغيّر الطلب على الحمل الذي يفوق النسبة المحدّدة لأحمال الذروة ويوزعها بشكل متساوي على الساعات خارج أوقات الذروة عندما يكون مستوى الحمل أقل من العتبة وفق التالي:

$$\overline{L(t)} = \begin{cases} P_k & t \epsilon \Omega \\ \left(L(t) + \frac{\sum_{t \epsilon \Omega}(L(t) - P_k}{N}\right) \leq P_k & t \epsilon \Psi \end{cases} \quad (1)$$

حيث $\overline{L(t)}$ و L(t) منحنيات الطلب على الحمولة الأصلية والمعدلة. P_k: النسبة المسموحة من الحمل الأعظمي،

Ω : مجموعة الساعات التي يكون فيها الحمل الأصلي يفوق P_k

$\boldsymbol{\Psi}$: مجموعة الساعات التي يكون فيها مستوى الحمل أدنى من P_k.

السطر الثاني من المعادلة يشير إلى أن استعادة الحمل يتم من خلال تحديد مستوى الحمل المستعاد إلى النسبة المسموحة P_k لتجنب تشكل ذرى جديدة. عندما تتشكّل ذرى جديدة فإنّه تتم إضافة الحمل المتبقّي فوق الذروة المحددة إلى الساعات التالية لتتم تنظيم كافة الأحمال المتبقية. تطبق معادلة الاستجابة للطّلب بشكل مستقلّ على كل قطاع حمولة، وهذا يعني أن إجراء تغيير الأحمال قابل للتعديل على كلّ قطّاع حمولة، وقد يختلف من قطّاع لآخر.

طاقة الرياح:

بعد الحصول على بيانات سرعة الرياح، يتم إدخالها إلى صيغ رياضية تجعلها قابلة للنمذجة وبالتالي الحصول على قيم طاقة رياح لاستخدامها في برنامج الاستجابة للطلب. تم استخدام صيغ ARMA autoregressive moving (average model) كونها قادرة على محاكاة عدد لانهائي من قيم سرعات الرياح، وحسبت الاستطاعات المطلوبة من خرج المزرعة الريحية بإهمال تذبذبات سرعة الرياح وفق التالي:

$$P_b^W = \begin{cases} 0 & 0 \le V_W < V_{ci} \\ (A + BV_W + CV_W^2)P_r & V_{ci} \le V_W < V_r \\ P_r & V_r \le V_W < V_{co} \\ 0 & V_W \ge V_{co} \end{cases} \qquad (2)$$

حيث P_r الاستطاعة الاسمية لمزرعة الرياح، V_{ci}، V_r، V_{co}، سرعة القطع والسرعة الاسمية، وسرعة الوصل بالترتيب وتم حساب A,B, C كما يلي:

$$A = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2}\left[V_{ci}(V_{ci}+V_r) - 4(V_{ci}V_r)\left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r}\right)^3\right] \qquad (٣)$$

$$B = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2}\left[4V_{ci}(V_{ci}+V_r)\left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r}\right)^3 - 3 - 4(V_{ci}+V_r)\right] \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{(V_{ci}-V_r)^2}\left[2 - 4\left(\frac{V_{ci}+V_r}{2V_r}\right)^3\right] \quad (5)$$

برنامج الإدخال الأمثل حسب استراتيجية الاستجابة للطلب:

يهدف البرنامج من أجل تأمين الإدخال الأمثل لوحدة الرياح وتنفيذ برنامج الاستجابة للطلب من خلال تقليل تكلفة تقليص الطاقة المتوقّع، باستثناء تكلفة نظام التوليد، وجدولة الحمولة المتوقعة الناتجة عن برنامج الاستجابة للطلب وتكاليف انبعاث الكربون المتوقع.

إنّ سعة التوليد لطاقة الرياح تساوي:

$$C_{wind}^{Gb} = C_{oil}^{GB}\,\alpha_{oil}^{GB} + C_{cl}^{GB}\alpha_{cl}^{GB} + C_{ncl}^{GB} + C_{hy}^{GB}\alpha_{hy}^{GB} \quad (6)$$

حيث C سعة التوليد بـ MW.

α نسبة الاستطاعة المولدة التي استبدلت بالطاقة الريحية وتقع النسبة بين ٠و ١.

GB : عدد باسبارات التوليد.

الدراسة العملية:

تم استخدام شبكة اختبار IEEE ذات ٢٤ قضيب تجميع، بالإضافة إلى بيانات التوليد والتحميل، لتوضيح أثر الاستراتيجية المقترحة. يحتوي نظام التوليد الأصلي لـ على ١٠ باسبارات، وجميعها مواقع مرشحة لاستضافة مزارع الرياح. تم أخذ عينات من بيانات سرعة الرياح التاريخية من ١٠ مواقع مختلفة في مركز تنمية المناطق الحضرية ووضع نماذج لها وفقًا لنموذج طاقة الرياح، والذي يتم استخدامه بعد ذلك لحساب إنتاج طاقة الرياح، واحدة لكل مزرعة من مزارع الرياح المحتملة.

الوقود	التقنية المستخدمة في التوليد	الباسبار	السعة
النفط	توربين الاحتراق	١	٤٠
		٢	٤٠
	توربين بخاري	٧	٣٠٠
		١٣	٥٩١
		١٥	٦٠
الفحم	توربين بخاري	١	١٥٢
		٢	١٥٢
		١٥	١٥٥
		١٦	١٥٥
		٢٣	٦٦٠
الماء الخفيف	بخار نووي	١٨	٤٠٠
		٢١	٤٠٠
الماء	توربين هيدروليكي	٢٢	٣٠٠

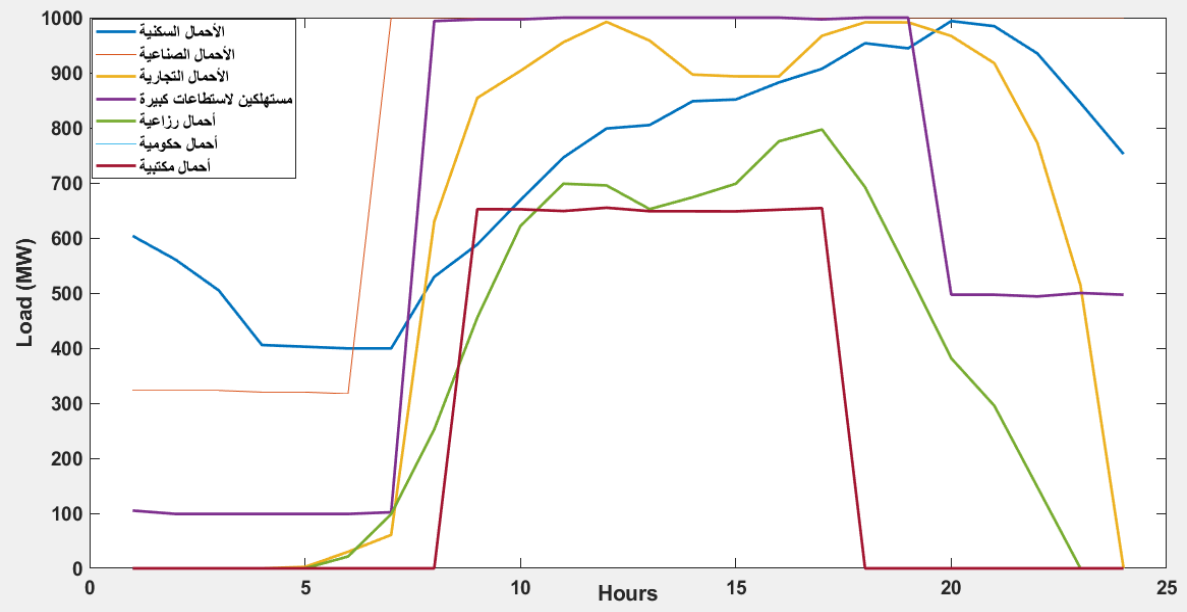
جدول ١ قيم الأحمال للقطاعات المختلفة

	السكنية	الصناعية	التجارية	الاستهلاكات الكبيرة	الزراعية	الحكومية	المكتبية
١	603.71	323	0	104.9	0	0	0
٢	560.37	323	0	98.8	0	0	0

٣	504.64	323	0	98.8	0	0	0
٤	405.57	320	0	98.8	0	0	0
٥	402.47	320	2.5445	98.8	0	0	0
٦	399.38	317	30.0927	98.8	21.5385	0	0
٧	399.38	1000	60.731	101.9	98.4615	0	0
٨	529.41	1000	629.748	993.8	252.308	0	0
٩	405.57	1000	854.263	996.9	455.385	652.168	652.168
١٠	402.47	1000	903.337	996.9	621.538	652.031	652.031
١١	399.38	1000	955.505	1000	698.462	648.803	648.803
١٢	399.38	1000	992.31	1000	695.385	654.859	654.859
١٣	529.41	1000	958.298	1000	652.308	648.531	648.531
١٤	588.23	1000	896.62	1000	673.846	648.399	648.399
١٥	668.73	1000	893.442	1000	698.462	648.267	648.267
١٦	746.13	1000	893.281	1000	775.385	651.213	651.213
١٧	798.76	1000	967.018	996.9	796.923	654.191	654.191
١٨	804.95	1000	991.555	1000	692.308	0	0
١٩	848.29	1000	991.459	1000	538.462	0	0
٢٠	851.39	1000	966.747	496.9	381.538	0	0
٢١	882.35	1000	917.351	496.9	295.385	0	0

٢٢	907.12	1000	772.6	493.8	147.692	0	0
٢٣	953.56	1000	513.995	500	0	0	0
٢٤	944.27	1000	0	496.9	0	0	0
٢٥	993.80						
٢٦	984.52						
٢٧	934.98						
٢٨	845.20						
٢٩	752.32						

تم تحويل البيانات السابقة والمعادلات من (١) إلى (6) إلى كود برمجي باستخدام بيئة الماتلاب الموضحة في الملحق، ومن خلالها حصلنا على النتائج التالية:

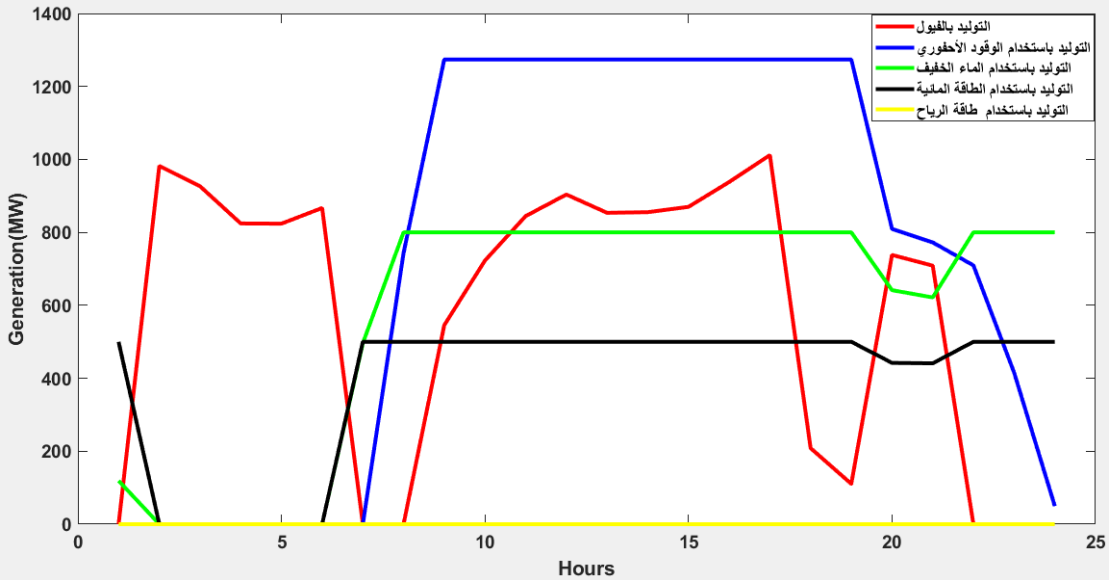


الشكل ٢ منحنيات الأحمال في مختلف القطاعات ليوم كامل

عادةً ما يصل الطلب على كل قطاع إلى ذروته ويظل مرتفعًا باستمرار خلال ساعات العمل العادية، تقريبًا من الساعة ٦ صباحًا حتى ٨ مساءً. ومن الجدير بالذكر أن القطاع السكني يظهر نمطًا أكثر استقرارًا، حيث يحافظ على مستوى ثابت نسبيًا على مدار اليوم مقارنة بالقطاعات الأخرى. يمكن أن يختلف اختيار أنماط قطاع الأحمال بناءً على بيانات استهلاك الكهرباء المجمعة، وستؤثر هذه التحديدات فقط على القيم الرقمية داخل المحاكاة.

- **بدون أنظمة التخزين:**

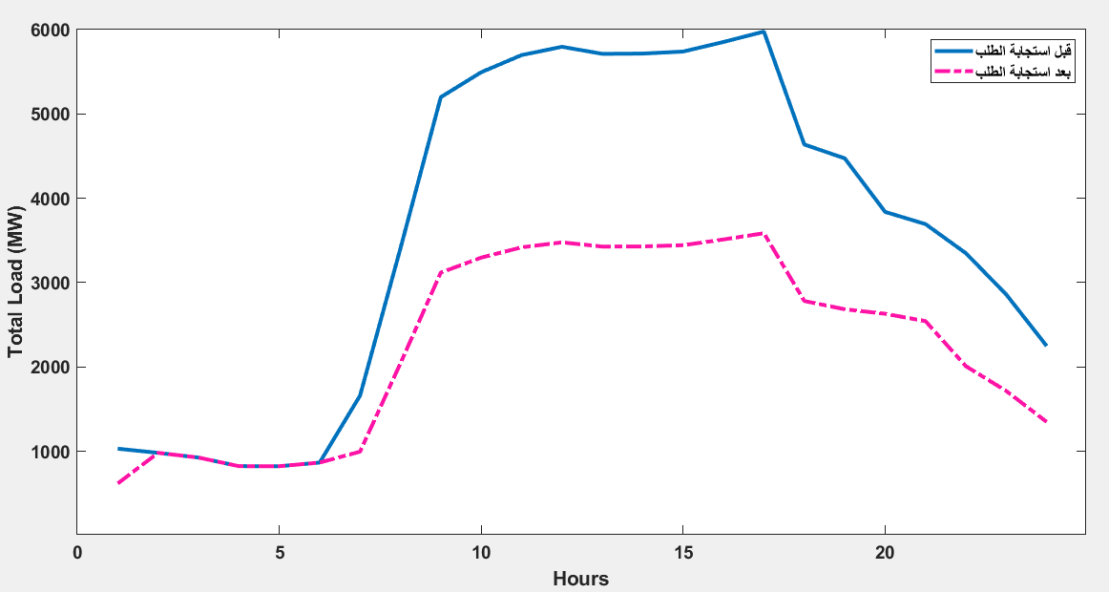
تم الحصول على الاستطاعات المولّدة بواسطة (الفيول، الوقود الأحفوري، الماء الخفيف، والطاقة المائية) بدون توليد من مصادر الطاقة المتجددة وبدون استخدام أنظمة التخزين كما في الشكل التالي:



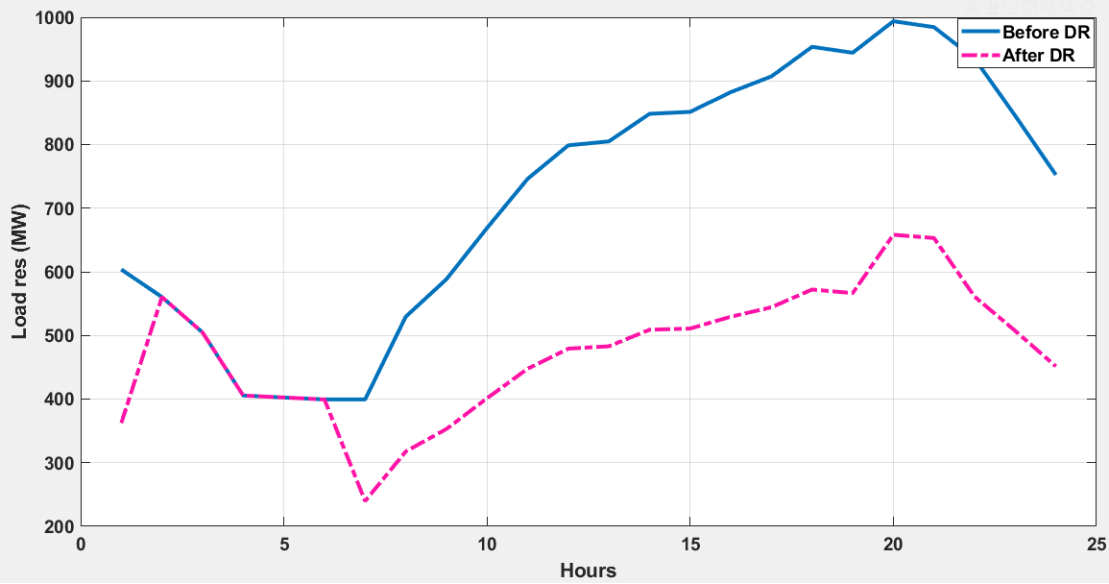
الشكل ٣الاستطاعة المولّدة بدون مشاركة الطاقة المتجددة

الحمل الكلي:

إنّ الارتفاع في الحمل الكلي أثناء ساعات الذروة يشير إلى أنّ المعدّل العالي للطلب الأعظمي يتناقص مع تطبيق استراتيجية الاستجابة للطلب. تمت مقارنة منحنى الحمولة الكليّة بدون تطبيق برنامج الاستجابة للطلب ومع تطبيق البرنامج ووجد أنّ الذروة الموجودة في منحني الحمل في الحالة الأولى تناقصت بشكل ملحوظ في الحالة الثانية، وبما أنّ الحمل الكلّي تناقص فهذا يشير إلى تحسّن ملحوظ في منحني الحمولة أثناء ساعات الذروة.



الشكل ٤ منحني الحمل الكلي خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب

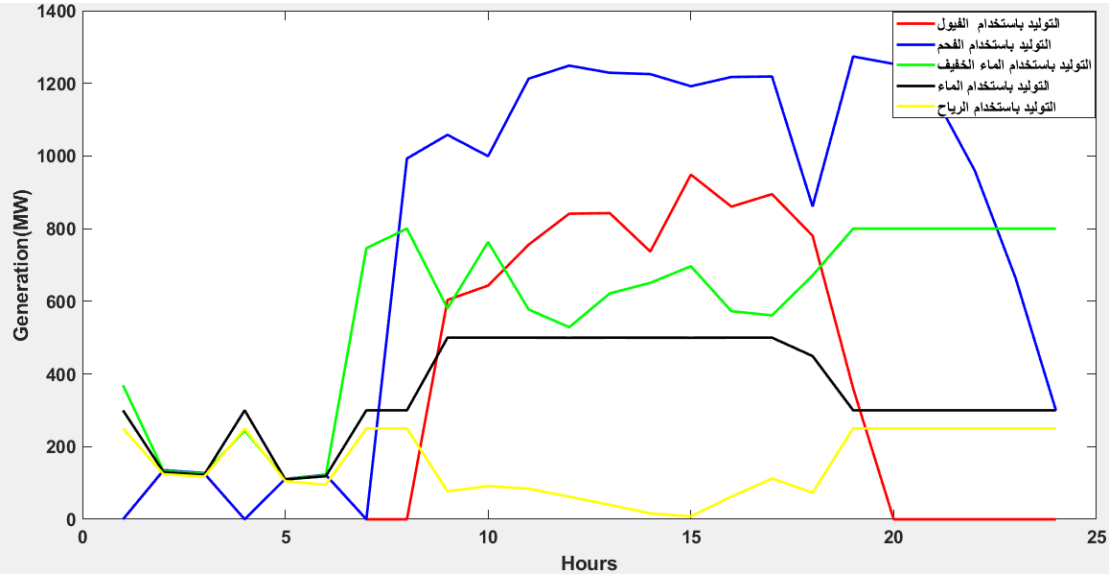


الشكل ٥ منحني الحمل السكني خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب

بملاحظة الشكل السّابق نجد أن ذروة الأحمال السكنية وصلت إلى 1000 MW قبل تطبيق الاستجابة للطلب، وبعد تطبيقه نجد أن الحمل تناقصت لـ 650MW. وبشكل عام، نلاحظ أنّ منحني الحمل تحسّن بالمجمل خلال ساعات اليوم بعد تطبيق الاستجابة للطلب.

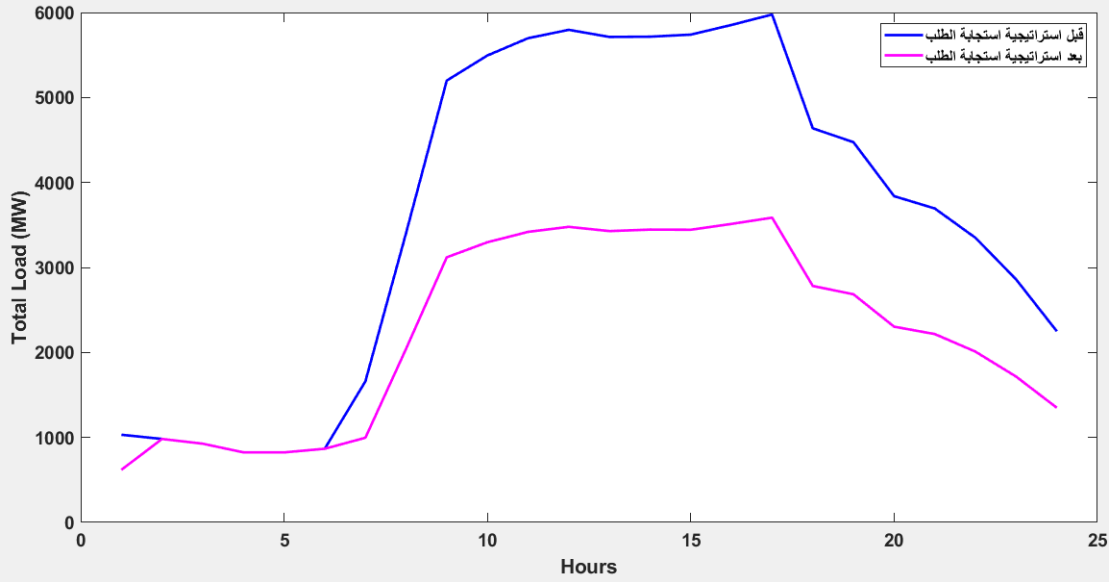
- **باستخدام أنظمة التخزين:**

في هذه الحالة تم إدخال أنظمة الطاقة المتجددة (طاقة الرّياح) لتساهم في التّوليد بالمشاركة مع بقيّة الوحدات في تغذية الحمولة وتم رصد التغيرات في الحمل خلال ٢٤ ساعة بوجود استراتيجية الاستجابة للطلب وبدونها والشكل التالي يبين الاستطاعات المولّدة باستخدام (الفيول، الفحم، الماء الخفيف، الماء، الرياح).



الشكل ٦ الاستطاعة المولّدة بدون مشاركة الطاقة المتجددة

الحمل الكلي:

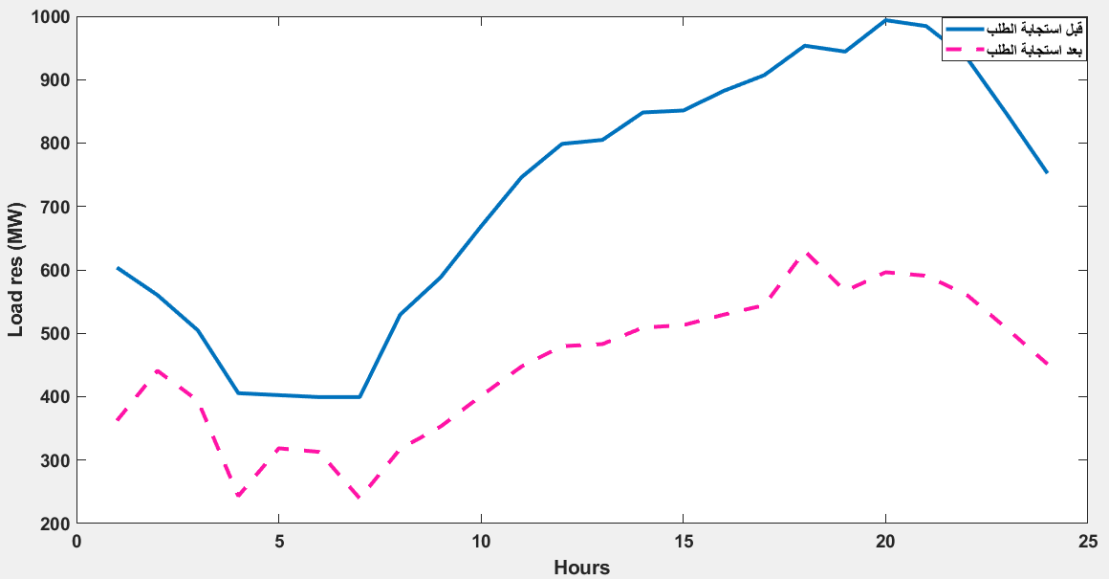


الشكل ٧ منحني الحمل الكلي خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب وبمشاركة الطاقة المتجددة

يشير الارتفاع في إجمالي الحمل خلال ساعات الذروة إلى أن نسبة كبيرة من ذروة الطلب قد تم تخفيضها باستخدام الاستجابة للطلب، مما أدى إلى انخفاض الذروة في نمط الطلب الجديد. ويتضح من هذا الشكل أن تنفيذ برنامج استجابة الطلب قد أدى إلى تحسن كبير في منحنى الحمل خلال ساعات الذروة. وبالمقارنة مع منحني الحمولة بدون مشاركة الطاقة المتجددة نجد أن المنحنيين متشابهين إلى حد كبير وهذا يعني أن إدخال الطاقة المتجددة في عملية تغذية الأحمال يلبّي متطلبات الحمولة بالمشاركة مع بقيّة الوحدات.

الحمل السكني:

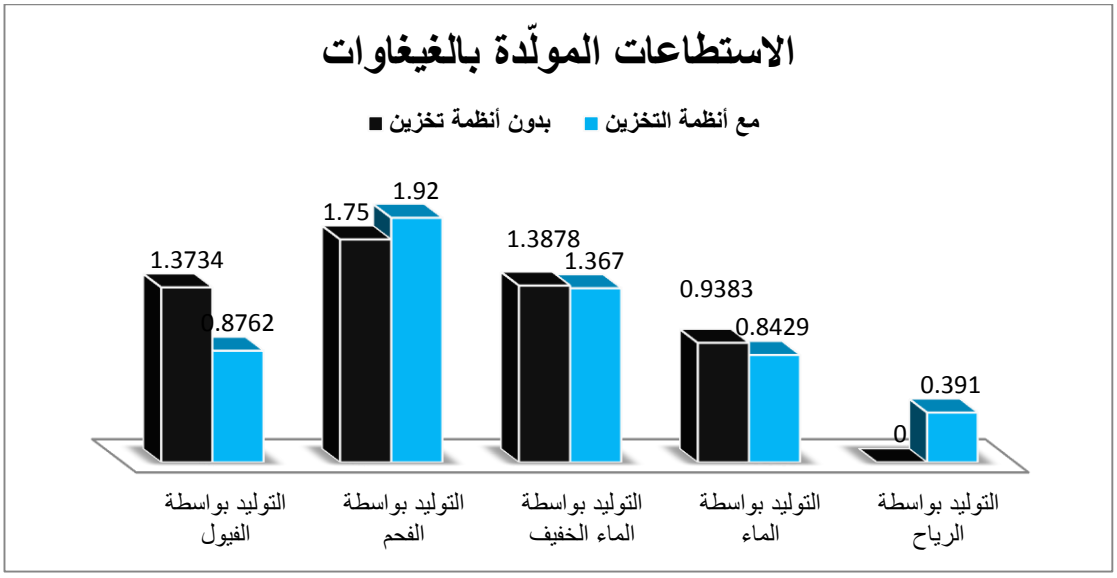
نلاحظ من الشكل تحسن واضح في منحني الحمولة للحمل السكني بتطبيق الاستجابة للطلب وبمشاركة طاقة الرياح في تغذية الأحمال.



الشكل 8منحني الحمل السكني خلال ٢٤ ساعة قبل وبعد استراتيجية الاستجابة للطلب وبمشاركة الطاقة المتجددة

جدول 2 كميّة الاستطاعة المقدّمة باستخدام وحدات توليد متنوعة

	التوليد بواسطة الفيول	التوليد بواسطة الفحم	التوليد بواسطة الماء الخفيف	التوليد بواسطة الماء	التوليد بواسطة الرياح
بدون أنظمة تخزين	١,٣٧٣٤	١,٧٥	١,٣٨٧٨	٠,٩٣٨٣	٠
مع أنظمة التخزين	٠,٨٧٦٢	١,٩٢	١,٣٦٧	٠,٨٤٢٩	٠,٣٩١



الشكل ٩ كميّة الاستطاعة المقدّمة باستخدام وحدات توليد متنوعة

إن دمج توربينات الرياح وأنظمة تخزين الطاقة في وحدات التوليد مع الاستجابة للطلب، سينخفض التوليد بشكل كبير. بدون دمج توربينات الرياح وأنظمة تخزين الطاقة، يصل حجم الإنتاج إلى ٥٤,٥ جيجاوات. وفي حالة إضافة توربينات الرياح، وفي حال إضافة أنظمة تخزين الطاقة وتوربينات الرياح فإن كمية التوليد ستنخفض إلى ٤٩,٤ جيجاوات. أي أن التوليد سينخفض بنسبة ٩,٣%.

–بالإضافة إلى ذلك نلاحظ انخفاض كمية توليد الطاقة من محطات توليد الكهرباء بالفحم في الفترة الثانية مقارنة بالحالة الأولى بسبب مشاركة توربينات الرياح في التوليد. وحقن الطاقة في جميع ساعات اليوم. وذلك بسبب انخفاض تكاليف محطة توليد الكهرباء خارج ساعات الذروة وتخزين الطاقة الكهربائية المولدة للاستهلاك خلال ساعات الذروة عندما تكون تكاليف توليد الكهرباء مرتفعة.

التوصيات:

في الأبحاث المستقبلية، يمكن دمج مصادر الطاقة المتجددة الأخرى منخفضة التكلفة في وحدات التوليد للمساعدة في إدارة طاقة توليد الوحدات التقليدية وتقليل انبعاثات الكربون. يمكن أيضًا استخدام خوارزميات التحسين المختلفة لتحسين الاستجابة للطلب.

المراجع:

1. Datta, U, 2021- A review of key functionalities of battery energy storage system in renewable energy integrated power systems. Energy Storage 3(5), P224
2. Lai, C, 2022- Comprehensive review of the dynamic thermal rating system for sustainable electrical power systems. Energy Rep 8, P3263–3288
3. Sterjova, M, 2021- Battery energy storage systems and technologies: a review. ETIMA 1, P 95–104.
4. Jabir, H, 2018- Impacts of demand-side management on electrical power systems: a review. Energies 11, P1050.
5. Teh, J, 2018- Adequacy assessment of wind integrated generating systems incorporating demand response and battery energy storage system. Energies 11, P 2649.
6. Khoo, W, 2020- Integration of wind and demand response for optimum generation reliability, cost and carbon emission. IEEE Access 8, 183606–183618.
7. Okampo, E, 2021- Techno-economic evaluation of reverse osmosis desalination system considering emission cost and demand response. Sustain. Energy Technol. Assess. 46, 101252.

8. Bakkiyaraj, R, 2013- Optimal reliability planning for a composite electric power system based on Monte Carlo simulation using particle swarm optimization. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 47, P 109-116.

9. Taboada, H, 2008- MOMS-GA: a multi-objective multi-state genetic algorithm for system reliability optimization design problems. IEEE Trans. Reliab. 57, 182-191.

10. Huang, W, Zhang, N, Kang, C, Li, M, Huo, M 2019- From demand response to integrated demand response: Review and prospect of research and application. Protection and Control of Modern Power Systems, 4(2), P 1-13.

11. Kirkerud, J , Nagel, N , Bolkesj, T F, 2021- The role of demand response in the future renewable northern European energy system. Energy, 235,P 121-336.

12. McPherson, M, Stoll, B, 2020- Demand response for variable renewable energy integration: A proposed approach and its impacts. Energy, 197, P 117-205.

13. Douglas G, Edward S, Alexandra A, Riccardo B, 2018-Demand Response Compensation Methodologies: Case Studies for Mexico, Clean energy.

14. Albadi, M, 2007-IEEE and E. F. El-Saadany , Senior Member, IEEE, (2007) Demand Response in Electricity Markets: An Overview, IEEE

ملحق (كود الماتلاب):

```
% % % %%% This program releas--------------------
clear all
clc

%%
Loadtime_res=[ 603.7150  560.3720  504.6440  405.5730
402.4770  399.3810  399.3810  529.4120 588.2350  668.7310
746.1300  798.7620  804.9540  848.2970  851.3930  882.3530
907.1210  953.5600  944.2720  993.8080  984.5200  934.9850
845.2010  752.3220];
Loadtime_in=10000*[ 0.0323    0.0323    0.0323    0.0320
0.0320    0.0317    0.1000    0.1000  0.1000    0.1000
0.1000    0.1000    0.1000    0.1000    0.10000    0.1000
0.1000    0.1000    0.1000    0.1000    0.1000    0.1000
0.1000    0.1000];
Loadtime_com=[ 0 0 0  0  2.5445   30.0927   60.7310  629.7480
854.2630  903.3370  955.5050  992.3100  958.2980  896.6200
893.4420  893.2810 967.0180  991.5550  991.4590  966.7470
917.3510  772.6000  513.9950  0];
Loadtime_Lu=1000*[0.1049  0.0988  0.0988 0.0988  0.0988 0.0988
0.1019  0.9938 0.9969    0.9969    1.0000    1.0    1.00
1.0   1.0000    1.00  0.9969    1.0000    1.0000    0.4969
0.4969    0.4938    0.5000    0.4969];
Loadtime_Ag=[0 0 0 0 0 21.5385 98.4615 252.3080  455.3850
621.5380  698.4620  695.3850  652.3080  673.8460  698.4620
775.3850  796.9230  692.3080  538.4620  381.5380  295.3850
147.6920 0 0];
Loadtime_Gov=[0 0 0  0 0 0 0 0 652.1680  652.0310  648.8030
654.8590  648.5310  648.3990  648.2670  651.2130 654.1910  0 0
0 0  0  0 0];
Loadtime_off=[0 0 0  0 0 0 0 0 652.1680  652.0310  648.8030
654.8590  648.5310  648.3990  648.2670  651.2130 654.1910  0 0
0 0  0  0 0];

%%---------- Wind Turbine Information ----------
windspeed=[13 13.5 13.6 12 11 10.5 10 9.5 9  9.2 9.1  8.8 8.5
8.2 8.1 8.8 9.5 10 12 12.2 13 13.6 13.8 14];
PR=250;%MW
Vc=8.0;
Vr=12;
Vco=14;
A=(1/(Vc-Vr)^2)*(Vc*(Vc+Vr)-4*Vc*Vr*((Vc+Vr)/(2*Vr))^3);
B=(1/(Vc-Vr)^2)*(4*(Vc+Vr)*((Vc+Vr)/(2*Vr))^3-(3*Vc+Vr));
C=(1/(Vc-Vr)^2)*(2-4*((Vc+Vr)/(2*Vr))^3);
% %%-----------------------------------------------



%==================== WindTurbine ========================
```

```
Vwind=windspeed(ii);% wind speed (m/s)

if Vwind <Vc
   Pwt=0;
elseif Vc<Vwind <=Vr
Pwt=abs(A+B*Vwind,C*Vwind.^2)*PR;
elseif Vr<Vwind <=Vco
Pwt=PR
else
    Pwt=0;
end

figure
time=1:24;
plot(time,Loadtime_res,time,Loadtime_in,time,Loadtime_com,time
,Loadtime_Lu,time,Loadtime_Ag,time,Loadtime_Gov,time,Loadtime_
off)
xlabel('Hours')
ylabel('Load (MW)')
legend('Resedential ','Industrial','Commertial ','Large
User','Agricaulture', 'Government','Office')


figure
plot(TotalLoad)
hold on
plot(TotalLoad_new,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Total Load (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure
plot(Loadtime_res)
hold on
plot(NewLoad_res,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_res (MW)')
legend('Before DR','After DR')


figure
plot(Loadtime_in)
hold on
plot(NewLoad_in,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_in (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure
```

```
plot(Loadtime_com)
hold on
plot(NewLoad_com,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_com (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure
plot(Loadtime_Lu)
hold on
plot(NewLoad_Lu,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_Lu (MW)')
legend('Before DR','After DR')


figure
plot(Loadtime_Ag)
hold on
plot(NewLoad_Ag,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_Ag (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure
plot(Loadtime_Gov)
hold on
plot(NewLoad_Gov,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_Gov (MW)')
legend('Before DR','After DR')

figure
plot(Loadtime_off)
hold on
plot(NewLoad_off,'r')
xlabel('Hours')
ylabel('Load_off (MW)')
legend('Before DR','After DR')
%---------------------------------------
figure
plot(GenOil,'r')
hold on
plot( GenCoal,'b')
hold on
plot(GenLW,'g')
hold on
plot(GenW,'k')
hold on
```

```
plot(GenWind,'y')


legend('GenOil','GenCoal','GenLW','GenW','GenWind')
xlabel('Hours')
ylabel('Generation(MW)')
%-----------------------------------------
TotalGen=[totalGenOil totalGenCoal totalGenLW totalGenW
totalGenWind]
figure
Glabel =
categorical({'GenOil','GenCoal','GenLW','GenW','GenWind'});
bar(Glabel,TotalGen)
```

دراسة وتحليل الاستجابة الاهتزازية لعمود نقل القدرة الخاص بسفينة حاويات حقيقية

الدكتور عواطف نصره *

الدكتور منى اسبر**

الدكتور محمد خنيسي***

المهندس الهادي صالح ****

الملخص

تم في هذا البحث تصميم محطة دفع لسفينة حقيقية بشكل ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج SolidWorks. في البداية تم معايرة الإعدادات والشبكة الرقمية من خلال مقارنتها مع حالة معيارية بعدها تم حساب الخصائص الديناميكية (عزوم عطالة، عزوم التخميد) لمكونات نظام الدفع بعد إدخال المواد الحقيقية المصنوع منها كل جزء، تم اعتماد طريقة تحليل العناصر المنتهية، بعدها تم تطبيق القوى والعزوم الخارجية المحرضة للاهتزاز من أجل إجراء تحليل ستاتيكي وديناميكي للاهتزازات التي تتعرض لها المنظومة من خلال تحديد الترددات الطبيعية والقسرية لعمود نقل القدرة ورسم أنماط الاهتزاز عند سرعات وحالات تحميل مختلفة وتحديد المواضع الحرجة التي تتعرض لأقصى إجهاد فتل على طول العمود، تم رسم مخطط الإجهاد أيضًا كتابع للزمن، في النهاية تمت مقارنة النتائج بنتائج الطرق التحليلية لمحطة دفع السفينة ذاتها.

الكلمات المفتاحية: اهتزازات الفتل، نظام الدفع في السفن، العناصر المنتهية، SolidWorks.

* أستاذ – قسم الهندسة البحرية – جامعة تشرين – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – اللاذقية – سورية. إيميل: dr.awatefwahidnasra@tishreen.edu.sy

** أستاذ – قسم الهندسة البحرية – جامعة تشرين – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – اللاذقية – سورية. إيميل: dr.mounasafyesber@tishreen.edu.sy

***أستاذ مساعد – قسم هندسة الميكاترونيك – جامعة تشرين – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – اللاذقية – سورية. إيميل: dr.mohamadkhnese @tishreen.edu.sy

**** طالب دكتوراه– قسم الهندسة البحرية – جامعة تشرين – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – اللاذقية – سورية. إيميل: alhadee.saleh@tishreen.edu.sy

Study and analyses of the vibration response of a power transmission shaft of a real container ship shaft

*** Dr. Awattef Nasra**
****Dr. Mona Esber**
*****Dr. Mohammad Khnese**
****** Eng. Alhadee Saleh**

ABSTRACT

In this research, a three-dimensional propulsion system for a real ship was designed using the SolidWorks program. The grid and numerical settings were initially validated by comparing them with a standard case. Then, the dynamic properties of the propulsion system components' (moments of inertia, damping moments) were calculated after applying the real materials from which each part is made. The external vibration-inducing forces and moments were applied to conduct a static and dynamic analysis of the vibrations to which the system is exposed by determining the natural and forced frequencies of the power transmission shaft. The vibration patterns at different speeds and load states were presented and analyzed. The maximum values of twisting stress along the shaft were determined, and the stress diagram was plotted as a function of time. Finally, the numerical results were compared with analytical ones.

Keywords: torsional vibrations, ship propulsion system, SolidWorks.

*** Prof.، Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen university, Latakia, Syria. Email:** dr.awatefwahidnasra@tishreen.edu.sy
**** Prof.، Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen university, Latakia, Syria. Email:** dr.mounasafyesber@tishreen.edu.sy
***** Assistant Prof.، mechatronics Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen university, Latakia, Syria. Email:** dr.mohamadkhnese@tishreen.edu.sy
****** PhD Student, Department of Marine Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen university, Latakia, Syria. Email:** alhadee.saleh@tishreen.edu.sy

١. مقدمة

بات من الضروري في السنوات الأخيرة إيلاء اهتمام أكبر لتحليل ومحاكاة اهتزازات الفتل في محطات دفع السفن وذلك للرقابة الصارمة التي باتت تفرضها هيئات التصنيف على المستويات العالية من الاهتزازات التي تشكل خطراً على الانسان والألة معاً. إن التنبؤ بالاهتزازات ومحاكاتها قبل بناء نظام الدفع يعد أمراً حيويا وهاما وكذلك مراقبة اهتزازات محطة الدفع للسفن قيد الاستثمار ضروري وذلك لتجنب تطور هذه الاهتزازات وخروجها عن السيطرة. نتيجة التعقيد الكبير لنظام الدفع وتعدد الأجزاء التي تعمل وتتحرك في آنٍ واحد وكذلك تعدد القوى الداخلية والخارجية التي تؤثر علية نظرا لصعوبة وقساوة البيئة التي يعمل فيها. اهتم الباحثون ببرمجة وتطوير الموديلات الرياضية الناظمة لنشوء هذه الاهتزازات وكيفية تطورها. لم تقتصر محاكاة ونمذجة الاهتزازات على الطرق التحليلية الرياضية بل استخدمت الطرق الرقمية خصوصا بعد التطور الكبير في العلوم الحاسوبية، يعتبر برنامج SolidWorks الذي يعتمد تقنية تحليل العناصر المنتهية (FEA) للتنبؤ بالسلوك المادي الفعلي للمنتج عن طريق اختبار النماذج افتراضياً بمساعدة الحاسب CAD (Computer-Aided Detection) أحد البرامج الرائدة جداً في هذا المجال. يمكن لهذا البرنامج أن يوفر نتائج دقيقة وموثوقة لمجموعة واسعة من أنواع الدراسات من التحليل الثابت الخطي الأساسي إلى التحليل غير الخطي والديناميكي الأكثر تعقيدًا، وتأكيداً على دقة وموثوقية البرنامج نود أن نشير إلى أنه مستخدم على مجال واسع في التصميم وحسابات الـ FEM، وهنا بعض الدراسات الحديثة والتي تم فيها استخدام هذا البرنامج لهذه الأغراض [1–11].

لقد أجرى العديد من الباحثين في السنوات الأخيرة أبحاثاً لتحليل الاهتزازات في محطات الدفع البحرية رقمياً ففي العام ٢٠١٤ Yuriy Batrak [1] أوضح الأنواع المختلفة للاهتزاز و تسمياتها المختلفة حسب هيئات التصنيف و صنف الاهتزاز بحسب أنواعه الحرة و القسرية وبين الحاجة الماسة للتنبؤ بالاهتزازات بمختلف أنواعها و أهمية الحفاظ على محطة الدفع عند أقل مستوى من الاهتزاز كونها صيانتها تشكل القسم الأكبر من تكاليف صيانة السفينة و أوضح آثار الاهتزاز المدمرة لأنبوبة المؤخرة على مختلف أنواع السفن و

تحدث عن الاهتزازات التوافقية و البارامترات المؤثرة في الاهتزازات المخمدة و الغير المخمدة و بين تأثير العزم الجيروسكوبي في الاهتزاز الطولي و سبب نشوء الاهتزاز الدوراني و القوى الهيدروديناميكية في الرفاص و استخدم برنامج Shaft Designer لرسم تطور الإجهادات مع الزمن التي تؤثر في عمود نقل الحركة و العمود المرفقي بشكل مبسط ثم لجأ لنمذجة عمود الدفع متضمنا رفاص بطريقة العناصر المنتهية FEM بشكل مبسط و بتقييد لدرجات الحرية. في نفس العام Germanisher [2] قدم حلا تصميميا لمشكلة الاهتزاز الالتوائي عن طريق تثبيت مثبط اهتزاز التوائي واستخدام أجهزة مختلفة كمخمدات اهتزاز التوائية مثل المخمدات اللزجة أو مخمدات احتكاك أو مخمدات مطاطية، نادرا ما تم تركيبها على السفن نظرا لتكاليفها المرتفعة نسبيا، واستخدام برنامج يعتمد FEM و كذلك بعض البرامج التحليلية الموضوعة خصيصا لتصميم العمود، على الرغم من هذه الأدوات المتطورة لتحليل اهتزازات الفتل لا تزال الطرق التحليلية البسيطة مهمة للتصميم الأولي و التحكم في اهتزازات عمود الدوران للسفن القيد الاستثمار.في العام Murawski Lech [3] 2017 نُشر بحث تحدث فيه عن الاهتزازات في نظام نقل الطاقة البحرية و كيفية تحليل هذه الاهتزازات أثناء عملية التصميم و تحدث عن أكثر أنواع الاهتزازات خطورة و استخدم في بحثه محرك ديزل رئيسي متوسط السرعة مستخدما طريقة العناصر المنتهية و أخذ القوى المؤثرة على الرفاص بعين الاعتبار وحدد الاستجابة (Response) للاهتزاز الطبيعي الحر و القسري. وفي العام 2019 قدم Senjanović [4] دراسة أثبتت أن نظام نقل الطاقة في السفينة أحد المصادر الرئيسية للاهتزازات فيها، تتميز محركات الديزل البحرية الحديثة المثبتة على السفن التجارية الكبيرة بشوط طويل و سرعة منخفضة وعدد قليل من الأسطوانات تتميز هذه المحركات بكفاءتها الجيدة في استهلاك الوقود و مع ذلك و برغم إنتاجها للطاقة العالية فإنها تنتج قوى اهتزازية تكون عالية نسبيا إضافة لذلك تتداخل أطياف الترددات لهذه القوى مع الترددات الطبيعية لبدن السفينة إضافة للاهتزازات الناتجة عن الرفاص بسبب الدوران الغير المنتظم مما يؤدي إلى اهتزازات غاية في الشدة. في العام 2021 Maria et al [16]نشر مقالة تحدثت عن محاكاة حركة السفينة في الأمواج و كيفية التفاعل بين نظام الدفع و الرفاص كان الهدف منها تطوير جهاز محاكاة يسمح

بتحليل الديناميك الحراري للمحرك الرئيسي في ظروف بحرية مختلفة و أيضا في حال عدم الاستقرار الديناميكي للبدن و كيفية الاستثمار الصحيح لمكونات محطة الدفع، تم في هذا البحث التحقق من قدرة النمذجة على محاكاة تأثيرات عدم الاستقرار الديناميكي للبدن على محطة الدفع. في العام ٢٠٢٢ B. Iasi et al [17] قام بنمذجة نظام الدفع على أنه نظام غير خطي باستخدام برنامج Ansys حيث حدد القوى المحرضة للاهتزاز ووضع خوارزمية من عدة خطوات لنمذجة وتحليل نظام الدفع باستخدام الطرق الرقمية وتوصل لرسم أنماط الاهتزاز عند قيم مختلفة للتردد واستنتج أن الطريقة الرقمية لها نتائج جيدة مقارنة بالطرق التحليلية كطريقة Rayleigh Method.

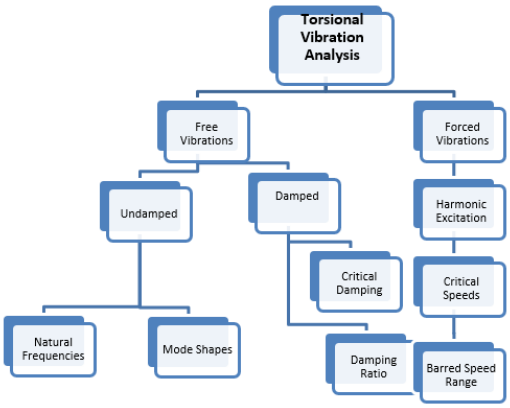
٢. أهداف البحث

- تصميم منظومة دفع بحرية لسفينة تجارية حقيقية باستخدام برنامج الـ SolidWorks.
- تحليل ومحاكاة اهتزازات الفتل لهذه المنظومة باستخدام نفس البرنامج.
- التنبؤ بأنماط الاهتزاز عند شروط عمل مختلفة لسرعة الدوران كتابع للزمن.
- مقارنة نتائج SolidWorks مع نتائج الطرق التحليلية في المرجع [4].

٣. منهجية ومواد البحث

تم في البداية الحصول على الأبعاد الحقيقية (الرسم الهندسي) لمحطة دفع السفينة المراد تحليل اهتزازاتها والموضح في (الشكل ٢) [15]، ومن ثم تم تصميم هذه المنظومة بشكل ثلاثي الابعاد باستخدام برنامج SolidWorks ، ليتم الحصول على نموذج حقيقي لمحطة الدفع والموضح في الشكل ٣(٣). تم استخراج جميع القيم والخصائص الهندسية لهذا النموذج كعزوم العطالة والتخميد والصلابة..... إلخ. بعد تطبيق المادة الحقيقية التي صنع منها العنصر، تم بعدها تحميل النظام بالقوى والعزوم الخارجية المؤثرة عليه، بعدها تم اختيار وتصميم الشبكة المثالية لتقسيم النظام، عندها تبدأ عملية المحاكاة والحصول على

النتائج المطلوبة ليصار الى تحليلها ومقارنتها ومعايرتها. يوضح الشكل ١ المراحل التي يمر بها تحليل اهتزازات الفتل وفقا لأنواعها من حيث القوى المحرضة لها، حيث أن تحليل



الشكل ١: مخطط مراحل تحليل الاهتزازات [18].

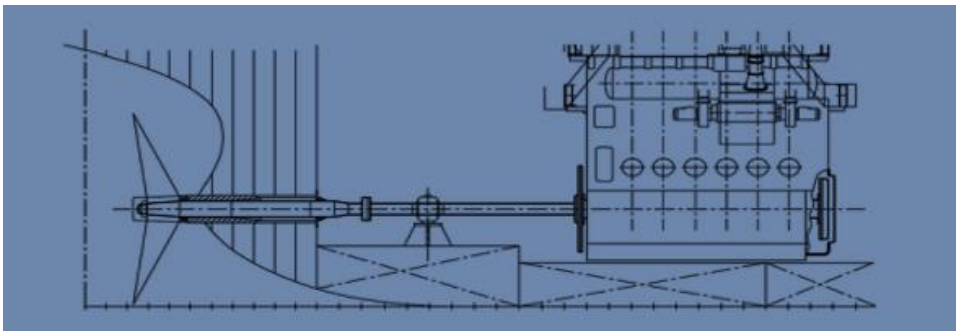
الاهتزازات القسرية يوصل لتحديد السرعة الحرجة التي يحدث عندها الطنين وبالتالي تحديد مجال السرعة الحرج (BSR Barred Speed Range) الذي يتوجب المرور به بأقصر زمن ممكن، أما تحليل الاهتزازات الحرة فله شكلين إما أن يكون مخمداً نحصل من خلاله على نسبة التخميد الحرجة، أو أن يكون غير مخمد نحصل من خلاله على الترددات الطبيعية وأنماط الاهتزاز.

٤. نمذجة محطة الدفع لسفينة حاويات

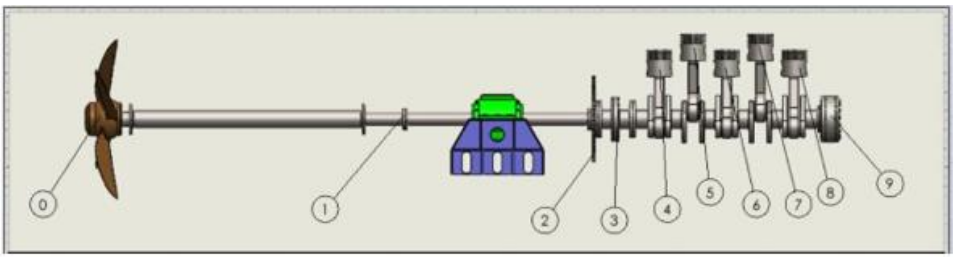
٤,١. الخصائص الهندسية والديناميكية لنظام الدفع

تم تصميم محطة الدفع الموضحة في الشكل ٢(٢) [15] باستخدام برنامج (SolidWorks) وتم الحصول عليها بشكل ثلاثي الأبعاد كما هو موضح في الشكل ٣(٣) ثم الحصول على جميع البارامترات اللازمة للحسابات والموضحة في الجدول ١ من خلال برنامج (SolidWorks) بعد تطبيق المادة المصنوع منها كل عنصر من عناصر المنظومة وهي المواد الشائعة في التصنيع كما هو موضح في العمود الثالث من الجدول

١ ثم تم تحميل القوى والعزوم الخارجية المحرضة للاهتزاز لكل من المحرك والرفاص (Engine and Propeller excitation) الموضحة في الجدول ٢ التي تم الحصول عليها من المخططات [15] [19] وكذلك عزوم العطالة والتخميد من الجدول ١ والمحسوبة باستخدام البرنامج والموافقة لسرعات تشغيل مختلفة. وتم في الخطوة التالية تصميم الشبكة المناسبة لإجراء الدراسة.



الشكل ٢: الرسم الهندسي لنظام الدفع لسفينة حاويات حقيقية [15].

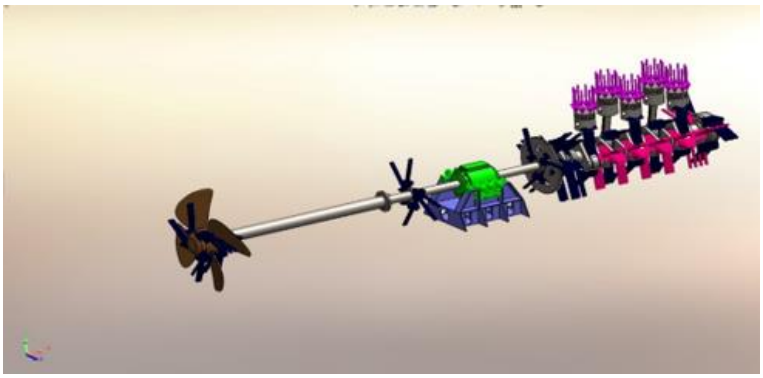


الشكل ٣: نظام الدفع للسفينة المدروسة بعد تصميمه باستخدام SolidWorks.

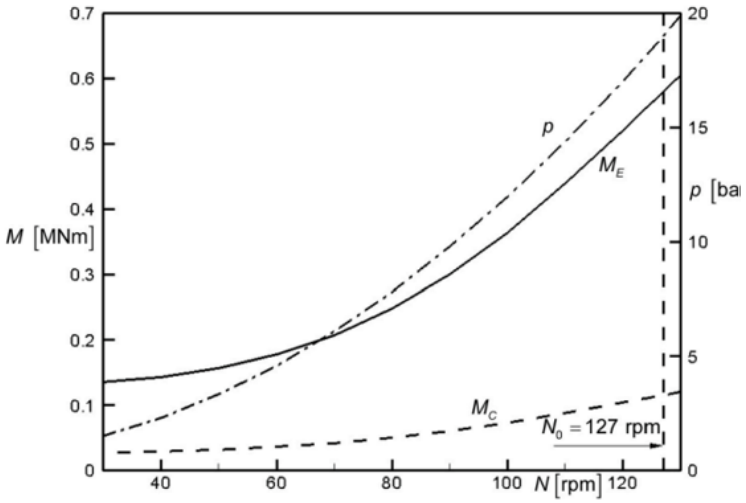
الجدول ١: الخصائص الهندسية والديناميكية لنظام الدفع.

	Designation	Material	Weight(Kg)	Length of shaft segment Li(m)	Shaft diameter Di(mm)	Shaft cross-section polar moment of inertia Ii(mm^4)	Polar moment of inertia of lumped mass Ji(Kgm^2)	Magnification factor αi	Damping ratio γi
0	Propeller	AluminumBronze	80.37	-	-	-	17510	10	0.05
1	Flange	1023CarbonSteel	97.62	6.050	423	0.003143	153	∞	0
2	Turning Wheel	1023CarbonSteel	44.09	6.470	350	0.001473	1723	100	0.005
3	Camshaft Drive	1023CarbonSteel	54.67	1.690	655	0.01814	2243	60	0.0083
4	Cylinder	1023CarbonSteel	27.32	1.587	655	0.01814	4100	60	0.0083
5	Cylinder	1023CarbonSteel	27.32	2.034	655	0.01814	4100	60	0.0083
6	Cylinder	1023CarbonSteel	27.32	2.183	655	0.01814	4100	60	0.0083
7	Cylinder	1023CarbonSteel	27.32	2.164	655	0.01814	4100	60	0.0083
8	Cylinder	1023CarbonSteel	27.32	2.135	655	0.01814	4100	60	0.0083
9	Turning Wheel	1023CarbonSteel	56.42	1.827	655	0.01814	7377	100	0.005

تم تحميل المنظومة بكافة القوى والعزوم التي تؤثر عليها وهي عزم المحرك وعزوم التخميد والعطالة وقوى ضغط الغاز وعزم الدفع من الرفاص كما هو موضح في الشكل ٤(٤) . عزوم العطالة والتخميد تحسب من خلال (SolidWorks) وعزم المحرك عند كل سرعة دوران يؤخذ من (الشكل ٥ والمأخوذ من الدراسة المرجعية [15].



الشكل ٤: توزع القوى والعزوم المؤثرة على نظام الدفع.



الشكل ٥: عزم المحرك المقابل لسرعة الدوران [15].

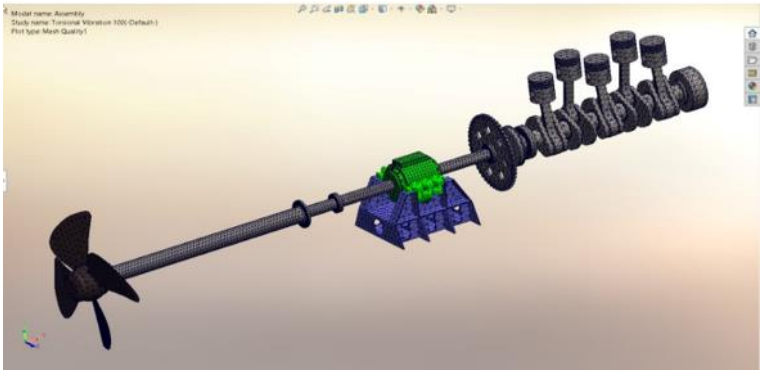
يعرض الجدول ٢) قيم عزوم المحرك عند سرعات دوران مختلفة وقيم اجهاد الفتل (τ) الموافقة لها والمحسوبة بالطرق التحليلية في الدراسة المرجعية [15] والتي ستتم مقارنتها لاحقا مع قيم اجهاد الفتل المحسوب عند نفس سرع الدوران الموافقة باستخدام (SolidWorks). يلاحظ أن الاجهاد الاعظمي يحدث عند السرعة (63 rpm) لأنها سرعة حرجة يحدث عندها حالة طنين يؤدي لسعات اهتزاز كبيرة وإجهادات فتل بقيم كبيرة.

الجدول ٢: قيم عزم المحرك المؤثر على نظام الدفع والإجهاد الناتج عنه عند سرعات مختلفة.

الحالة	N(rpm)	M_E(MNm)	$\tau[N/m^2]$
١	٤٠	٠,١٦	١٥
٢	٦٣	٠,١٩	١٢٠
٣	٨٠	٠,٢٥	٢٠
٤	١٠٠	٠,٣٥	١٢

٤,٢. الشبكة الرقمية

الشبكة الرقمية التي تم استخدامها موضحة في (الشكل ٦) هي الشبكة الغير منتظمة وهي الشبكة الافتراضية في البرنامج، تم استخدام (١٣٠ ألف) خلية حسابية تقريباً. البارامترات الأساسية المميزة للشبكة الرقمية التي يتم استخدامها موضحة في الجدول ٣.



الشكل ٦: الشبكة الرقمية التي تم بناؤها لنظام الدفع.

الجدول ٣: خصائص الشبكة.

Mesh type	Solid Mesh
Mesher used:	Standard mesh
Element Size	43.5469 mm
Mesh Quality	High
Total Nodes	227159
Total Elements	126231

٥. طريقة العناصر المنتهية

هناك العديد من التطبيقات لطريقة العناصر المنتهية، وأغلبها تتعلق بالهندسة الميكانيكية حيث تستخدم هذه الطريقة ضمن عملية تصميم وتطوير المنتجات المختلفة تعتمد هذه الطريقة على تقسيم الجسم المدروس الى مجموعة من العناصر المتناهية في الصغر (Elements)متصلة مع بعضها البعض بعقد (Nodes) تقوم بعض برامج حساب العناصر المنتهية الحديثة بدراسة وحساب الاجهادات والانفعالات والتشوهات والحرارة

والمغناطيسية الكهربائية وتدفق السوائل ...إلخ. لحل أي مسألة باستخدام طريقة العناصر المنتهية يجب اتباع الخطوات التالية [20]:

- تعريف مقتضيات الحساب باستخدام (FEM) وهي خطوة أساسية خلال الدراسة حيث يشكل النموذج المستخدم في الحسابات تمثيلاً مبسطا للحقيقة الفيزيائية، ويجب أن يعبر بشكل صحيح عن الحالة الخاصة لسلوك الإنشاء المدروس حيث لا يوجد نموذج عام قادر على التعبير عن جميع قوانين السلوك الميكانيكي للمواد.

- صياغة المشكلة (Molding): تسمح هذه الخطوة بالتحول من المسألة الحقيقية (الإنشاء في محيط العمل أو في ظروف الاستثمار) إلى النموذج الافتراضي المناسب لإجراء النمذجة العددية المستخدمة، ومن أجل القيام بالتوصيف الصحيح للمشكلة يجب القيام بالخطوتين التاليتين:

١. إنشاء النموذج الميكانيكي الصحيح (mechanical model) والذي يتضمن كل المعلومات الخاصة بالتوصيف الميكانيكي والهندسي والتقني للمسألة المدروسة، ويشمل توصيف نوع الدراسة ستاتيكية، ديناميك، خطية، غير خطية .... وفيما إذا كان يمكن تمثيل سلوك الإنشاء بجائز، صفيحة، مسألة مستوية ثنائية البعد، أو حجمية ثلاثية البعد، كما يشمل التوصيف توضيح الشكل الهندسي للإنشاء ويجب أن يتوافق ذلك مع نوع سلوك المادة المستخدم، وأيضاً توصيف علاقة الإنشاء المدروس بالوسط المحيط به، ويمثل ذلك بالشروط الحدية conditions) (Boundary بما فيها نقاط الاستناد والحمولات المؤثرة. يتضمن التوصيف أيضاً تحديد الخصائص الميكانيكية للمادة (معامل يونغ، معامل بواسون، حد الخضوع، الكتلة الحجمية...) وبمعنى آخر جميع المقادير الضرورية لتوصيف السلوك الميكانيكي للمادة. وتتطلب هذه التوصيفات المختلفة استخدام العديد من الفرضيات.

٢. تقسيم النموذج الى عناصر بعد الاختيار الدقيق لشكل عنصر التقسيم بحيث نحصل على شبكة مناسبة لحل المشكلة المدروسة.

- حل المسألة (Solution): بعد أن يتم اختيار النموذج الميكانيكي، ونموذج التحليل بشكل دقيق. يتم البدء بعملية الحل وهنا يجب متابعة ومراقبة الحل لأنه من الممكن أن تظهر مشاكل ترتبط بشكل عام بعدة أخطاء منها أخطاء النمذجة الميكانيكية: مثل غياب جزئي للشروط الحدية الموافقة للإزاحات، أو نسيان أحد البارامترات، أخطاء الشبكة الرقمية: مثل استخدام عناصر تقسيم لا تحقق الشروط الهندسية المطلوبة أو اختيار سيئ لأبعاد الشبكة.

- إظهار وتحليل النتائج: بعد الانتهاء من حسابات الـ (FEM) والحصول على الحلول الرقمية لا بد من عرضها بطريقة واضحة تساعد المستخدم على قراءة النتائج بسهولة، واستنباط المعلومات التي تتيح فهم الخصائص الفيزيائية المختلفة والمرتبطة بالمشكلة المدروسة، تتضمن برامج الـ (FEA) التجارية أدوات عرض محتواه ضمن واجهات المستخدم الرسومية والتي تسمح بعرض نتائج التحليل الرقمي على شكل مخططات لونية. بالإضافة إلى ذلك، توجد أيضاً تطبيقات حاسوبية مستقلة يمكن استخدامها لنفس الغرض، وأغلبية هذه التطبيقات تعمل على كافة أنظمة الحواسيب [20].

٦. التحليل باستخدام العناصر المنتهية FEA المستخدم في برنامج SolidWorks

FEA هي تقنية عددية تستخدم لحل المشكلات الفيزيائية المعقدة، مثل تحليل الإجهاد في الهياكل. تتضمن الطريقة تقسيم المسألة إلى عدد محدود من المشكلات الأصغر (الأسهل) المعروفة باسم العناصر ثم دمج استجابات دالة الشكل للعناصر لتقدير استجابة المشكلة. يستخدم FEA سلسلة من النماذج الرياضية لمحاكاة الاستجابة أو السلوك الذي سيكون لجزء أو مجموعة من الأجزاء تحت مجموعة محددة مسبقًا من الشروط. يمكن استخدام طريقة العناصر المحدودة لحل أي من معادلات ميكانيكا الاستمرارية الهندسية، بما في ذلك تدفق السوائل والصوتيات والكهرومغناطيسية، ولكنها تستخدم بشكل شائع لحل معادلات الإجهاد والانفعال. يدعم تحليل العناصر المحدودة المتقدم (FEA) خدمات النمذجة وتطوير المنتج ومحاكاة ظروف الخدمة وتحسين التصميم والتنبؤ بالكفاءة والموثوقية للخدمة وتحليل

التعب. يستخدم (FEA) الجبر الخطي للتعبير عن سلوك العناصر باستخدام المصفوفات. على سبيل المثال، تقيس مصفوفة الصلابة مقاومة العنصر للتشوه بسبب الحمل. والعلاقة بين الإزاحات والقوى في الهيكل مصممة كنظام من المعادلات الخطية ذات المعاملات الحركية غير المعروفة (الإزاحات) [21].

٦,١. المعادلة الخاصة المستخدمة في تحليل اهتزازات الفتل باستخدام العناصر المنتهية

$$[T]=[K]*[\theta] \quad (١)$$

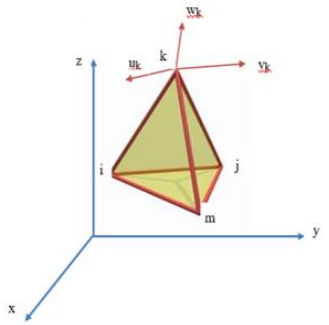
حيث T شعاع العزوم في العقد، k مصفوفة الصلابة، θ شعاع زوايا الفتل في العقد. حيث

$$[T]=\begin{bmatrix} T1x \\ T1y \\ T1z \\ \cdots \\ Tnx \\ Tny \\ Tnz \end{bmatrix} \qquad [\theta]=\begin{bmatrix} \theta 1X \\ \theta 1Y \\ \theta 1Z \\ \cdots \\ \theta nX \\ \theta nY \\ \theta nZ \end{bmatrix}$$

حيث $\theta X, \theta Y, \theta Z$ زوايا الفتل على طول المحاور الاحداثية، Tx, Ty, Tz العزوم المؤثرة وفق اتجاه المحاور الاحداثية.

٦,٢. بناء معادلة العنصر بعد عملية التقسيم لحساب الازاحة والانفعال والاجهاد

لنفترض تقسيم محطة الدفع (الشكل ٦) لعناصر على شكل هرمي رباعي الوجوه كما في (الشكل ٧ فينتج (٤) عقد هي (i,m,j,k) تحد هذا العنصر. بشكل عام، يحتوي كل عنصر على ٣ مكونات إزاحة دورانية تم تعيينه بواسطة $\theta x\,(x,y,z)$، $\theta y\,(x,y,z)$، $\theta z\,(x,y,z)$ (على طول x، y، z)على التوالي. ترتبط مكونات الازاحة مع بعضها في العقد بالبارامترات(U,V,W)[21] .



الشكل ٧: شكل عنصر التقسيم [20].

تبدأ عملية استنتاج المعادلة بالتعبير عن عنصر الإزاحة ومكوناته كما يلي:

$$\{\Theta(x,y,z)\} = \begin{Bmatrix} \Theta_x(x,y,z) \\ \Theta_y(x,y,z) \\ \Theta_z(x,y,z) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} U(x,y,z) \\ V(x,y,z) \\ W(x,y,z) \end{Bmatrix} \qquad (٢)$$

حيث $W(x,y,z)$ $V(x,y,z)$,$\Theta(x,y,z)$مكونات الازاحة للعنصر على طول المحاور الاحداثية. قد يعبر أيضًا عن إزاحة العنصر $\{\Theta\,(x,\,y,\,z)\}$ من حيث المكونات في العقدة المرتبطة بها من خلال تابع الاستيفاء interpolation function $[N(x,y,z)]$ كما هو مبين في المعادلة (٣):

$$\{\Theta(x,y,z)\} = \begin{Bmatrix} \Theta_x(x,y,z) \\ \Theta_y(x,y,z) \\ \Theta_z(x,y,z) \end{Bmatrix} = [N(x,y,z)]\{\theta\} \qquad (٣)$$

مكونات الإزاحة {θ} في (الشكل ٧) لجميع العقد ٤ في العنصر رباعي الوجوه هي:

$$\begin{aligned}\{\theta\}^{\mathrm{T}} &= \{u_i\ v_i\ w_i\} \text{ for Node i,}\\ &= \{u_i \quad v_j \quad w_j\} \text{ for Node } j,\\ &= \{u_k v_k w_k\} \text{ for Node } k\\ &= \{u_m v_m w_m\} \text{ for Node } m\end{aligned} \qquad (٤)$$

هذه الإزاحات العقدية في العقد هي قيم نقطية ذات أعداد حقيقية. وبالتالي فإن العدد الإجمالي لمكونات الإزاحة للعقد الأربع لعنصر رباعي السطوح في الشكل ٧ يساوي ١٢، على النحو المعبر عنه في شكل المصفوفة التالي:

$$\begin{aligned}&\{\theta\}^T\\ &= \{u_i \quad v_i \quad w_i \quad u_j \quad v_j \quad w_j \quad u_k \quad v_k \quad w_k \quad u_m \quad v_m \quad w_m\}\end{aligned} \qquad (٥)$$

وبالتالي يمكننا أن نعبر عن إزاحة العنصر في العنصر رباعي الوجوه في الشكل ٧ من حيث إزاحة للعقد الاربعة بالتعبير المستمر التالي:

$$\begin{aligned}\{\Theta(x,y,z)\} &= \begin{Bmatrix}\Theta_{\mathrm{x}}(x,y,z)\\ \Theta_{\mathrm{y}}(x,y,z)\\ \Theta_{\mathrm{z}}(x,y,z)\end{Bmatrix} = [N(x,y,z)]\{\theta\}\\ &= \big\{N_i(x,y,z)\ N_j(x,y,z)\ N_k(x,y,z)\ N_m(x,y,z)\big\}(\theta\}\end{aligned} \qquad (٦)$$

أو بشكل موجز كما يلي:

$$\{\Theta(x,y,z)\} = \{N_i\theta_{\mathrm{i}} \quad N_j\theta_{\mathrm{j}} \quad N_k\theta_{\mathrm{k}} \quad N_m\theta_{\mathrm{m}}\} \qquad (٧)$$

حيث N_m،N_i, N_j, N_k مكونات وظيفة الاستيفاء المرتبطة مع العقد i, j, k, m في الشكل ٧ على التوالي.

سنقوم بعد ذلك باشتقاق التعبير عن الانفعال ε في العنصر من خلال علاقته بالإزاحة العقدية u فنحصل على:

$$\{\varepsilon(x,y,z)\} = [B(x.y.z)]\{u\} \qquad (٨)$$

حيث المصفوفة B تعطى بالشكل:

$$[B(x,y,z)] = [D][N(x,y,z)] \qquad (٩)$$

المصفوفة $[B(x,y,z)]$ يمكن الحصول عليها باشتقاق المصفوفة $[N(x,y,z)]$ بالنسبة لـ X,Y,Z على التوالي. المصفوفة [D] تعطى بالشكل التالي [21]:

$$[D] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

يحسب الاجهاد بدلالة الازاحة العقدية بالعلاقة:

$$\{\sigma(x,y,z)\} = [C][B(x,y,z)]\{u\} \qquad (١٠)$$

حيث المصفوفة C مصفوفة ثوابت المادة وتعطى بالعلاقة:

$$[C] = \frac{E}{(1+v)(1-2v)} \begin{bmatrix} 1-v & v & v & 0 & 0 & 0 \\ & 1-v & v & 0 & 0 & 0 \\ & & 1-v & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2v}{2} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1-2v}{2} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2v}{2} \end{bmatrix}$$

وأخيرًا، يتم الحصول على التعبير عن طاقة الإجهاد في العنصر المشوه من المعادلة التالية لطاقة الإجهاد للعنصر المشوه:

$$U(\{u\}) = \frac{1}{2}\int_v \{u\}^T [B(x,y,z)]^T [C][B(x\cdot y\cdot z)]\{u\}dv \qquad (١١)$$

وأخيرا تتلخص الإجراءات العامة للتحليل بالعناصر المحدودة بما يلي: بناء النموذج الهندسي، تحديد خصائص المادة، إنشاء شبكة عناصر محدودة، تطبيق الأحمال والشروط الحدية، تحديد نوع التحليل ونوع الدراسة، استعراض وتقييم النتائج.

٧. النتائج والمناقشة

تم في هذا البحث حساب الترددات الطبيعية الخمسة الأولى الموضحة في(الجدول) وكذلك حساب إجهاد الفتل على طول منظومة الدفع ورسم مخطط سرعة الاهتزاز باستخدام (SolidWorks) ومقارنة النتائج مع نتائج الطرق التحليلية في الدراسة المرجعية [4] والدراسة المرجعية [22] وتظهر مقارنة قيم الترددات الطبيعية الأول والثاني[١] في ( ) ونلاحظ التقارب الى حد ما عند التردد الطبيعي الأول والتفاوت في القيمة الى حد بعيد للطرق الثلاثة الأولى عن طريقة (HOLZER) والطريقة الرقمية باستخدام (SolidWorks)عند التردد الطبيعي الثاني ويعود ذلك لاختلاف الطريقة التي تتوزع بها الكتل حول محور الدوران بكلا الطريقتين والذي يظهر أثره مع ازدياد قيمة التردد ونرجح

[١] لم يتم مقارنة باقي الترددات لعدم توافرها بالدراسة المرجعية.

دقة النتائج مع زيادة عدد التقسيمات كون طريقة HOLZER تعتمد على تقسيم المنظومة لعدد كبير جداً من المقاطع بشكل يشابه الطرق الرقمية التي تقسم النظام لعدد كبير جدا من العناصر المتناهية الصغر.

الجدول ٤: الترددات الطبيعية الخمسة الأولى باستخدام SolidWorks.

Study name:Frequency 1

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	53.397	8.4984	0.11767
2	61.89	9.8501	0.10152
3	100.11	15.933	0.062763
4	100.2	15.947	0.062709
5	102.73	16.35	0.061163

الجدول ٥: مقارنة الترددات الطبيعية الأول والثاني.

NO	method	$\omega 1[hz]$	$\omega 2[hz]$
١	Tow-mass	٥,٢٥٠	١٩,٢٧١
٢	Three-mass	٥,١٦٧	١٩,١١
٣	Multi-mass	٥,٣٣٩	١٩,٢٢٢
٤	HOLZER	٧,٧٢١	٨,٩١١
٥	SolidWorks	٨,٤٩٨٤	٩,٨٥٠١

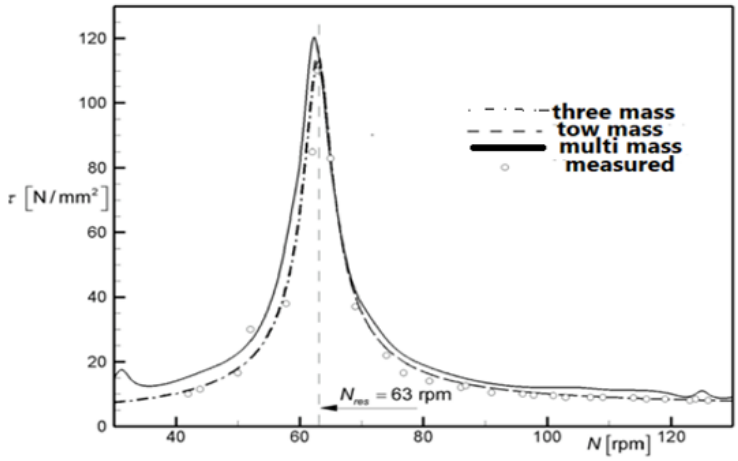
يلاحظ السهولة في الحصول على العدد اللازم من الترددات باستخدام (SolidWorks) مقاسةً بمختلف الواحدات مقارنة بالصعوبة الكبيرة بإيجاد عدد كبير من الترددات بالطرق التحليلية المذكورة في المرجع [4].

كذلك تم حساب إجهاد الفتل الأعظمي عند سرعات دوران مختلفة كما يعرض

الجدول ٤ يلاحظ من الجدول تقارب القيم كلما زاد عدد التقسيمات والمقاطع المكافئة لمحطة الدفع في الطريقة المستخدمة وهذا يعني التشابه الكبير بين النموذج الافتراضي ومحطة الدفع الحقيقية مع زيادة عدد التقسيمات (العناصر) الممثلة لها مما يؤيد اعتماد التحليل والمحاكات باستخدام (SolidWorks). توضح الاشكال ١٢-٩ قيم اجهاد الفتل الاعظمي

τ الذي تتعرض له منظومة الدفع عند سرعة الدوران الموافقة والذي تم حسابة باستخدام SolidWorks حيث يبلغ قيمته الاعظمية عند سرعة دوران ٦٣ وهي سرعة الدوران الحرجة التي يحدث عندها الطنين مما يؤدي لزيادة سعة الاهتزاز لمستويات غير مقبولة. قيم τللطرق التحليلية الموجودة في

الجدول ٤ أخذت من(الشكل ٨).



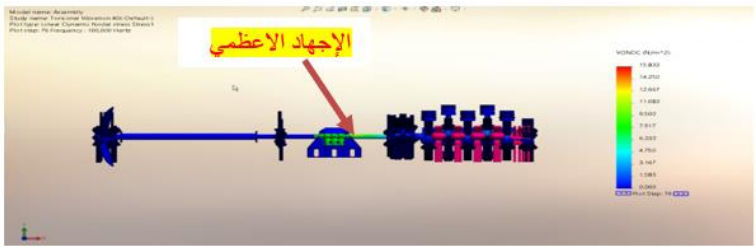
الشكل ٨: قيم الاجهاد τ كتابع لسرعة الدوران [4].

نستطيع باستخدام SolidWorks تحديد الاجهاد وسرعة وتسارع ومطال الاهتزاز عند كل عقدة وفي أي مكان على طول محطة الدفع وهو ما يحتاج للكثير من الوقت والجهد باستخدام الطرق التحليلية وكذلك تحديد المنطقة التي تتعرض لأُقصى إجهاد بكل سهولة وذلك بالبحث عن اللون الأحمر على امتداد النموذج بينما بالطرق التحليلية نحن بحاجة لرسم أنماط الاهتزاز وتخمين أن الكتلة التي تهتز أكبر ما يمكن ستتعرض لأقصى إجهاد، وبالتالي يمكن تحديد العمر الافتراضي وعدد ساعات العمل قبل الصيانة وكذلك دراسة ونمذجة الحلول المقترحة وتأثيرها على الأداء العام للمحطة بكل سهولة وهو الأمر الغير ممكن التحقيق لولا النمذجة الرقمية.

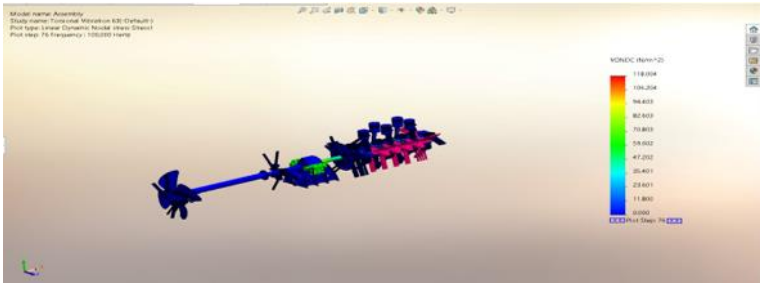
الجدول ٤: مقارنة إجهاد الفتل الأعظمي عند سرعات دوران مختلفة

الحالة	N [rpm]	M_E [MN.m]	$\tau[N/mm^2]$ Tow-mass	$\tau[N/mm^2]$ Three-mass	$\tau[N/mm^2]$ Multi-mass	$\tau[N/mm^2]$ SolidWorks
١	٤٠	٠,١٦	١٥	١٥,٢	١٥,٧	١٥,٨٣٣
٢	٦٣	٠,١٩	١١٦	١١٧	١١٨	١١٨,٠٠٤
٣	٨٠	٠,٢٥	١٨	١٨,٥	٢٠	١٩,٢٧٧
٤	١٠٠	٠,٣٥	١٣	١٢,٥	١٣,٥	١٣,٨٠٥

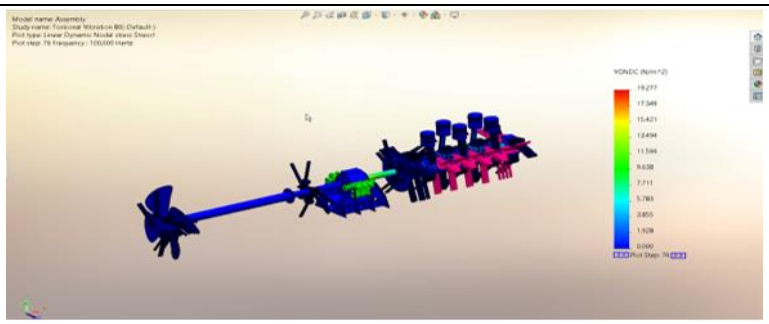
مثلا عند السرعة 40 rpm يبلغ إجهاد الفتل ذروته في الأجزاء الداخلية للعمود المتوسط، واللون الأزرق يعني أن الإجهاد ضمن الحدود الطبيعية للمادة المطبقة للعنصر المدروس.



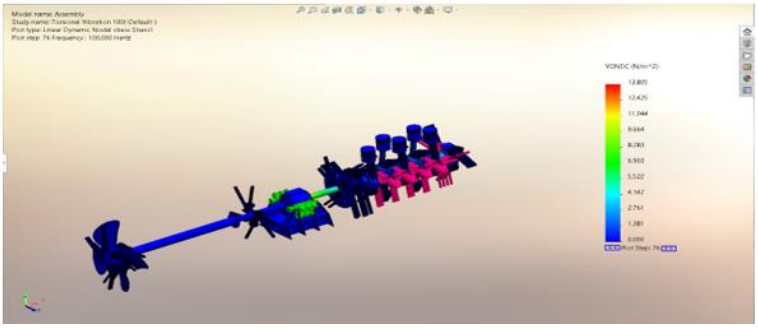
الشكل ٩: قيم الاجهاد عند السرعة ٤٠ دورة في الدقيقة.



الشكل ١٠: قيم الاجهاد عند السرعة ٦٣ دورة في الدقيقة.

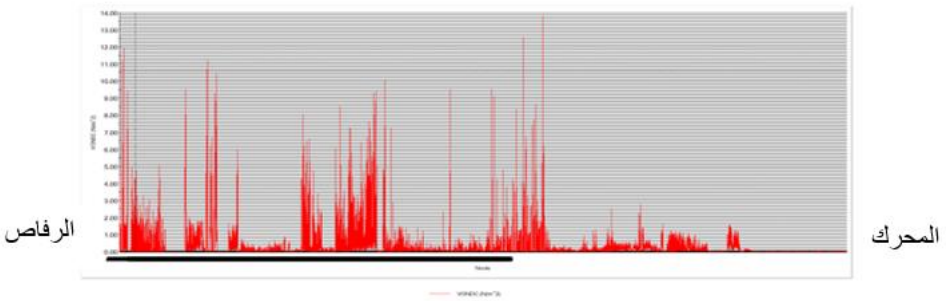


الشكل ١١: قيم الاجهاد عند السرعة ٨٠ دورة في الدقيقة.



الشكل ١٢: قيم الاجهاد عند السرعة ١٠٠ دورة في الدقيقة.

كذلك يمكن التعبير عن قيم الاجهاد بشكل أدق كما في الشكل ١٣الشكل ١٠ على طول محطة الدفع، يوضح الشكل أن القيمة الاعظمية للإجهاد عند السرعة 100 rpm تبلغ قيمتها في العمود المتوسط وتبلغ ١٣,٨ وهو ما يتوافق مع الشكل ١٢.



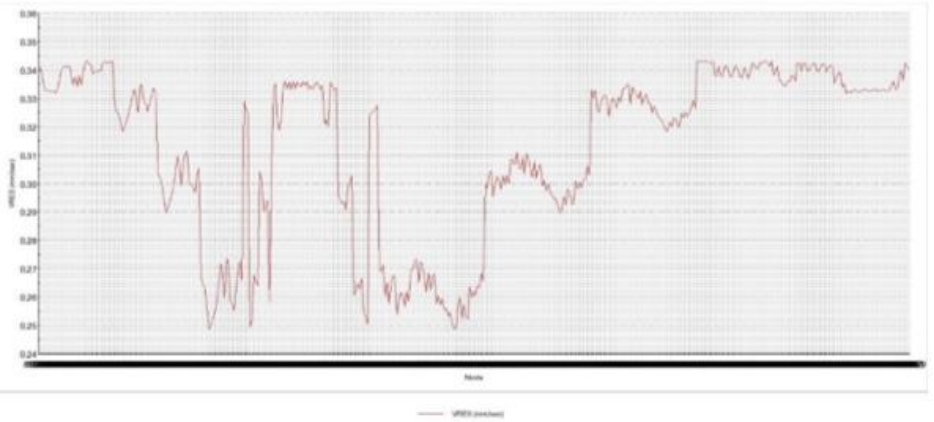
الشكل ١٣ : قيم إجهاد الفتل على طول محطة الدفع عند السرعة 100rpm.

يبين الجدول 5 أقصى سعة اهتزاز في مختلف الاتجاهات x, y, z مقاسة بـ mm عند أنماط اهتزاز مختلفة.

الجدول 5: إزاحة الاهتزاز الاعظمية عند أنماط اهتزاز مختلفة.

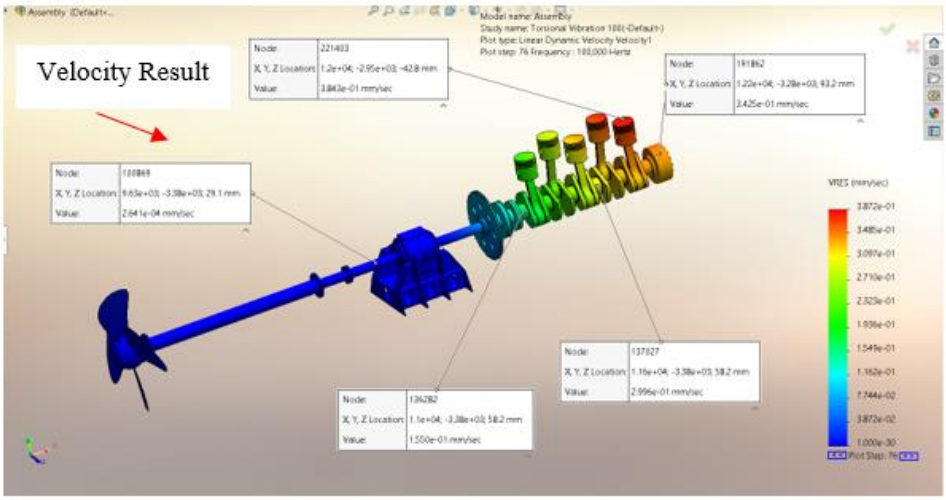
Mode Number	Frequency [Hz]	X direction	Y direction	Z direction
1	8.5254	0.00070113	0.14739	0.2906
2	9.9276	0.0010803	0.28984	0.15134
3	18.124	0.0018504	0.00018625	3.2488e-05
4	18.359	0.0017352	3.2879e-05	0.00019648

أيضا تم رسم مخطط سرعة الاهتزاز كما يبين الشكل ١٤ وهو منحني مهم يربط سرعة الاهتزاز مقاسة بـ mm/s على المحور الشاقولي مع العقد الممثلة لطول محور الدفع على المحور الافقي وتعد سرعة الاهتزاز احدى أهم الطرق لقياس وتقييم شدة الاهتزازات التي توصي بها هيئات التصنيف. وكما هو واضح من الشكل تبلغ اعلى سرعة اهتزاز في المكابس اقصى يمين الشكل بسبب بعدها عن محور الدوران. يعرض الشكل ١٥ نتائج تحليل سرعة الاهتزاز لمنظومة الدفع حيث تم حساب سرعة الاهتزاز في نقاط مختلفة بكل سهولة



الشكل ١٤: مخطط سرعة الاهتزاز.

تعتبر سرعة الاهتزاز من أهم البارامترات التي تعطي فكرة عن الأعطال التي تتشكل في الآلة ومنشأ هذه الأعطال. من خلال الشكل ١١ يمكن قراءة سرعة الاهتزاز عند كل نقطة من نقاط محطة الدفع. ويلاحظ من الشكل أن سرعة الاهتزاز تبلغ ذروتها في الاسطوانتين الأخيرتين للنهاية الحرة لعمود الكرنك.



الشكل ١٥: سرعة الاهتزاز الحرجة.

٨. الاستنتاجات والتوصيات

٨,١. الاستنتاجات

من خلال هذا البحث يمكن الوصول إلى مجموعة من الاستنتاجات والتي يمكن تلخيصها كما التالي:

١. المحاكاة الرقمية للاهتزازات تعتبر أداة جيدة جداً من أجل تصميم واختبار الأنظمة الميكانيكية في البيئة الافتراضية، وهذا يساعد بشكل كبير في توفير الجهد والوقت والتكلفة.

٢. النتائج التي يتم الحصول عليها باستخدام برنامج الـ SolidWorks تتوافق بشكل كبير مع طريقة Holzer وذلك لأن طريقة Holzer تعتمد على تقسيم المنظومة إلى عدد كبير من المقاطع وهذا مشابه من حيث المبدأ للطريقة الرقمية (FEM) التي يستخدمها البرنامج.

٣. السهولة في الحصول على العدد اللازم من الترددات الطبيعية للمنظومة باستخدام (SolidWorks) مقاسةً بمختلف الواحدات مقارنة بالصعوبة الكبيرة بإيجاد عدد كبير من الترددات بالطرق التحليلية المذكورة في المرجع [4].

٤. يُمَكِّننا برنامج الـ SolidWorks من اختبار الكثير من الشروط الحدية التي من الممكن أن تتعرض لها المنظومة أثناء عملها ومعرفة نتائج هذه الشروط على عمل المنظومة وهذا يساعد بشكل كبير في توقع أداء المنظومة واتخاذ الاحتياطات اللازمة لتفادي أخطار الاهتزازات من المراحل الأولى للتصميم وبالتالي زيادة عمر المنظومة وتقليل صيانتها.

٥. يجب تصميم النموذج بحيث تكون تردداته الطبيعية بعيده الى حد ما عن الترددات القسرية التي سيتعرض لها.

٦. العامل المؤثر على الإجهادات هو سرعة الدوران ولا تأثير لتوزع الكتل.

٧. – تحديد المنطقة الأكثر عرضة للإجهاد والاتجاه الذي يتعرض لأكبر إزاحة.

٨,٢. التوصيات

- يوصى باستخدام برامج النمذجة الرقمية (مثل الـ SolidWorks, Ansys) في حسابات الاهتزازات للأنظمة المعقدة وذلك للدقة الإضافية التي تمنحها مقارنة بالطرق التحليلية.

- يوصى بعدم إغفال الأنواع الخاصة للقوى والعزوم التي يتعرض لها نظام الدفع وعدم اعتبارها قوى توافقية بشكل دائم.

- من الأفضل حساب قيمة العزوم المؤثرة عند قيم سرعات مختلفة ثم تطبيق العزوم على النظام وأجراء الدراسة لأن محاولة جعل البرنامج يغير السرعة ويحسب العزوم الجديدة ويطبقها على النظام ستكون عملية معقدة ضمن نفس الدراسة.

٨,٣. التوصيات للأعمال المستقبلية

- يوصى بإجراء نمذجة لنظام الدفع أثناء دوران الرفاص في الماء باستخدام Simulation flow وذلك لمقارنة عطالة المياه المرافقة لشفرات الرفاص بالطريقة الرقمية باستخدام SolidWorks مع العطالة المحسوبة بالطرق التقريبية لما لها من تأثير واضح على عطالة العمود ككل وبالتالي تأثير كبير على الاجهادات المرافقة لاهتزازات الفتل.
- يوصى بالبحث عن طرق وأساليب من شأنها تخفيض الاهتزازات وضبطها ومحاكاة هذه الطرق باستخدامSolidWorks .

References

[1] L. M. Gómez-López, V. Miguel, A. Martínez, J. Coello, and A. Calatayud, "Simulation and Modeling of Single Point Incremental Forming Processes within a Solidworks Environment," *Procedia Eng.*, vol. 63, pp. 632–641, Jan. 2013, doi: 10.1016/J.PROENG.2013.08.253.

[2] S. Bock, "New open-source ANSYS-SolidWorks-FLAC3D geometry conversion programs," *J. Sustain. Min.*, vol. 14, no. 3, pp. 124–132, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.JSM.2015.11.002.

[3] R. Abdallah *et al.*, "The use of SolidWorks in the evaluation of wind turbines in Palestine," *Energy Nexus*, vol. 7, p. 100135, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.NEXUS.2022.100135.

[4] I. Glodová, T. Lipták, and J. Bocko, "Usage of Finite Element Method for Motion and Thermal Analysis of a Specific Object in SolidWorks Environment," *Procedia Eng.*, vol. 96, pp. 131–135, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.PROENG.2014.12.131.

[5] A. Arora, A. Pathak, A. Juneja, P. Shakkarwal, and R. Kumar, "Design and analysis of multi cavity injection mould using solidworks," *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 3648–3650, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.12.343.

[6] M. Feder, A. Giusti, and R. Vidoni, "An approach for automatic generation of the URDF file of modular robots from modules designed using SolidWorks," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 858–864, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.PROCS.2022.01.283.

[7] N. Dagar, R. Sharma, M. Lal Rinawa, S. Gupta, V. Chaudhary, and P. Gupta, "Design and analysis of piston using aluminum alloy and composites in Solidworks and Ansys," *Mater. Today Proc.*, vol. 67, pp. 784–791, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.07.318.

[8] R. Mahakul, D. Nath Thatoi, S. Choudhury, and P. Patnaik, "Design and numerical analysis of spur gear using SolidWorks simulation technique," *Mater. Today Proc.*, vol. 41, pp. 340–346, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2020.09.554.

[9] A. Arora, A. Pathak, A. Juneja, P. Shakkarwal, and R. Kumar, "Design & analysis of progressive die using SOLIDWORKS," *Mater. Today Proc.*, vol. 51, pp. 956–960, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.06.335.

[10] K. Vardaan and P. Kumar, "Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation," *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 3651–3655, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.12.348.

[11] S. Mishra and A. V. Ullas, "Concept Modelling of Small Scale Device for Continuous Production of Graphene using Solidworks," *Mater. Today Proc.*, vol. 79, pp. 345–348, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.12.034.

[12] Y. A. Batrak, A. M. Serdjuchenko, and A. I. Tarasenko, "Calculation of torsional vibration responses in propulsion shafting system caused by ice impacts," *Torsional Vib. Symp.*, no. January 2011, 2014.

[13] L. Murawski and A. Charchalis, "Simpli fi ed method of torsional vibration calculation of marine power transmission system," vol. 39, pp. 335–349, 2014.

[14] D. Van Doan, L. Murawski, and K. P. Techniki, "VIBRATIONS IN MARINE POWER TRANSMISSION SYSTEM," no. 100, pp. 37–50, 2017.

[15] I. Senjanović, I. Ančić, G. Magazinović, N. Alujević, N. Vladimir, and D. S. Cho, "Validation of analytical methods for the estimation of the torsional vibrations of ship power transmission systems," *Ocean Eng.*, vol. 184, pp. 107–120, Jul. 2019, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2019.04.016.

[16] M. Acanfora, M. Altosole, F. Balsamo, L. Micoli, and U. Campora, "Simulation Modeling of a Ship Propulsion System in Waves for Control Purposes," 2022.

[17] B. Iasi-ro, "PARAMETRIC OPTIMIZATION AND CALCULATION OF VIBRATIONS INTRODUCTED BY PROPULSION INSTALLATION," pp. 15–28, doi: 10.2478/9788395720413-002.

[18] H. Rimstad, "Dynamic Modelling , Vibration and Fatigue Analysis of Slow Rotating Propulsion Systems," no. July, 2018.

[19] I. Senjanović, N. Hadžić, L. Murawski, N. Vladimir, N. Alujević, and D. S. Cho, "Analytical procedures for torsional vibration analysis of ship power transmission system," *Eng. Struct.*, vol. 178, no. October 2018, pp.

227–244, 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.10.035.

[20] A. E. Analysis, *Introduction to Finite-element Analysis*, vol. 2018, no. Isbn 9781119071204. 2018.

[21] J. E. Akin, "Finite Element Analysis Concepts via SolidWorks," 2009.

[22] N. Awattef, M. Esber, M. Khnese, and A. Saleh, "Simulation of Torsion Vibration of Power Transmission Shaft in Marine Propulsion System using MATLAB," *Tishreen Univ. J. Res. Sci. Stud. - Eng. Sci. Ser.*, vol. 46, no. 3, 2024.