

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 22

1445 هـ - 2023 م

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

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

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
42-11	م. أوس عثمان د. توفيق المسعود	النمذجة الرياضية للضاغط اللولبي المستخدم في معالجة الغاز
82-43	م. حسام رسلان د. بسيم برهوم	تطوير اقتراح الأوامر في نظام القيادة الذاتية ADAS
114-83	م. محمود أسعد د. محمد غانم د. سمير الأحمد	إعداد دراسة رياضية ومحاكاة ميكانيكية لآلة زراعة دقيقة مفردة الحبة محمولة على جرار زراعي
152-115	م. ليبيب حسن د. سامر ربيع د. فراس الخليل	دراسة فعالية إعادة بناء الشبكة الكهربائية لتغذية المدينة باستخدام طريقة التدرج

النمذجة الرياضية للضاغط اللولبي المستخدم في

معالجة الغاز

د.م توفيق المسعود * م. أوس عثمان **

* أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، الجمهورية العربية السورية، محافظة حمص.

** وطالب دكتوراه في قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث، الجمهورية العربية السورية، محافظة حمص.

الملخص

يستخدم غاز البروبان في عمليات معالجة الغاز بشكل كبير نظراً لخصائصه التبريدية التي يتم الاستفادة منها لتبريد الغاز و فصل المركبات الغازية عن بعضها بالاعتماد على الخصائص الفيزيائية لها.

إن تطوير وحدة تبريد الغاز بالبروبان يحتاج لدراسة وتطوير كل مكون من مكوناتها وفي هذا البحث سنركز على دراسة الضاغط اللولبي المستخدم في وحدة تبريد الغاز الطبيعي. وحتى نتمكن من دراسته سنقوم باستخدام النمذجة الرياضية التي تهدف إلى إيجاد وصف رياضي للنظام المدروس ودراسة السلوك الديناميكي لهذا النظام بهدف تحسين أدائه، يتم استخدام النمذجة الرياضية من أجل توفير الوقت والكلفة عند تحسين وتطوير المنتجات أو في حالة خلق منتجات جديدة من خلال المحاكاة التي تغنينا عن محطات الاختبار المكلفة والمضيعة للوقت. كما تساعدنا في توضيح الظواهر الفيزيائية أو التأثيرات غير المرغوب فيها وتمكننا من تحديد البارامترات الكاملة المطلوبة عند التصميم وبشكل دقيق. تعد الوظيفة الرئيسية للضاغط المستخدمة في وحدة التبريد هي زيادة ضغط غاز البروبان ، سنقوم في هذا البحث بنمذجة الضاغط اللولبي لحساب تغييرات الحجم وحل هذا النموذج باستخدام برنامج MATLAB.

الكلمات المفتاحية: وحدة تبريد الغاز الطبيعي، الضاغط اللولبي، النموذج الرياضي،

MATLAB.

Mathematical modeling of a screw compressor used in gas processing

ABSTRACT

Propane gas is used in gas treatment operations in a way due to its cooling properties that are used to cool the gas and separate the gaseous compounds from each other depending on their physical properties.

The development of the propane gas refrigeration unit needs to study and develop each of its components, and in this research, we will focus on studying the screw compressor used in the natural gas refrigeration unit. In order to be able to study it, we will use mathematical modeling that aims to find a mathematical description of the studied system and study the dynamic behavior of this system in order to improve its performance. Mathematical modeling is used in order to save time and cost when improving and developing products or in the case of creating new products through simulation that eliminates the need Expensive and time consuming test stations. It also helps us clarify physical phenomena or undesirable influences and enables us to specify the exact parameters required when designing.

The main function of the compressors used in the refrigeration unit is to increase the pressure of propane gas. In this research, we will model the screw compressor to calculate the change of volume and solve this model using MATLAB program.

Keywords: natural gas refrigeration unit, screw compressor, Mathematic Modeling, MATLAB.

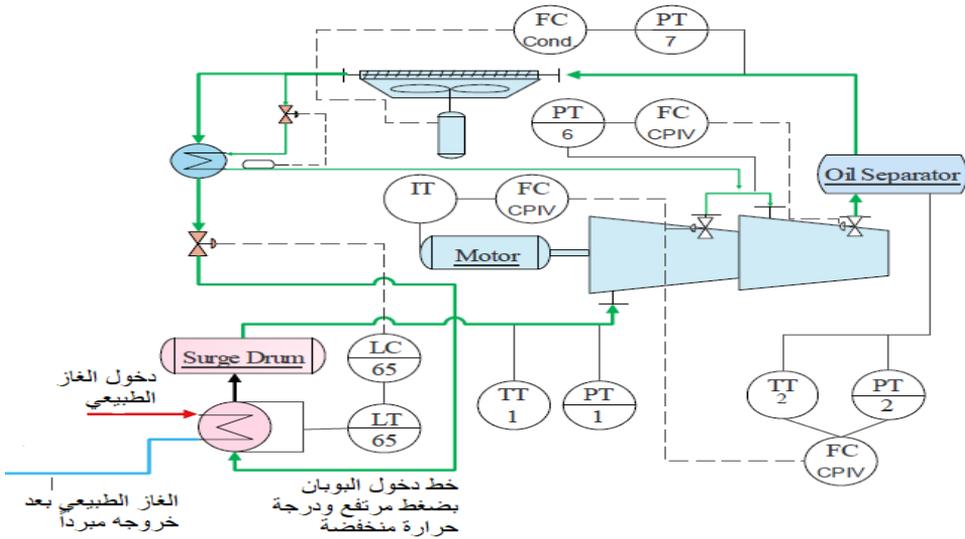
1- مقدمة:

يستخدم غاز البروبان كوسيط رئيسي لتبريد الغاز الطبيعي المستخرج من الآبار الغازية و القادم من فواصل الغاز الأولية في معامل معالجة الغاز ، حيث يتم تبريد الغاز الطبيعي إلى الدرجة التي يتم فيها فصل غازي الميثان و الإيثان (في الحالة الغازية) عن باقي المركبات الهيدروكربونية التي تبقى في الحالة السائلة و ذلك لتقليل الطاقة و عمليات المعالجة اللاحقة التي تهدف لاستخلاص غازات الميثان و الإيثان في أبراج التقطير. وتتألف وحدة تبريد الغاز الطبيعي بالبروبان من المكونات التالية كما هو مبين بالشكل (1):

الضاغط: ويقوم برفع ضغط غاز البروبان و درجة حرارته.

المكثف الهوائي: يدخل الهواء المضغوط القادم من الضاغط إلى الأنابيب الداخلية للمكثف حيث يتم توجيه تيار هوائي بواسطة مجموعة من المراوح المركبة أعلى الأنابيب لتبريد الغاز و تحويله من الحالة الغازية للحالة السائلة.

المبادلات الحرارية: تقوم بتبريد غاز البروبان تحت ضغط مرتفع و هو في الحالة السائلة إلى درجة الحرارة المناسبة لعملية الفصل .



الشكل (1) مكونات وحدة تبريد الغاز الطبيعي بالبروبان

إن تطوير الوحدة يحتاج لدراسة وتطوير كل مكون من مكوناتها وفي هذا البحث سنركز على دراسة الضاغط اللولبي المستخدم فيها.

لدى الرجوع إلى الأبحاث المنشورة في هذا المجال نجد أنه في البحث [1] قام الباحث بتقديم نموذج رياضي حسابي للضاغط اللولبي الثنائي ودراسة بارامترات الدخل وتأثيرها على أداء الضاغط أثناء الاستثمار.

أما البحث [2] فقد قام الباحث بتقديم متحكم PID يتم توليف بارامتراته باستخدام FLC للتحكم بالضاغط .

و البحث [3] فقد قام الباحث بتقديم نموذج رياضي للضاغط اللولبي الثنائي وتصميم نظامي تحكم له، الأول تقليدي يتحكم بالمحرك التحريضي والثاني بإضافة معوضات للمتحكمات التقليدية ومقارنة أداء المتحكمات.

2- هدف البحث:

الحصول على نموذج رياضي دقيق للضاغط اللولبي المستخدم في وحدة تبريد الغاز الطبيعي العاملة في معامل معالجة الغاز والذي يمكننا من دراسة الضاغط وتطويره من الناحية الهندسية مع الحفاظ على أعلى أداء عند ضغط الغاز ، كما نتمكن من تطوير أنظمة التحكم به ضمن الوحدة.

3- مواد وطرق البحث:

تم في هذا البحث إجراء دراسة هندسية و تحليلية للضاغط اللولبي للحصول على نموذج رياضي للضاغط ذي المواصفات الموضحة بالجدول (1).

2	عدد المراحل
5.1	نسبة الانضغاط المرحلة الأولى
3.6	نسبة الانضغاط المرحلة الثانية
17240 [Kg/h]	التدفق الكتلي للبروبان الداخل للمرحلة الأولى
26160[Kg/h]	التدفق الكتلي للبروبان الداخل للمرحلة الثانية
1.05 bar	ضغط الغاز الداخل للمرحلة الأولى
19.4 bar	ضغط الغاز الخارج من المرحلة الثانية
150 [m/s]	سرعة دخول الغاز
2950 [rpm]	سرعة محور الضاغط

الجدول (1) مواصفات الضاغط اللولبي المدروس

تم بناء النموذج باستخدام برنامج الـ MATLAB والحصول على منحنيات تصف لنا هندسة الضاغط اللولبي.

4- النتائج والمناقشة:

4-1 الضواغط اللولبية (Screw compressor):

تستخدم الضواغط بشكل واسع في التطبيقات الصناعية وتعد الوظيفة الرئيسية للضواغط هي زيادة ضغط الوسيط العامل ودرجة حرارته وذلك للاستفادة منه في وظائف متنوعة (تسييل الغازات - عمليات الاحتراق - التبريد - تعبئة الغاز للبيع والتخزين - تأمين الهواء لمعدات التصنيع وغيرها).

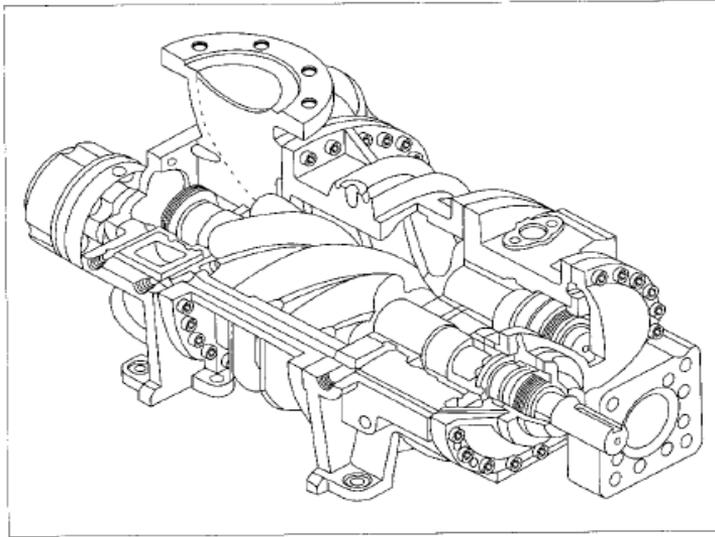
في جميع المعامل الغازية تتم عملية الانضغاط باستخدام ضواغط الإزاحة الموجية (positive displacement compressor) ، إما تكون ضواغط ترددية (

تدفع منخفضة أو الضواغط الدورانية (rotary compressor) و التي تعطينا ارتفاع كبير بالضغط و نسب تدفق مرتفعة [4].

تتألف الضواغط اللولبية من قسمين، القسم الدوار و هو عبارة عن جزأين حلزونيين دوارين متعشقين مع بعضهما، أحدهما لديه أربع نتوءات والأخر لديه ستة ، و يثبت الجزأين الدوارين على محامل موجودة في كل نهاية من هيكل الضاغط.

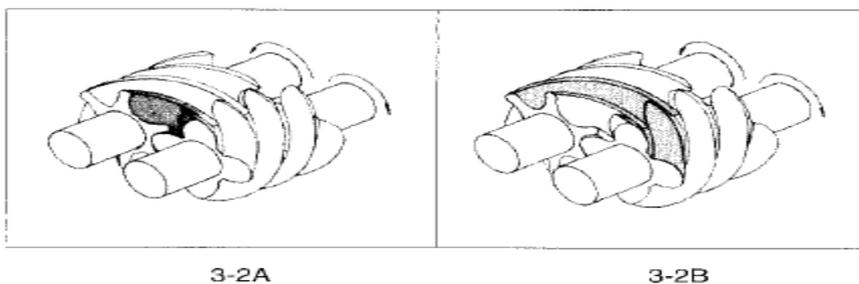
الدوار ذو النتوءات الأربعة يسمى الدوار "الذكر" بينما الدوار ذو النتوءات الستة يدعى الدوار "الأنثى".

يوضح الشكل (2) مقطع من الضاغط اللولبي



الشكل (2) الضاغط اللولبي

أما الشكل (3) يبين الحلزونيين المتعشقين في الضاغط .



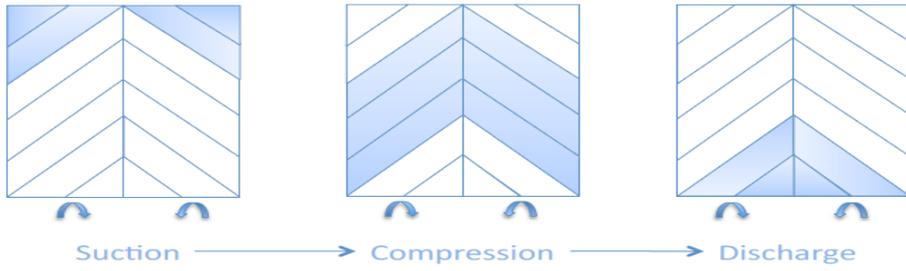
الشكل (3)

يُنشأ الضاغط اللولبي تدفق مستمر عن طريق ضغط الغاز فيه حيث يتم حصر الغاز بعد دخوله في التجويف المتشكل بين اللولبين و الغلاف المحيط و نتيجة الحركة الدورانية للوالب ينحسر هذا التجويف و يقل حجمه و بالتالي ينضغط الغاز الموجود داخل التجويف .

الأجزاء الدوارة في الضاغط تتضمن عدد من التلافيف (حلزون) و التي يختلف عددها بين القائد و المقاد ، و يتم تدوير القائد بواسطة محرك كهربائي و يقوم بدوره بنقل الحركة إلى المقاد عن طريق التعشيق .

حجم التجويف : و هو يتشكل وينحسر في كل دورة للضاغط و تسمى هذه العملية بمرحلة الانضغاط .

أثناء دوران الضاغط اللولبي يفتح منفذ الدخل و يدخل الغاز إلى الضاغط ، و عندما يكون حجم التجويف أعظمي و الممر بين المدخل و التجويف مغلق ، يبدأ حجم التجويف بالتناقص حيث تبدأ مرحلة الضغط ، و تبدأ مرحلة الإخراج عندما يبدأ الحد بين التجويف و منفذ الخرج بالانفتاح .و يوضح الشكل(4) مراحل السحب و الضغط و الإخراج بشكل مبسط .



الشكل (4) مراحل عمل الضاغط اللولبي

2-4 نمذجة الضاغط اللولبي (Modeling of screw compressor):

إن النمذجة الرياضية هي عبارة عن عملية إيجاد العلاقات الرياضية التي تمثل حركة النظام المدروس أو بمعنى آخر إيجاد العلاقة الرياضية التي تربط دخل النظام المدروس وخرجه.

إن أهم بارامتر يؤثر على الضاغط بشكل كامل هو حجم التجويف و المقصود به الحجم المتشكل بين جسم الضاغط و نتوءات اللولبين الذكر و الأنثى و الذي سوف يحتوي على الغاز المراد ضغطه ، و هو بارامتر متغير بمرور الزمن أثناء دوران الضاغط ، و بالتالي لا بد من دراسة هندسة الضاغط اللولبي للحصول على حجم التجويف المتشكل أثناء الدوران لنتمكن من نمذجة الضاغط اللولبي . و في هذا البحث تمت دراسة و إيجاد المعادلات التي تعطينا حجم التجويف و التي ستمكننا من نمذجة الضاغط اللولبي لاحقاً .

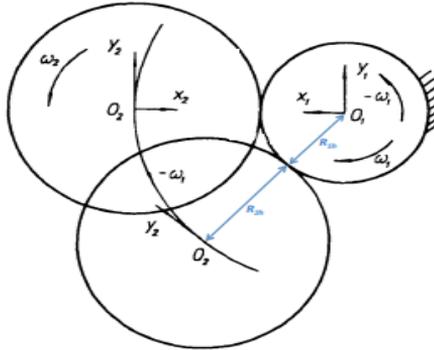
هندسة الضاغط اللولبي :

إن شكل النتوء (الحلزون) في الضاغط و مقاساته و تجاوبه تؤثر على أداء الضاغط بشكل كبير ، حيث يتم تصميم الحلزون ليناسب متطلبات عملية الضغط ، إذ تؤثر الحرارة و الضغط و خصائص الغاز و غيرها على عملية الضغط ، و قد تم اقتراح عدة أشكال للحلزون و لكل منها غرضها الخاص ، كما تعد سرعة الدوران ذات تأثير كبير

على كفاءة الضاغط حيث يحد أن تكون عالية قدر الإمكان مع مراعاة شروط السلامة للمعدات ، و بالتالي لتحقيق هذه المتطلبات يتم تصميم وهندسة الحلزون حتى يلبي الكفاءة المطلوبة .

يمكن اعتبار كل تغيير في حجم التجويف و الذي ينتج عن عملية دوران المحاور عملية انضغاط قائمة بحد ذاتها كما يتميز كل ضاغط بحجم الانضغاط الخاص به ، و قد تم تطوير نموذج رياضي لمحاكاة هندسة الضاغط اللولبي حيث تم اعتماد عدة طرق لنمذجة منحنيات الضاغط وجميعها تعتمد على نظرية واحدة (نظرية التغليف) [5].

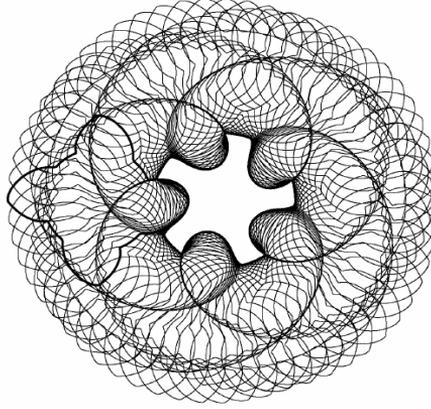
تستخدم هذه النظرية لإنشاء التشكيلات الجانبية (منحنيات) الأجزاء الدوارة (القائد و المقود) في الضاغط ، إذ تنص على أنه " يعتبر السطحين متصلين ببعضهما (متعاشقين) في حال كان كل منهما يولد أو يطوق الآخر في حركة نسبية محددة . حيث يرسم الجزء القائد منحنياً يُستخدم لتوليد منحنى الجزء المقود" ، كما هو موضح في الشكل (5) و الشكل (6) .



الشكل (5)

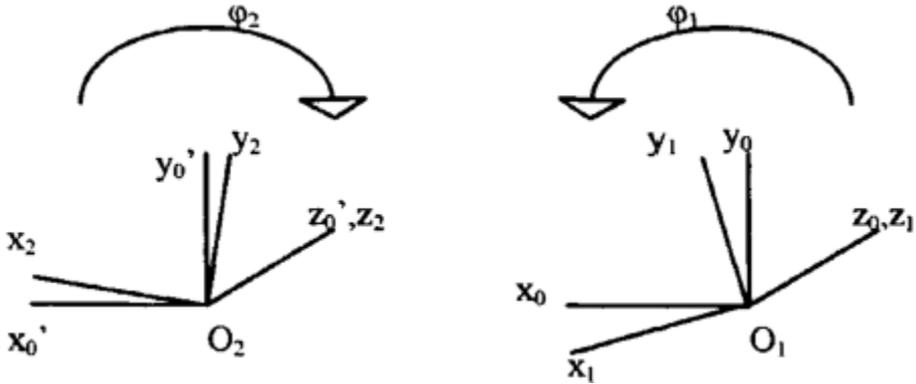
تفترض هذه النظرية أن الجزء الدوار يرسم منحنياً بشكل دائرة و يدور حول مركز ثابت بينما الجزء المقود يدور حول مركزه و يتم توليد حركته من الجزء القائد و بالتالي يدور حول الجزء القائد أيضا و ينتج حركتين دائريتين . و بالتالي فإن منحنى الجزء القائد و

المقود مقترنان ببعض ويمكن استنتاج منحنى الجزء المقاد بالاعتماد على القائد و يتم استنتاج العلاقة بين المنحنيات بالاعتماد على زوايا الدوران [6] .



الشكل (6)

و تم تعريف أنظمة احداثيات لوصف العلاقة القائمة على الزوايا بين الأجزاء الدوارة ، و لكل جزء دوار نظام احداثيات ثابت و نظام احداثيات دوران ، كما هو موضح في الشكل (7) حيث يرمز الرقم (1) للجزء القائد و (2) للمقود و (0) الاحداثيات الثابتة [5],[7].



الشكل (7)

يمكن توصيف نظام الإحداثيات رياضياً و تعرف علاقة تغيير الزوايا على أنها العلاقة بين منحنى القائد و المقود و المعادلات التي تستخدم لتوصيف و رسم منحنيات القائد و المقود هي :

- علاقة زوايا الدوران في نظام الاحداثيات المعتمد :

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{b_2}{b_1} = i_{21} = \frac{1}{i_{12}} = \frac{r_{1h}}{r_{2h}}$$

r_{1h} و هو نصف قطر الجزء القائد من المركز و حتى بداية الحلزون و r_{2h} تمثل نصف قطر المقاد من المركز و حتى بداية تشكيل القمة في الحلزون كما هو موضح في الشكل (5) .

- من أجل تمثيل المنحني في المستوى ثلاثي الأبعاد يتم إيجاد الحركة على المحور (Z) كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$Z = L \cdot \frac{\tau}{\tau_w}$$

إن الاحداثيات الخاصة بنقاط المنحني تكون تابعة في المعادلة لبارمتر متغير ψ

و تكتب معادلات الإحداثيات لنقاط المنحني للجزء القائد بدلالة احداثيات المقود :

$$x_1 = x_1(\varphi_1, \psi) = D \cos(\varphi_1) + x_2(\psi) \cos(k\varphi_1) - y_2(\psi) \sin(k\varphi_1)$$

$$y_1 = y_1(\varphi_1, \psi) = D \sin(\varphi_1) + x_2(\psi) \sin(k\varphi_1) - y_2(\psi) \cos(k\varphi_1)$$

و معادلات احداثيات نقاط منحنى الجزء المقود بدلالة احداثيات القائد :

$$x_2 = x_2(\varphi_1, \psi) = -D \cos(i_{21}, \varphi_1) + x_1(\psi) \cos(k\varphi_1) + y_1(\psi) \sin(k\varphi_1)$$

$$y_2 = y_2(\varphi_1, \psi) = D \sin(i_{21}, \varphi_1) - x_1(\psi) \sin(k\varphi_1) + y_1(\psi) \cos(k\varphi_1)$$

حيث تمثل D المسافة بين محوري القائد و المقود ، و

$$K = 1 + i_{21}$$

و لكي تكون الاحداثيات صحيحة و تتحقق حركة المقود باستخدام القائد يجب أن يتحقق شرط الربط :

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial x_2}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial x_2}{\partial \psi} \\ \frac{\partial y_2}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial y_2}{\partial \psi} \end{vmatrix} = 0$$

احداثيات المركز بالنسبة لنقاط منحنى القائد :

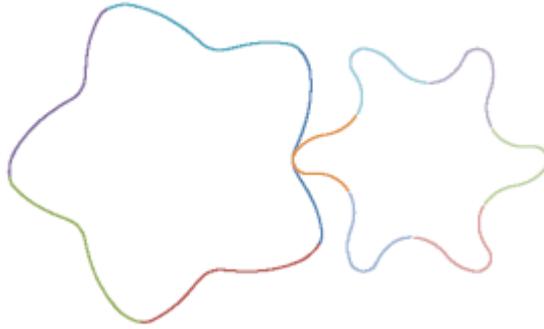
$$x_0 = x_1 \psi \cos \varphi_1 + y_1 \psi \sin \varphi_1$$

$$y_0 = - x_1 \psi \sin \varphi_1 + y_1 \psi \cos \varphi_1$$

بعض البارامترات يجب أن تكون معلومة من أجل رسم المنحنيات و هي موضحة في الجدول (2) أدناه :

الجدول (2)	
الرمز	التعريف
$r1h$	نصف قطر المحور القائد دون اللولب
r	نصف قطر قوس اللولب
$R1=r1h+r$	نصف قطر الجزء القائد الكامل
$r0$	نصف قطر قوس قمة لولب المقاد
$r2h = r1h \frac{b_2}{b_1}$	نصف قطر محور المقاد دون اللولب
$R2=r2h+r0$	نصف قطر الجزء المقاد الكامل
b_1	عدد نتوءات الجزء القائد
b_2	عدد نتوءات الجزء المقاد
τ_w	زاوية انحراف القائد
L	طول المحور

المعادلات السابقة تبين العلاقة بين الأجزاء الدوارة ، و هناك حسابات إضافية ضرورية لرسم و توليد المنحنيات ، و كمثال على ذلك يبين الشكل (8) منحنى اللولب القائد و المقاد مع بعضهما ، ففي البداية يتم إجراء حسابات الجزء القائد و إيجاد احداثيات نقاط المنحنى ليتم رسمه و بعد ذلك يتم إيجاد احداثيات نقاط منحنى الجزء المقاد حيث يتم الانتقال من نقطة للأخرى لتوليد المنحنى كاملاً .



الشكل (8)

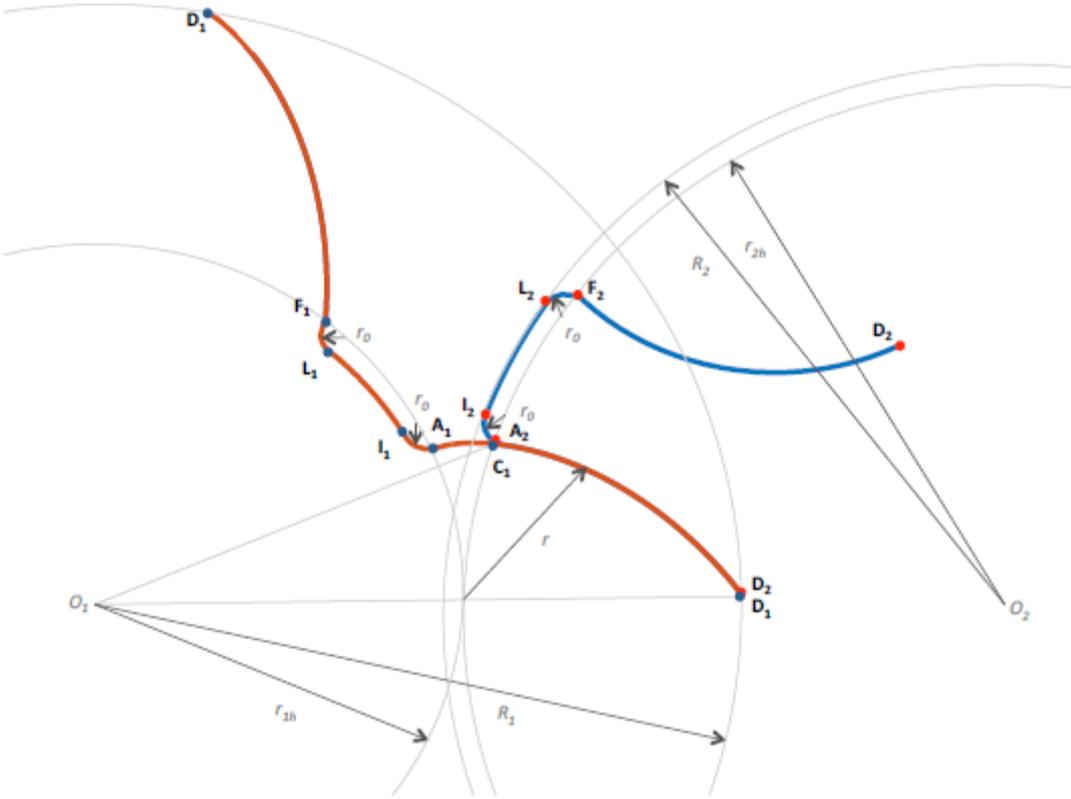
الشكل (9) يوضح مكان التقاء المنحنيين مع بعضهما ، حيث أن منحنى القائد يتألف من ست مناطق و التي تشكل مع بعضها منحنى أحد فصوص اللولب القائد ، هذه المناطق هي :

$D1C1 , C1A1 , A1I1 , I1L1 , L1F1 , F1D1$

و أجزاء المنحنى التي تشكل منحنى المقاد هي :

$D2C2 , C2A2 , A2I2 , I2L2 , L2F2 , F2D2$

جميع نتوءات اللولب القائد متماثلة ، فبعد أن يتم توليد منحنى أحدها يمكن إنشاء المنحنى الكامل للقائد و كذلك الأمر بالنسبة للمقاد .



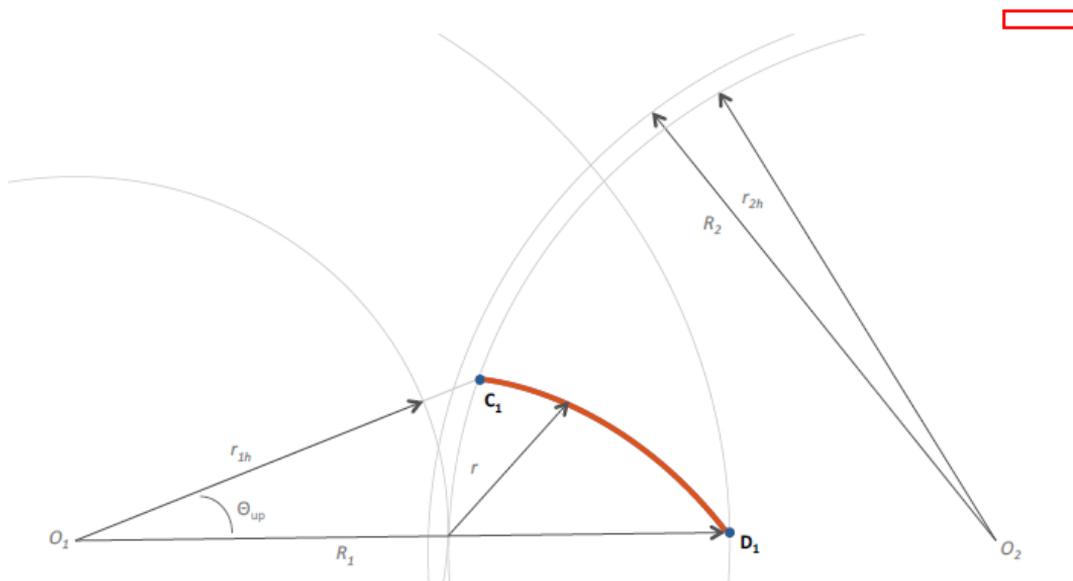
الشكل (9)

-أجزاء المنحنيات يتم إيجادها و إنشائها بشكل منفصل ، ولحساب المساحة الناتجة من المنحني (D1C1) نطبق المعادلة التالية :

$$\text{area of D1C1} = -\frac{r}{2}(r_{1h}(\sin(\varphi_{up}) - \sin(\varphi_{low})) + r(\varphi_{up} - \varphi_{low}))$$

سميت هذه الزوايا للدلالة على اتجاه الزاوية (من الزاوية الصغرى إلى الكبرى) ، φ_{up} هي الزاوية المتشكلة بين (D1 و C1) و مركز الجزء الدوار، و في هذه الحالة فإن φ_{low} مساوية للصفر كون هذا الجزء هو بداية المنحني والنقطة (C1) هي أول نقطة في المنحني .و بدلالة هذه الزاوية المتشكلة و نصف قطر القوس المتشكل

يتم حساب مساحة القطاع الدائرة المحدد بالقوس (C1 D1) ، يوضح الشكل (10) المنحني و الزوايا المتشكلة .



الشكل (10) منحنى (C1 D1)

يتم استخدام المعادلة أعلاه لحساب مساحة كل أجزاء المنحني و رسمها حيث يتم استخدام الزاوية الناتجة الخاصة بكل جزء . و يتم تجميع هذه الأجزاء و ربطها ببعضها لتشكيل المنحني الكامل للولب كما هو موضح في الشكل (9).

Area of C1A1

$$\varphi_{low} = i_{12} \cdot \arccos(D^2 + r_{2h}^2 - roc^2) / (2 \cdot D \cdot r_{2h})$$

$$\varphi_{up} = i_{21} \cdot \arccos(D^2 + r_{2h}^2 - r_{1h}^2) / (2 \cdot D \cdot r_{2h})$$

$$C1A1 = \frac{1}{2} \left((\varphi_{up} - \varphi_{low}) \cdot (D^2 + r_{2h}^2 \cdot K) - \frac{1+K}{i_{21}} \cdot D \cdot r_{h2} \cdot (\sin(\varphi_{up} \cdot i_{21}) - \sin(\varphi_{low} \cdot i_{12})) \right)$$

Area AII1:

$$\varphi_{low} = \arccos \frac{r_0}{2 \cdot r_{1h}}$$

$$\varphi_{up}=0$$

$$AII1 = \frac{r_0}{2} \cdot (r_{1h} \cdot (\sin(\varphi_{up}) - \sin(\varphi_{low})) - r_0 \cdot (\varphi_{up} - \varphi_{low}))$$

Area IIL1:

$$\varphi_{low} = -\varphi_1 - \varphi_5$$

$$\varphi_{up} = -\varphi_1 - 2 \cdot a_0 + \varphi_5$$

$$IIL1 = \frac{1}{2} \cdot (\varphi_{up} - \varphi_{low}) (r_{1h} - r_0)^2$$

Area L1F1 :

$$\varphi_{low} = 0$$

$$\varphi_{up} = -\arccos \frac{r_0}{(2 \cdot r_{1h})}$$

$$L1F1 = \frac{r_0}{2} \cdot (r_0 \cdot (\varphi_{up} - \varphi_{low}) - r_{1h} \cdot (\sin(\varphi_{up}) - \sin(\varphi_{low})))$$

Area of F1D1 :

$$\varphi_{low} = i_{12} \cdot \arccos(D^2 + r_{2h}^2 - r_{1h}^2) / (2 \cdot D \cdot r_{2h})$$

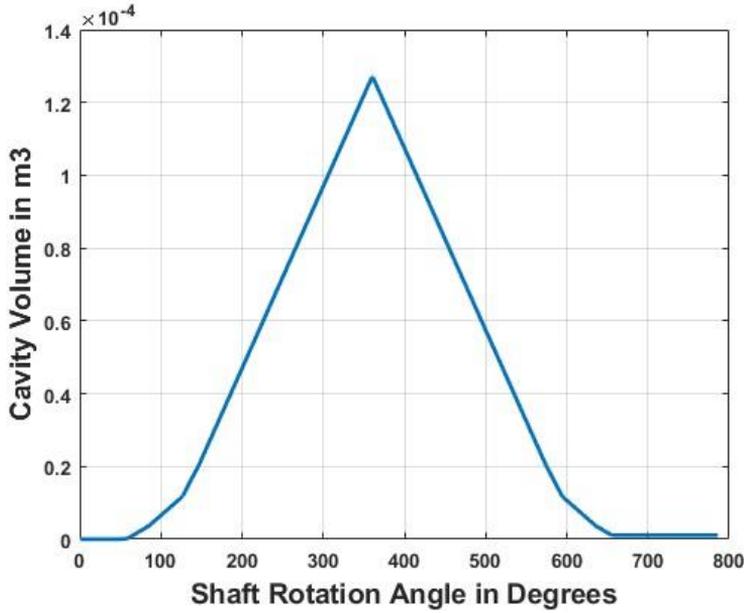
$$\varphi_{up} = i_{21} \cdot \arccos(D^2 + r_{2h}^2 - R_1^2) / (2 \cdot D \cdot r_{2h})$$

$$F1D1 = \frac{1}{2} \left(\frac{(\varphi_{up} - \varphi_{low}) \cdot (-D^2 - r_{2h}^2 \cdot K) + (1+K)}{D \cdot r_{h2} \cdot i_{21} \cdot (\sin(\varphi_{up} \cdot i_{21}) - \sin(\varphi_{low} \cdot i_{12}))} \right)$$

3-4 : الاستنتاجات والتوصيات:

- الخاصية الأكثر أهمية المستخدمة في النموذج الديناميكي الحراري هي حجم التجويف
و قد تم نمذجة هندسة الضاغط اللولبي لحساب تغير الحجم وفق البرنامج الموضح في الملحق (A) .

حيث أنه و بتطبيق هذا البرنامج نحصل على منحنى تغيير حجم التجويف الذي يتشكل بدلالة زاوية دوران محور الضاغط اللولبي و الموضح في الشكل (11)



الشكل (11) منحنى تغيير حجم التجويف

تغييرات الحجم تقسم لمرحلتين رئيسيتين وهما مرحلة السحب و مرحلة الانضغاط (متضمنة مرحلة الإخراج) .

يبين الشكل (11) تغييرات الحجم في المرحلتين فالمنحني باللون الأحمر يمثل حجم التجويف ،القسم المتزايد يمثل مرحلة السحب حيث يزداد حجم التجويف في الضاغط ، و الجزء المتناقص في المنحني يمثل مرحلة الانضغاط و التي تترافق مع نقصان الحجم، ويمثل الجزأين مع بعضهما تغيير حجم التجويف خلال مرحلة انضغاط كاملة لتتوء واحد. حيث يبين الشكل معدل زيادة أو نقصان الحجم خلال دورة كاملة (زاوية 777 درجة) لمحور الدوران .

التغير من ازدياد الحجم إلى تناقصه (قمة المنحني) تقابل القيمة العليا في منحني الحجم عند الزاوية 388.5 درجة .

المخرجان الآخران الناتجان من نموذج الديناميكي الحراري هما مساحة منطقة السحب و مساحة منطقة الخرج و اللذان يظهران في الشكل (12) .

مرحلة السحب :

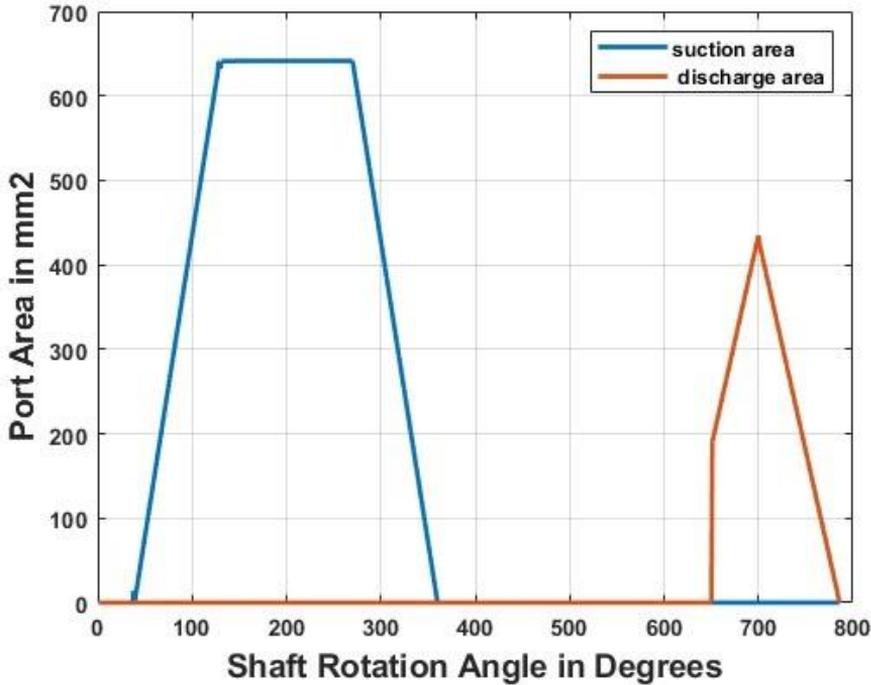
خلال مرحلة السحب يتدفق المائع إلى الضاغط و كلما كانت مساحة المنطقة أكبر كانت كمية المائع المتدفق أكبر وتحسب بال مم المربع .

يتم تمثيل مرحلة السحب المنحني الأزرق الأول في الشكل (12) ، القسم الأول من المنحني (الارتفاع المترافق مع زيادة الحجم) يمثل الفترة الزمنية منذ بداية مرحلة السحب و دخول المائع إلى الضاغط و عندما تكون منفذ الضاغط مفتوح بالكامل تمثل بالخط الثابت في المنحني لمدة من الزمن ، و الجزء المتناقص في المنحني يمثل إغلاق مرحلة السحب و إغلاق منفذ الضاغط ، و في اللحظة التي يتم فيها إغلاق مرحلة السحب تبدأ عملية الانضغاط و التي تمثل بالانحدار منحني حجم التجويف .

مرحلة الإخراج :

كما يحدث في حالة السحب فإن إخراج المائع من التجويف يحدث تالياً، يمثل المنحني الأحمر الثاني في الشكل مرحلة الإخراج، حيث تصغر مساحة منطقة الإخراج ليتم تفريغ حجم التجويف بالكامل بعد أن يتم ضغط المائع في الضاغط و يتم تقليل حجم التجويف، و يتم حساب هذه المنطقة بالمليمتر المربع .

و كما هو مبين في الشكل أدناه فإن مساحة منطقة الخرج (المنحني باللون الأحمر) تكون أصغر من مساحة منطقة الدخول (المنحني باللون الأزرق) ، و هذا الأمر الطبيعي حيث أن المساحة الأصغر تكون مطلوبة لمنطقة الخرج كون عملية الانضغاط تؤدي إلى زيادة كثافة المائع و بالتالي يحتاج لحجم أقل .



الشكل (12) مساحة منطقة السحب و التفريغ

مساحة منطقة السحب و الخرج تستخدم كمدخلات لحساب تدفق المائع الداخل و لخارج للضاغط .

نموذج الهندسة يعتمد على زاوية الدوران ، بينما النموذج الديناميكي يحتاج إدخلات بدلالة الزمن ، و ليتم تحقيق الإدخالات بدلالة الزمن يتم حساب الزمن الكلي اللازم لإنجاز دورة الانضغاط الواحدة وفق العلاقة

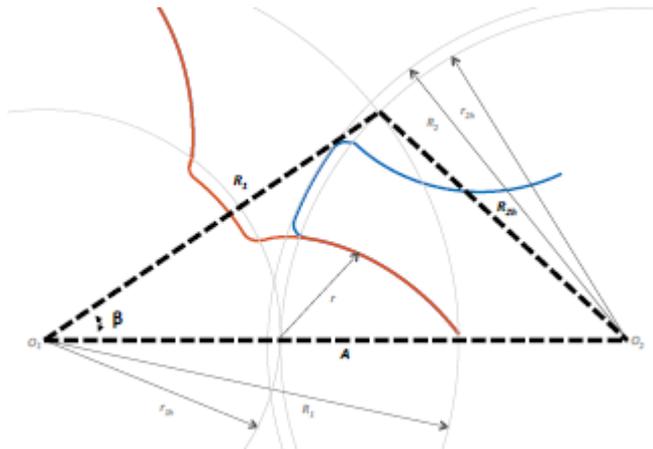
$$\text{Time} = \frac{1}{\frac{\pi}{60} \times 360} \theta \dots\dots \text{second}$$

و تعطي علاقة زاوية الدوران بالاعتماد على زاوية التفاف الضاغط و عدد التجايف و هندسة اللولب بالعلاقة :

$$\theta = \left(2\pi + \tau w + \frac{2\pi}{m_1} + \beta \right) \cdot \frac{180}{\pi} + 1$$

وتعطي الزاوية β بالعلاقة :

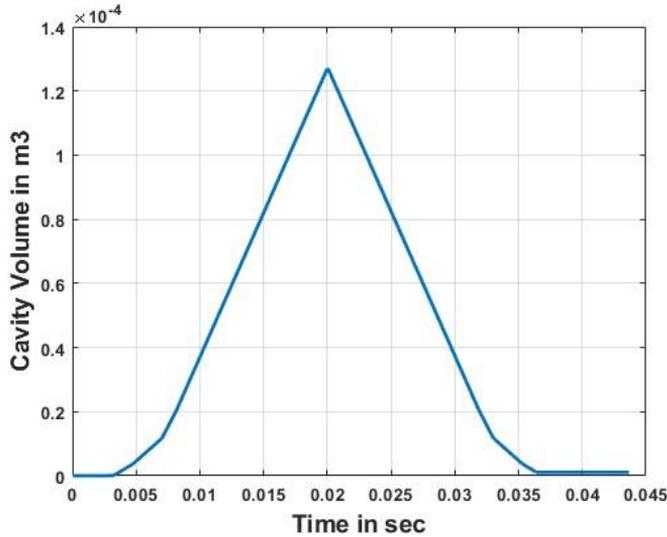
$$\beta = a \cdot \cos\left(\frac{A^2 + R_1^2 - r_{2h}^2}{2AR_1}\right)$$



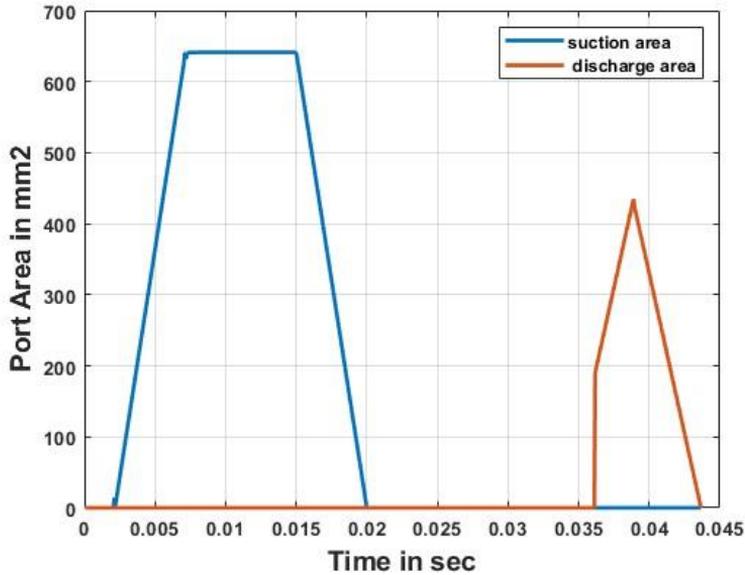
دورة الانضغاط في هذه الحالة ستتكون من زاوية دوران المحور تقدر ب 777 درجة ، و عليه يكون الزمن الكلي اللازم لإتمام دورة انضغاط كاملة هو 0,03695 ثانية . زاوية

دوران المحور مخصصة لهذه الحالة وستختلف حسب الأشكال الهندسية المختلفة ، اعتماداً على زاوية الالتفاف وعدد التجاويف وهندسة الجزء الدوار. لنمذجة هندسة الضاغط على أساس الوقت ، كل دورة انضغاط تم تعريفها على أنها مصفوفة لدرجة واحدة من زاوية الدوران من (0) إلى (777 درجة) ، يمكن تحويل زاوية الدوران إلى الوقت بالمعادلة السابقة، بإضافة درجة دوران عمود واحدة إلى هذه المعادلة ، يصبح الوقت لكل درجة $4.76 * 10^{-5}$

و باستخدام المعادلات السابقة للتحويل من الدرجة إلى الزمن في البرنامج نحصل على تغييرات الحجم بدلالة الزمن (الشكل 13) و تغييرات مساحة منطقة السحب و الإخراج (الشكل 14) .



الشكل (13) تغييرات حجم التجويف بدلالة الزمن



الشكل (14) تغيرات مساحة منطقة السحب و الخرج بدلالة الزمن

من هذا البحث يتبين لنا أن المعلومات التي نحصل عليها من هندسة الضاغط و التي تستخدم كمدخلات للنموذج الديناميكي الحراري هي :

زاوية الدوران ، تغيير الحجم ، مساحة منطقة السحب و مساحة منطقة الخرج لحساب تدفق المائع .

الملحق (A)

```

%%% volume curve building
%%% calculation of dV/dphi1 and cavity geometrical moment
for suction
moment_m_s(1) = moment_slice_m_s(1);
moment_f_s(1) = moment_slice_f_s(1);
fsuck(1) = fs(1);
for i=2:1:floor((thaulz + 2*pi/m1 + alpha + beta) *
180/pi+1) %changed starting angle from 1 to 2 and added
ending angle to +1
    phi1 = (i-1) * pi /180 - beta; %%% turning angle of the
male rotor in radians, when i=0 formation of closed volume
is beginning (phi1=-beta)
    phi1d(i) = (i-1) - betad;
    if ((phi1 >= -beta) && (phi1 < (2*pi/m1 + alpha)))

```

```

    fsuck(i) = fs(i);
    moment_m_s(i) = moment_m_s(i-1) + moment_slice_m_s(i);
    moment_f_s(i) = moment_f_s(i-1) + moment_slice_f_s(i);
    end
    if ((phil >= (2*pi/m1 + alpha)) && (phil <= (thaulz -
beta)))
        fsuck(i) = f01 + f02;
        moment_m_s(i) = moment_m_s(i-1);
        moment_f_s(i) = moment_f_s(i-1);
        end
    if ((phil > (thaulz - beta)) && (phil < (thaulz + 2*pi/m1
+ alpha)))
        fsuck(i) = f01 + f02 - fs(i - thaulzd);
        moment_m_s(i) = moment_m_s(i-1) - moment_slice_m_s(i-
thaulzd);
        moment_f_s(i) = moment_f_s(i-1) - moment_slice_f_s(i-
thaulzd);
        end

    dV_dphilsuck(i) = L / thaulz * fsuck(i);
end
%%% volume calculation for suction
Vt = L * (f01 + f02);
Vsuck(1) = 0;
zza1 = ((thaulz + 2*pi/m1 + alpha + beta) * 180/pi+1);
zza2 = ((thaulz + 2*pi/m1 + beta)*180/pi+1);
for i = 2:1:floor((thaulz + 2*pi/m1 + alpha + beta) *
180/pi+1)
    phil = (i-1) * pi /180 - beta;
    Vsuck(i) = Vsuck(i-1) + L / thaulzd * 0.5 * (fsuck(i-1) +
fsuck(i)); %%% volume integration
end
%%% calculation of dV/dphil and cavity geometrical moment
for compression
moment_m_c(1) = moment_slice_m(1);
moment_f_c(1) = moment_slice_f(1);
fcomp(1) = f(1);
for i = 2:1:floor((thaulz + 2*pi/m1 + beta)*180/pi+1)
    %changed starting angle from 0 to 2 and added ending angle
to +1
    phil = (i-1) * pi /180 - beta; %%% turning angle of the
male rotor in radians, when i=0 compression begins (phil=-
beta)
    phild(i) = (i-1) - betad;
    if ((phil >= -beta) && (phil < (2*pi/m1)))
        fcomp(i) = f(i);
        moment_m_c(i) = moment_m_c(i-1) + moment_slice_m(i);
        moment_f_c(i) = moment_f_c(i-1) + moment_slice_f(i);
    end

```

```

if ((phil >= (2*pi/ml)) && (phil < (thaulz - beta)))
    fcomp(i) = 0;
    moment_m_c(i) = moment_m_c(i-1);
    moment_f_c(i) = moment_f_c(i-1);
end
if ((phil >= (thaulz - beta)) && (phil < (thaulz +
2*pi/ml+2)))
    fcomp(i) = f01 + f02 - f(i - thaulzd);
    moment_m_c(i) = moment_m_c(i-1) - moment_slice_m(i-
thaulzd);
    moment_f_c(i) = moment_f_c(i-1) - moment_slice_f(i-
thaulzd);
end
dV_dphilcomp(i) = -Vt / thaulz + L / thaulz * fcomp(i);
end
%%% volume calculation for compression
Vcomp(1) = Vt; %Vt = max volume
for i = 2:1:floor((thaulz + 2*pi/ml + beta) * 180/pi+1)
%changed starting angle from 1 to 2 and added ending angle
to +1
    phil = i * pi /180 - beta;
    Vcomp(i) = Vcomp(i-1) - Vt / thaulzd + L / thaulzd * 0.5 *
(fcomp(i-1) + fcomp(i));
end
%%% dV/dphil and cavity geometrical moment for complete
working cycle
for i = 1:1:floor((2*pi + thaulz + 2*pi/ml + beta) *
180/pi+1) %changed starting angle from 0 to 1 and added
ending angle to +1
    phil = (i-1) * pi /180 - beta;
if ((phil < (2*pi - beta)) && (phil < (thaulz + 2*pi/ml +
alpha))) %%% suction
    dV_dphil(i) = dV_dphilsuck(i);
    moment_m(i) = moment_m_s(i);
    moment_f(i) = moment_f_s(i);
end
if ((phil >= (thaulz + 2*pi/ml + alpha)) && (phil <= (2*pi
- beta))) %%% suction is finished, but compression is not
begun
    dV_dphil(i) = 0;
    moment_m(i) = 0;
    moment_f(i) = 0;
end
if ((phil >= (2*pi - beta)) && (phil <= (thaulz + 2*pi/ml
+ alpha))) %%% simultaneous suction and compression
    dV_dphil(i) = dV_dphilsuck(i) + dV_dphilcomp(i - 360);
    moment_m(i) = moment_m_s(i) + moment_m_c(i - 360);
    moment_f(i) = moment_f_s(i) + moment_f_c(i - 360);
end

```

```
if ((phil > (2*pi - beta)) && (phil > (thaulz + 2*pi/m1 +
alpha))) %%% compression
dV_dphil(i) = dV_dphilcomp(i - 360);
moment_m(i) = moment_m_c(i - 360);
moment_f(i) = moment_f_c(i - 360);
end
end
%% volume calculation for complete working cycle
Vmax = 0;
am1 = ((2*pi + thaulz + 2*pi/m1 + beta) * 180/pi+1);
am2 = thaulz + 2*pi/m1 + alpha;
am3 = 2*pi - beta;
am4 = thaulz + 2*pi/m1 + alpha;
am5 = thaulz + 2*pi/m1 + alpha;
for i = 1:1:floor((2*pi + thaulz + 2*pi/m1 + beta) *
180/pi+1) %changed starting angle from 0 to 1 and added
ending angle to +1
phil = (i-1) * pi /180 - beta;
phil_out(i) = (i-1)-ceil(beta*180/pi); % (i-1) * pi /180 -
beta;
if ((phil < (2*pi - beta)) && (phil < (thaulz + 2*pi/m1 +
alpha))) %%% suction
V(i) = Vsuck(i);
end
if ((phil >= (thaulz + 2*pi/m1 + alpha)) && (phil <= (2*pi
- beta))) %%% suction is finished, but compression is not
begun
V(i) = Vt;
end
if ((phil >= (2*pi - beta)) && (phil <= (thaulz + 2*pi/m1
+ alpha))) %%% simultaneous suction and compression
V(i) = Vsuck(i) + Vcomp(i-360) - Vt;
end
if ((phil > (2*pi - beta)) && (phil > (thaulz + 2*pi/m1 +
alpha))) %%% compression
V(i) = Vcomp(i-360);
end
if (V(i) > Vmax)
Vmax = V(i); %%% maximal cavity volume
end
if (V(i) < 0)
V(i) = 0;
end
end
%V is the complete volume curve
%Vcomp is the volume curve during compression
%Vsuck is the volume curve during suction
%% end of volume curve building
%% Discharge port cross sectional area
```

```

Vd = Vmax / epsilonv;
%%% epsilonv is built-in volume ratio.
%%% Vd = discharge volume
%%% transfer beta from radians (double) to degrees
(integer)
if ((beta * 180/pi - floor(beta * 180/pi)) < (ceil(beta *
180/pi) - beta * 180/pi))
    betad = floor(beta * 180/pi);
else
    betad = ceil(beta * 180/pi);
end
%%% determination of compression angle
id = 360;
for i = 361:1:floor((2*pi + thaulz + 2*pi/m1 + beta) *
180/pi)
    if abs(V(i) - Vd) < abs(V(id) - Vd)
        id = i;
    end
end
philcd = id - 360 - betad;
if (philcd > thaulzd)
    philcd = thaulzd;
end
alphacd = thaulzd - philcd;
alphac = alphacd * pi / 180.0; %%% transfer into radians
Rc1 = sqrt(A^2 + r2h^2 - 2 * A * r2h * cos(i21 * tcallow));
%%% radius OC1
xc1 = A * cos(tcallow - thetal) - r2h * cos(k * tcallow -
thetal); %%% x-coord of point C1
%%% discharge window segments on the male rotor side
l1f1_w = l1f1;
f1d1_w = f1d1;
p0o1c1s = acos((A^2 - R2^2 + Rc1^2) / (2 * A * Rc1)); %%%
angle between p0 and C1s
for i = 1:1:alphacd + 360/m1+1
    phil = (i-1) * pi / 180 - alphac; %%% turning angle of the
male rotor in radians (coordinate system with center at the
discharge end), when i=0 phil = -alphac, discharge begins

%%% female rotor segments
l2i2 = L2I2_(tli2low, tli2up, geometry, phil);
i2a2 = I2A2_(psiia2low, psiia2up, geometry, phil);
a2d2 = A2D2_(psiad2low, psiad2up, geometry, phil);
d2f2 = D2F2_(tdf2low, tdf2up, geometry, phil);
f2l2 = F2L2_(psifl2low, psifl2up, geometry, phil);

%%% female rotor segments for second tooth
l2i2_s = L2I2_S(tli2low, tli2up, geometry, phil);
i2a2_s = I2A2_S(psiia2low, psiia2up, geometry, phil);

```

```

a2d2_s = A2D2_S(psiad2low, psiad2up, geometry, phil);
d2f2_s = D2F2_S(tdf2low, tdf2up, geometry, phil);
f2l2_s = F2L2_S(psifl2low, psifl2up, geometry, phil);

%%% segment d1wd1s
td1wd1slow = alphac;
td1wd1sup = -phil + 2*pi/m1;
d1wd1s = D1D1S_(td1wd1slow, td1wd1sup, geometry);

%%% segment l2si2w
tl2si2wlow = -phil * i21 + 2*pi/m2 + theta4 + theta6;
tl2si2wup = alphac * i21 + theta4 + 2*alpha0 * i21 -
theta6;
l2si2w = L2SH_(tl2si2wlow, tl2si2wup, geometry);

%%% segment i2a2_w
i2a2_w = I2A2_W(psiia2low, psiia2up, geometry, alphac);

%%% segment a2d2_w
a2d2_w = A2D2_W(psiad2low, psiad2up, geometry, alphac);

%%% segment ha2s
tha2slow = acos((A^2 + r2h^2 - R1^2) / (2 * A * r2h));
tha2sup = -i21 * phil - theta3 + 2*pi/m2;
ha2s = HA2S_(tha2slow, tha2sup, geometry);
if ((phil >= -alphac) && (phil < (-alphac + 2*pi/m1))) %%%
if ((phil >= -alphac + theta1 + theta2) && (phil < (-
alphac + theta1 + theta2 + 2 * theta5))) %%% stage 5
psiz2 = 0.01;%%%fzero(@(x) G5W(x,geometry, phil,
alphac), [psifl2up, pi/2]);
psiz2w=psiz2;
i2z2_w = I2A2_W(psiia2low, psiz2w, geometry, phil);
z2l2_s = F2L2_S(psiz2, psifl2up, geometry, phil);
b = 0.5 * (dlz1 + z1d1_w + d1wd1s + i2z2_w + z2l2_s +
l2si2w);
end
if (phil >= (-alphac + theta1 + theta2 + 2 * theta5)) %%%
stage 6.1
b = 0.5 * (dlz1 + z1d1_w + d1wd1s);
end
end
end
if (phil >= (-alphac + 2*pi/m1)) %%% after point D1s
intersects point dlw
b = 0;
end
if (tha2sup >= tha2slow) %%% until point A2s intersects
point H

```

```

c=0;
end
if ((tha2sup < tha2slow) && (phil <= (2*pi/m1))) %%%
stages 6.2 - 9
%% numerical solution for psiz2
i;
t1 = psiad2up;
tu = psiad2low;
flag = 0;
while flag == 0
t= 0.5*(t1+tu);
if G6W(t,geometry,phil)*G6W(t1,geometry,phil)<0 && abs(t-
t1)<0.00001
flag =1;
elseif G6W(t,geometry,phil)*G6W(t1,geometry,phil)<0 &&
abs(t-t1)>0.00001
tu =t;
elseif G6W(t,geometry,phil)*G6W(t1,geometry,phil)>0 &&
abs(tu-t)<0.00001
flag =1;
else
t1=t;
end
end
psiz2 = t; % result of solution

xz2 = A * cos(phil) - r2h * cos(2*pi/m2 - k * phil) + r *
cos(psiz2 + 2*pi/m2 - k * phil);
tz2w = acos(xz2 / R1) - phil;
z2wh = D1D1S_(tz2w, beta, geometry);
a2sz2 = A2D2_S(psiad2low, psiz2,geometry, phil);
if (phil <= (2*pi/m1 - acos(xc1 / Rc1) - p0o1c1s)) %%%
stage 6.2
c = 0.5 * (z2wh + ha2s + a2sz2);
end
if ((phil > (2*pi/m1 - acos(xc1 / Rc1) - p0o1c1s)) &&
(phil <= (2*pi/m1))) %%% stages 7-9
if (phil <= (2*pi/m1 - beta))
%% numerical solution for psin1 on stages 7-8
psin1 = fminbnd(@ (x) G7NW(x,geometry,
phil),psidc1low,psidc1up);
tnw = asin((-A * sin(phil) + r1h * sin(2*pi/m1) - r *
sin(psin1 - 2*pi/m1)) / r2h) + phil;
hnw = HA2S_(tha2slow, tnw, geometry);
nlc1s = D1C1_(psin1, psidc1up, geometry);
end
if (phil <= (2*pi/m1 - theta1)) %%% stage 7
%% numerical solution for tz_1

```

```

tz_1 = fminbnd(@ (x) G7ZW(x,geometry,
phil),tcalup,tcallow);
tzlw = asin(-A / r2h * (sin(phil) - sin(tz_1 - thetal +
2*pi/ml)) - sin(k * tz_1 - thetal + 2*pi/ml)) + phil;
clsz1 = C1A1_(tcallow, tz_1,geometry);
z1wa2s = HA2S_(tzlw, tha2sup, geometry);
c = 0.5 * (z2wh + hnw + nlcls + clsz1 + z1wa2s + a2sz2);
else
%% numerical solution for tz_1
tz_1 = 0.09; %% fzero(@ (x) G5(x,psiad2low, geometry,
phil), [tcalup,tcallow]);
clz1 = C1A1_(tcallow, tz_1,geometry);
if (phil <= (2*pi/ml - beta)) %% stage 8
c = 0.5 * (z2wh + hnw + nlcls + clsz1 + a2sz2);
else %% stage 9
z2wd1s = D1D1S_(tz2w, (2*pi/ml - phil),geometry);
c = 0.5 * (z2wd1s + dlcl + clz1 + a2sz2);
end
end
end
end
fc(i) = b + c;
fc(alphacd + 360/ml) = 0;
end
for i = 1:1:floor(thaulzd + 360/ml - philcd) %% discharge
port area
if ((i-1 + philcd - thaulzd + betad) < 0)
fd(i) = f01 + f02 - fc(i);
else
fd(i) = f(i + philcd - thaulzd + betad) - fc(i); %%
equation (2) chapter "Discharge flow..."
if (fd(i) < 0)
fd(i) = 0;
end
end
end
%% Torque ratio
phil = 0;
d2h_ = D1D1S_(0, beta,geometry);
tf2 = theta4 + theta6;
h_f2 = HA2S_(tha2slow, tf2,geometry);
f2d2 = -D2F2_(tdf2low, tdf2up,geometry,phil);
fh = 0.5 * (d2h_ + h_f2 + f2d2);
%% torque ratio female/male
torque_ratio = i12 * (fh / (fh + f01 + f02));
%% female rotor cavity area calculation according to Sakun
equations (352), (359.2) for selfconfidence
phif = i21 * acos((A^2 + R1^2 - r2h^2)/(2 * A * R1));

```

```

f02Sakun = r2h^2/2 * (0.5*r^2/r2h^2*(pi - theta3) + theta3
- sin(theta3) + A^2/r2h^2*(phif - sin(phif)) +
R1^2*M/r2h^2*phif - A*R1/r2h^2*(1 + 2*i21)*sin(i12*phif) +
A*R1/r2h^2*sin(M*phif)- A/r2h*sin(theta4) + theta4) +
0.5*(theta3 +theta4)*(R2^2 - r2h^2);
%%% -----geometrical moment output-----
integral_moment_m = 0;
integral_moment_f = 0;
integral_moment_cavity = 0;
for i = 1:1:floor((2*pi + thaulz + 2*pi/m1 + beta) *
180/pi+1)
    integral_moment_m = integral_moment_m + moment_m(i);
    integral_moment_f = integral_moment_f + moment_f(i);
    integral_moment_cavity = integral_moment_cavity +
(moment_m(i) + i21 * moment_f(i));
end
integral_moment_m = integral_moment_m / (i + 1);
integral_moment_f = integral_moment_f / (i + 1);
integral_moment_cavity = integral_moment_cavity / (i + 1);
%%% complete working cycle
for i = 2:1:floor((2*pi + thaulz + 2*pi/m1 + beta) *
180/pi+2);
    phil = (i-1) * pi /180 - beta;

%%%save(filename)
dV_dphil = dV_dphil * 1e-9; %%% transfer into m^3
imax = length(dV_dphil);%i - 1;
i = 1;
Vmax = 0;
iVmax = 0;
V = V * 1e-9;
while (i < length(V))
    if (V(i) > Vmax)
        Vmax = V(i);
        iVmax = i; %%% when i = iVmax, compression begins
    end
    i=i+1;
end
%%% Suction port area
ftotal = fs(length(fs)); %maximum area suction port?
phil = floor(-betad):1:length(V)-ceil(betad)-1;
for i = 1:1:imax
    if (phil(i) <= 0)
        fs(i) = 0;
    end
    if i > length(fs)
        fs(i) = ftotal;
    end
    if ((i > (iVmax - 360/m1)) && (i <= iVmax))

```

```
fs(i) =fttotal * (iVmax - i) / (360/m1);  
end  
if (i > iVmax)  
fs(i) = 0;  
end  
end  
%% Discharge port area  
i1 = length(fd);  
i1 = i1 - 1;  
for i = imax:-1:1  
if (i1 >= 1)  
fd(i) = fd(i1);  
else  
fd(i) = 0;  
end  
i1 = i1 - 1;  
end  
x = [1:786];  
plot(x,V);  
hold on  
plot(x,fs)  
plot(x,fd)
```

المراجع:

- [1]. Tony Giampaolo, MSME, PE.' **Compressor Handbook, Principles and Practice**'.2010
- [2]. Jack, Hugh. "**Dynamic System Modeling and Control**", Draft Version 2.4, November 26, 2003.
- [3]. John A. Shaw. "**The PID Control Algorithm**"2ed Edition.2003
- [4] LEWIS, I, R1996 – **Turbomachinery Performance Analysis**. Elsevier Science & Technology Books, USA, 335p.
- [5] D. Zaytsev, '**Development of wet compressor for application in compression-resorption heat pumps**', TU Delft, PhD Thesis, 2003.
- [6] C. X. You, '**A theoretical study of rotor forces and torques in helical twin screw compressors**', University of Strathclyde, B.Sc, M.Sc, 1994.
- [7] I. A. Sakun, '**Screw Compressors**', Leningrad, Mashinostroenie.1970 .
- [8] CENGEL, A, Y and BOLES, A, M2011 - **Thermodynamics: An Engineering Approach**, "Seventh Edition". McGraw-Hill, New York, 1040p.
- [9] M. Bolemant, D. Peitsch - **AN ALTERNATIVE COMPRESSOR MODELING METHOD WITHIN GAS TURBINE PERFORMANCE SIMULATIONS**. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2014.
- [10] Wirkowski, Pawel - **MODELLING RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF GASTURBINE AXIAL COMPRESSOR WITH CHANGEABLE FLOW PASSAGE**

تطوير اقتراح الأوامر في نظام القيادة الذاتية

ADAS

طالب الدراسات العليا: حسام نبهان رسلان

الدكتور المشرف: بسيم صالح برهوم

كلية: الهندسة المعلوماتية – جامعة تشرين

المخلص

هدف البحث إلى طرح تقنية تعمل على التنبؤ باستخدام معالجة الصورة لتوقع المسار المستقبلي للأغراض الموجودة في إطارات الفيديو وفق خطوات التعرف على الأجسام المتحركة وتحديد بها بإطار ثم تحديد جهة حركتها عن طريق تقدير الحركة وإعطاء اقتراحات السرعة والاتجاه والخطر، ثم مقارنة نتائج هذه الخوارزمية مع التقنيات الأخرى المعتمدة على معالجة الصورة، والتقنيات التي تعتمد على الشبكات العصبية، وتحسين بعض المعاملات الأساسية كزمن التنفيذ، ودقة المسار المتوقع، والمسافة الممكنة للتوقع.

وخلص البحث إلى أن الخوارزمية المقترحة كانت بزمن تنفيذ أقل وبدقة أعلى وكانت أفضل من بقية الخوارزميات من ناحية عدد حالات الخطورة الناتجة، كما تم حل مشكلة حالات الطريق المتغيرة (ممر مشاة...) بتطبيق تقنية الإخفاء ضمن الصورة، كما أكدت النتائج أن الخوارزمية المقترحة لا تحتاج أي تعديلات عند تغيير موضع الكاميرا أو تغيير الموقع بشكل عام بينما الشبكات العصبية ستحتاج إعادة تدريب، وبالتالي تم تقديم خوارزمية بسيطة وعملية ومناسبة للعمل في الزمن الحقيقي لاقتراح الأوامر في نظام القيادة الذاتية ADAS .

الكلمات المفتاحية: القيادة الذاتية، التعرف على الأجسام، تقدير الحركة، التنبؤ بمسار حركة.

Developing Suggestion of Commands in the Auto-Driving system ADAS

Abstract

The aim of the research is to present a technique that works on prediction using image processing to predict the future path of the objects in the video frames according to the steps of recognizing moving objects and identifying them with a frame, then determining the direction of their movement by estimating the movement and giving suggestions of speed, direction and danger, then comparing the results of this algorithm with the other techniques that adopt image processing and the techniques that adopt on neural networks and improve some basic parameters such as execution time, predicted path accuracy, and possible prediction distance.

The research concluded that the proposed algorithm had a lower execution time and with higher accuracy and it was better than other algorithm in terms of number of cases of risk, as we were able to solve the problem of changing road conditions (pedestrian path ...) by applying the technique of masking within the image, and the proposed algorithm does not need any modifications when changing the position of the camera or changing The site in general while neural networks will need retraining

Thus, a simple, practical, and suitable algorithm for real-time work was presented to suggest commands in the ADAS autonomous driving system.

Keywords: Self-Driving, Motion Detection, Motion Estimation, Motion Trajectory Prediction.

1- مقدمة البحث:

بهدف تحسين السلامة على الطرق تتجه صناعة السيارات نحو المزيد من المركبات "الذكية" التي يتمثل أحد أهم التحديات الرئيسية فيها في اكتشاف الحالات الخطرة والتعامل معها لتجنب الحوادث أو تخفيفها، وهذا يتطلب التنبؤ بالتطور المحتمل لحالة المرور الحالية، وتقييم مدى خطورة الوضع في المستقبل، حيث تعتبر السلامة والأمان حجرا الزاوية في كل من أنظمة القيادة الذاتية (ADAS) والمركبات المستقلة، أما المفهوم الأهم فهو الخطر، والذي يمكن فهمه على أنه احتمال وشدة الضرر الذي قد تتعرض له السيارة في المستقبل.

2- أهمية البحث وهدفه:

تكمن أهمية البحث في تقديم خوارزمية تعتمد على معالجة الصورة فقط لتوقع مسار مستقبلي لجسم مما يؤدي إلى تبسيط العمليات أثناء التنفيذ وتقليل زمن تنفيذها لتتلاءم مع التنفيذ في الزمن الحقيقي، وتسهل عملية التعديل وفق تغير متطلبات البيئة المدروسة بحيث لا يوجد حاجة إلى إعادة التدريب عند التعديل وإنما يكفي فقط تعديل بعض بكسلات الصور المعتمدة أو الدرجة اللونية لها، وبالتالي فإن الخوارزمية المقترحة قد تفتح باباً جديداً للتوسع في هذا المجال، هدف البحث إلى طرح تقنية تعمل على التنبؤ باستخدام معالجة الصورة لتوقع المسار المستقبلي للأغراض الموجودة في إطارات الفيديو وفق خطوات التعرف على الأجسام المتحركة وتحديد أبعادها ثم تحديد جهة حركتها عن طريق تقدير الحركة وإعطاء اقتراحات السرعة والاتجاه والخطر، ثم مقارنة نتائج هذه الخوارزمية مع التقنيات الأخرى التي تعتمد معالجة صورة والتقنيات التي تعتمد على الشبكات العصبية وتحسين بعض المعاملات الأساسية كزمن التنفيذ، ودقة المسار المتوقع، والمسافة الممكنة للتوقع.

3- الدراسات السابقة:

3-1- دراسة (Singh et al, 2015): Real-Time Object Detection and Tracking Using Color Feature and Motion

قدمت الدراسة تقنية لأتمتة منهجية الكشف عن الكائنات وتتبعها، بالإضافة إلى تطوير خوارزمية لتتبع الأجسام المتحركة في الوقت الحقيقي في إطارات مختلفة من الفيديو باستخدام ميزة اللون والحركة، إن أطر تتبع الفيديو تستخدم نموذجاً للحركة يصور كيف يمكن أن تتغير صورة الهدف من أجل حركات مميزة يمكن توقعها للكائن، بينت النتائج أنه بالإمكان تتبع كائن على أساس خصائص المنطقة مثل النقطة الوسطى، الصندوق المحيط بالأغراض وما إلى ذلك، حيث يتم الكشف عن الحركة وتتبعها باستخدام طريقة طرح الخلفية والتدفق البصري، ويتم استخدام الترشيح المتوسط في معظم الأحيان في معالجة الصور لإزالة الضوضاء أثناء اكتشاف الكائن وتعقبه في الوقت الفعلي.

3-2- دراسة (Krapukhina,2018): A Method for Predicting

Vehicles Motion Based on Road Scene Reconstruction and Neural Networks in Real Time

هدفت الدراسة إلى تطوير طرائق لتحديد وتوقع التطورات للحالات الخطرة المحتمل أن تواجه السائق على الطريق، ونمذجة مشهد الطريق حول المركبة بشكل ديناميكي بالاعتماد على معطيات من كاميرات مركبة على الطريق، عرضت البيانات الناتجة عن الدراسة دقة وسرعة الخوارزمية المستخدمة، وفاعليتها في زمن أداء منخفض.

3-3- دراسة (Bhattacharyya et al,2018): Long-Term On-Board

Prediction of

People in Traffic Scenes under Uncertainty

هدفت الدراسة إلى اقتراح نموذج تنبؤ بالحركة يتنبأ بحركة الشخص و مسارات الآخرين، خلال ما لا يقل عن ثانية واحدة، والتنبؤ لا يكون فقط للموقع المستقبلي بل لقياس المسافات والسرعة والتوجه.

نتج عن الدراسة أنه من الممكن بالفعل التنبؤ بالحركة في الحدود الزمنية المطلوبة، كما أظهرت الدراسة أيضاً أن كلاً من النمذجة التسلسلية للمسارات بالإضافة إلى الطريقة الجديدة للتنبؤ بقياس المسافات على المدى الطويل ضرورية لتحقيق أفضل أداء.

3-4- دراسة (Srikanth et al, 2019): Intermediate Representations for Future Prediction

هدفت الدراسة لاقتراح العديد من الأساليب حول التنبؤ بالمسارات المستقبلية للمركبات المحيطة، تميل أفضلها أداءً إلى طلب تفاصيل للغاية (مثل تسلسل الصور)، وظهر في نتائج الدراسة أن التمثيلات الوسيطة مناسبة تماماً لمهمة التنبؤ في المستقبل، وتم التوصل لعدد من الأساليب للحركات المستقبلية للمركبات.

3-5- دراسة (Mehdi, 2019): Trajectory Prediction for ADAS

هدفت إلى توقع العقبات الديناميكية في أنظمة القيادة الذاتية ADAS، أي توقع مسار حركة الأغراض المتحركة الأخرى في منظور السيارة المتحركة، وشملت النتائج على وضع خطوات خوارزمية توقع العقبات الديناميكية المحسنة، وقرر إضافة أوامر السرعة والتوجيه عن طريق إضافة قوس ومراعاة عدد نقاط تقاطعه مع الخريطة الحرارية وتحديد الاتجاه، وكلما زادت التقاطعات قلت السرعة، وقد اقترح الباحث تجربة هذه النظرية مع التعليم المعزز لاتخاذ قرارات أفضل كعمل مستقبلي ممكن.

3-6- دراسة (Jaramillo et al, 2021): Time-First Tracking: An Efficient Multiple-Object Tracking Architecture for Dynamic Surveillance Environments

هدفت الدراسة إلى اقتراح طريقة جديدة لتتبع الأجسام المتعددة، تسمى "تتبع الوقت أولاً"، والتي تعتمد على حركة معالجة "سطحية" بشكل يستبدل الطرائق باهظة الثمن لتتبع الأجسام، عرضت نتائج الدراسة أنه تم اقتراح مقاييس جديدة لتتبع الأجسام المتعددة

لحساب التكلفة جنباً إلى جنب مع التعليمات البرمجية لإنشاء مجموعة بيانات اصطناعية للتتبع المستند إلى الحركة.

3-7- Multiple Object Tracking by : (Lipovits et al, 2021) دراسة Bounding Boxes Without Using Texture Information and Optical Flow

افتترضت الدراسة سيناريو لتتبع مسار فقد قام كاشف الأغراض في الصورة الثابتة بالفعل بتحديد الكائنات المراد تتبعها، وبالتالي كان هناك تسميات للكائنات وقيم الثقة والمربعات المحيطة في كل إطار فيديو تم التقاطه بمعدل عينات منخفضة. وهذا يعني أنه من الصعب تطبيق طرق التدفق البصري (أيضاً بسبب ظروف الإضاءة السيئة، والمناطق المتشابهة أو المتجانسة وحركة الأنا القوية)، علاوة على ذلك تبدو العديد من الكائنات متشابهة (لها نفس تسميات الفئات)، قامت الدراسة بدمج المعلومات المذكورة أعلاه في دالة التكلفة لتقييم الأزواج المحتملة للكائنات وللنظر في عدم اليقين في الكاشف. بينت الدراسة أن الخوارزمية المطبقة جيدة في الفيديوهات التي تحوي أغراض متحركة بسرعة، ولا حاجة للتدفق البصري، كما أن استخدام مرشح RetinaNet يعطي نتائج جيدة.

3-8- Real-time Target Human : (Nguyen et al, 2021) دراسة Tracking using Camshift and LucasKanade Optical Flow Algorithm

هدفت الدراسة إلى اقتراح خوارزمية لتتبع الأهداف البشرية في الوقت الفعلي في بيئة معقدة باستخدام كاميرا عادية، بينت النتائج أن الطريقة المقترحة لها بعض المزايا ضمن عدد من النطاقات بما في ذلك الحسابات السريعة في التنفيذ، والدقة العالية في حالة اكتشاف كائنات مماثلة، والقدرة على النشر بسهولة على الأجهزة المحمولة، كما أثبتت النتائج فعالية خوارزمية التتبع المقترحة من خلال النتائج التجريبية.

4- الإطار النظري:

4-1- تعريف أنظمة القيادة الذاتية (ADAS): هي أنظمة مصممة لمساعدة السائق في عالم مدعوم بالتكنولوجيا بشكل متزايد، يمكن أن تساعد السائقين على التحكم بمركبتهم، من المتوقع أن تعمل ADAS على تحسين السلامة عن طريق تقليل خطأ الإنسان، ويتم تحقيق ذلك عن طريق زيادة هوامش الأمان. [3]

4-2- نماذج الحركة:

انطلاقاً من مفهومي السلامة والخطر السابقين ومن أجل تقييم المخاطر المرتبطة بوضع معين من الضروري وجود نماذج رياضية تسمح لنا بالتنبؤ بكيفية تطور هذا الوضع في المستقبل، وقد تم اقتراح تصنيف في ثلاثة مستويات:

4-2-1- نماذج الحركة القائمة على الفيزياء Physics-based motion models:

تمثل نماذج الحركة القائمة على الفيزياء المركبات ككيانات ديناميكية تحكمها قوانين الفيزياء، حيث يتم التنبؤ بالحركة المستقبلية باستخدام نماذج ديناميكية وحركية تربط بعض مدخلات التحكم (مثل التوجيه والتسارع) وخصائص السيارة (مثل الوزن) والظروف الخارجية (على سبيل المثال معامل الاحتكاك لسطح الطريق) مع تطور حالة المركبة (مثل الموضع، العنوان، السرعة) [17]

4-2-2- نماذج الحركة القائمة على المناورة Maneuver-based motion models:

تمثل نماذج الحركة القائمة على المناورة المركبات ككيانات مناورة مستقلة أي أنها تفترض أن حركة المركبة على شبكة الطرق تقابل سلسلة من المناورات تُنفَّذ بشكل مستقل عن المركبات الأخرى.

تُعرف المناورة بأنها حركة جسدية أو سلسلة من التحركات التي تتطلب مهارة ورعاية، يستند التنبؤ بالمسار في نماذج الحركة القائمة على المناورة على المعرفة المسبقة

بالمناورات التي يعتزم السائقون القيام بها، وتستند نماذج الحركة القائمة على مناورة إما على مسارات النموذج الأولي أو على أساس تقدير نية المناورة. [8]

4-2-3- نماذج الحركة المدركة للتفاعل Interaction-aware motion :models

تمثل المركبات ككيانات مناورة تتفاعل مع بعضها البعض أي أنه من المفترض أن تتأثر حركة المركبة بحركة المركبات الأخرى في المشهد، نتيجة لذلك، فإنه يساهم في فهم أفضل للحالة وتقييم أكثر موثوقية للمخاطر.

4-3- Risk :الخطر

تتأثر الأقسام السابقة نماذج الحركة التي يمكن استخدامها للتنبؤ بالحركة المستقبلية للمركبات، يبقى التساؤل المطروح هو: كيف يمكن استخدام هذه التنبؤات في تقييم مخاطر الموقف؟

إن مفهوم المخاطر ذاته ليس دائماً مفهوماً واضحاً لذلك يؤخذ بعين الاعتبار نوعين من الخطر:

4-3-1- المخاطر المعتمدة على مسارات الاصطدام المستقبلية Risk based on colliding future trajectories

تقييم المخاطر بناءً على التنبؤ بالاصطدام و هو عادة ما تتكون من خطوتين: الأولى توقع مسارات مستقبلية محتملة لجميع الكيانات المتحركة في المشهد، والثانية فهي كشف الاصطدامات بين كل زوج من المسارات المحتملة.

4-3-2- المخاطر المعتمدة على سلوك غير متوقع Risk based on :unexpected behavior

يمتد مفهوم الخطر إلى ما بعد الاصطدامات، من خلال الأخذ بعين الاعتبار الأحداث التي يسببها السائقون الذين يقومون بمناورات غير متوقعة، يوجد نوعين من المناهج المتبعة: كشف الأحداث غير العادية والكشف عن المناورات المتضاربة. [8], [16]

4-4- تقنيات اقتراح الأوامر المستخدمة في ADAS:

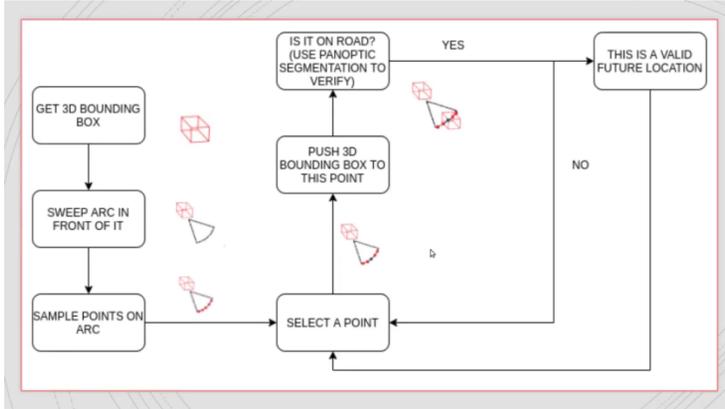
4-4-1- اقتراح الأوامر بالاعتماد على الشبكات العصبية:

يعتبر استخدام الشبكات العصبية في التنبؤ بالمسار أبرز التقنيات قيد الدراسة والتطوير في السنوات الأخيرة لما تحقّقه من نتائج.

فيما يلي توضيح لدراسة تعتمد على هذه التقنية: [10]

في دراسة قام بها الباحث محمد مهدي في جامعة بولونيا توقع العقبات الديناميكية في أنظمة المساعدة على القيادة ADAS، كانت مشكلة البحث في محاولة توقع مسار حركة الأغراض المتحركة الأخرى في منظور السيارة المتحركة، ثم توليد نظام مساعدة السائق الذي يخبر السائق ما يجب أن يفعله (التفاف لليمين- التفاف لليسار- تقدم) مما يساعد السائق على اتخاذ قرارات أفضل.

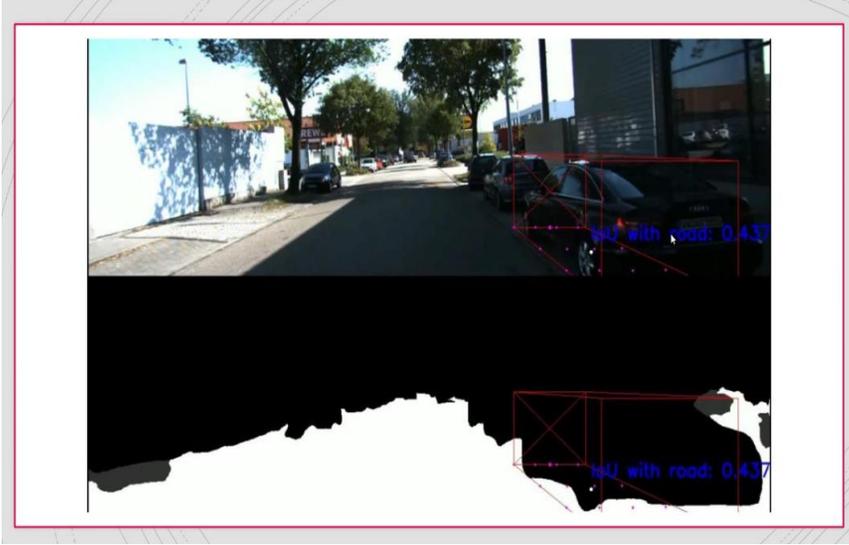
تتألف الخوارزمية المقدمة من الخطوات التالية والموضحة في الشكل:



شكل رقم (1): خطوات خوارزمية توقع العقبات الديناميكية

- الخطوة الأولى: الحصول على المربعات المحيطة ثلاثية الأبعاد قبل كل شيء.
- الخطوة الثانية: إضافة قوس مسح مثلاً بقطر 0.1 متر.
- الخطوة الثالثة: أخذ مجموعة نقاط على القوس.
- الخطوة الرابعة: اختيار نقطة مثلاً النقطة في المنتصف.

الخطوة الخامسة: فحص الموقع المرشح هل هو مناسب أو لا بإسقاط الموقع الجديد على الصورة ورؤية إذا كان على الطريق أو لا. إذا كان الموقع مناسباً يتم اعتباره الموقع المستقبلي للجسم أو يُرفض ويتم أخذ نقطة جديدة. في المثال التالي عند أخذ موقع أمام الجسم مباشرة تم ملاحظة أن الموقع المختار غير مناسب فيرفض



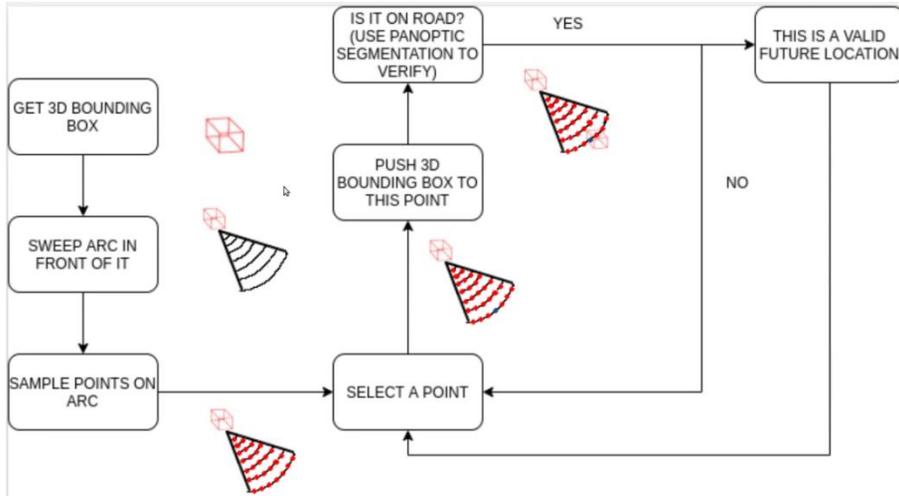
شكل رقم (2): رفض الحركة المستقبلية للجسم مباشرة نحو الأمام

يتم البحث عن موقع جديد بعملية تدوير لليساار (يقبل الموقع) كما هو موضح في المثال التالي:



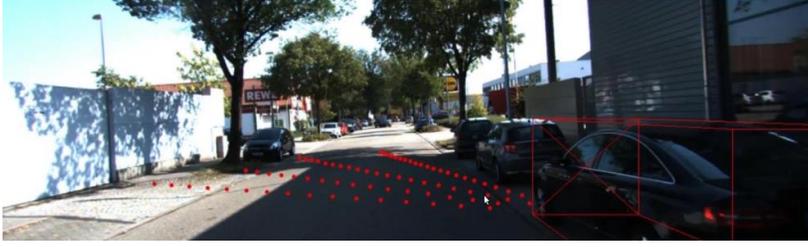
شكل رقم (3): تدوير الحركة المستقبلية باتجاه اليسار

واقعيًا يمكن تحسين الخوارزمية برسم عدة أقواس بمسافات متتالية بدءاً من الجسم الأصلي كما هو مبين في الشكل:



شكل رقم (4): خطوات خوارزمية توقع العقبات الديناميكية المحسنة

كالمثال التالي:



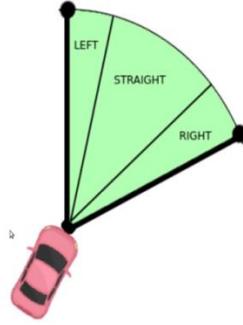
شكل رقم (5): مثال يوضح خوارزمية توقع العقبات الديناميكية المحسنة

يمكن جعلها أفضل قليلاً عن طريق زيادة كثافتها، مثلاً المسافة بين كل قوس و الآخر 0.01 متر لتحديد الموقع المرشح بشكل أدق فنتنتج خريطة حرارية على الشكل التالي:



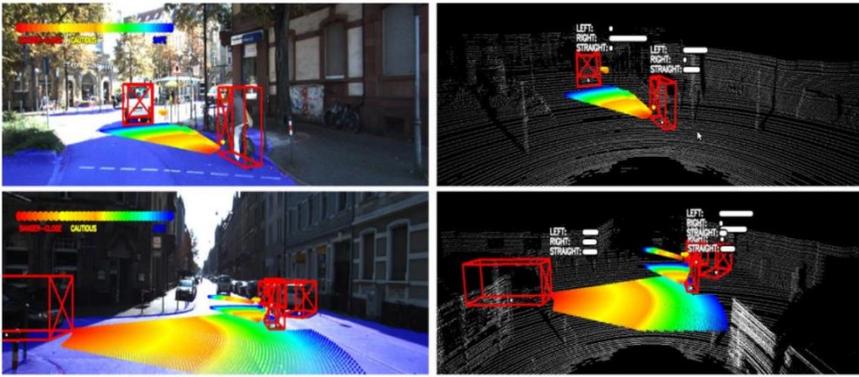
شكل رقم (6): تطبيق خوارزمية توقع العقبات الديناميكية المحسنة كخريطة حرارية للتدرج اللوني

كما يعتبر توقع الاتجاه الفعلي إضافة شيء مهم يمكن القيام به على الشكل التالي وذلك بوضع قطاعات أمام المركبة:



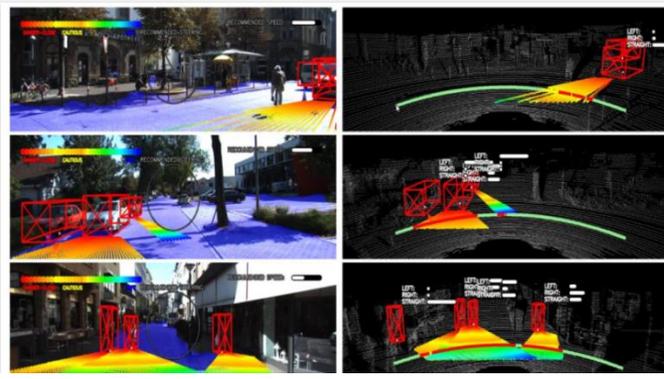
شكل رقم (7): تقسيم قوس التوقع إلى قطاعات لتحديد الاتجاه

في المثال التالي يمكن فيه ملاحظة اتجاه المركبة:



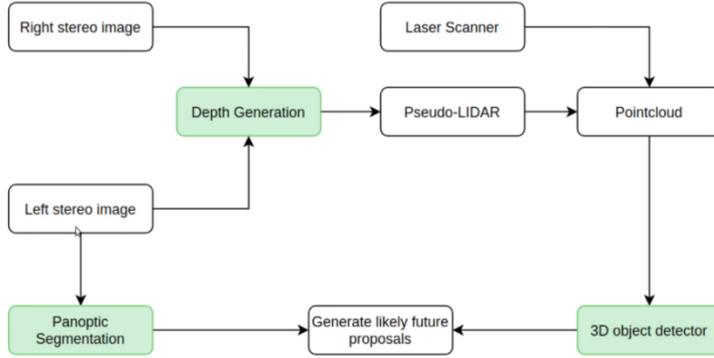
شكل رقم (8): مثال يوضح تحديد اتجاه المركبة

شيء أخير قرر فعله هو إضافة أوامر السرعة والتوجيه وذلك عن طريق إضافة قوس ومراعاة عدد نقاط تقاطعه مع الخريطة الحرارية وتحديد الاتجاه، وكلما زادت التقاطعات قلت السرعة.



شكل رقم (9): مثال يوضح إضافة أوامر السرعة

وبناءً على الخطوات والاقتراحات السابقة يكون المخطط النهائي للخوارزمية الموضوعية (يجب توفر ستريو كاميرا):



شكل رقم (10): المخطط النهائي لخوارزمية توقع العقبات الديناميكية

يتم أخذ صورة ستريو يسرى وصورة ستريو يمنى، ثم يتم استخدام شبكة عصبية للحصول على العمق في الوقت الفعلي لإنتاج خريطة العمق. بعدها يتم استخدام نهج زائف لاحق pseudo-LIDAR لإنشاء سحابة نقط وهمية، ثم استخدام ماسح ليزر فعلي laser scanner لإنشاء سحابة النقطة. ومن أجل سحابة النقطة يمكن تطبيق كاشف ثلاثي الأبعاد 3D object detector للحصول على مربعات الإحاطة ثلاثية الأبعاد.

كما يمكن دمج ذلك مع panoptic segmentation لتوليد توقع مستقبلي، generate likely future proposals كمخطط انسيابي بالطريقة المشروحة سابقاً. إن هذا الأسلوب في الواقع معياري تماماً لذلك لا يوجد حاجة إلى الخوارزمية الفعلية للتنبؤ بالمسار وهو لا يتطلب أي Deep learning لتوليده. بينما القوة الفعلية لهذه النظرية تعتمد على النهج الذي تعتمده الشبكات العصبية الثالثة المستخدمة، فإذا كانت هذه الشبكات الثلاثة جيدة ودقيقة تماماً فإن المسار الذي تنتجه الخريطة الحرارية في النهاية سيكون دقيق تماماً أي إذا كان أي من هذه الشبكات غير دقيق أو ضعيف لن يكون هناك مقترحات مستقبلية جيدة لجميع الأغراض الديناميكية المحيطة، كما يعتبر هذا الأسلوب نمطياً بحيث يمكن استبدال أي جزء بمفرده، فإذا وجد على سبيل المثال كاشف أغراض ثلاثي الأبعاد أفضل بكثير من الذي تم استخدامه، فبدلاً من إعادة تدريب بنية الشبكة العصبية بالكامل وهو شيء معروف في الدراسات السابقة يتم فقط أخذ كاشف الأغراض ثلاثي الأبعاد واستبداله بأخر جديد.

4-4-2- اقتراح الأوامر بالاعتماد على معالجة الصورة:

سنقدم آلية جديدة لنظام اقتراح أوامر بدون استخدام شبكات عصبية عن طريقة معالجة بكسلات الإطارات المتتالية الملتقطة، لتحقيق ذلك يجب القيام بالمرحل الثلاث الآتية:

(1) التعرف على الأجسام المتحركة Motion Detection :

تم دراسة مجموعة من الخوارزميات على مستوى البكسل لتحديد الأجسام المتحركة وتقييمها وهي:

1-1- خوارزمية طرح الخلفية: تعتمد على أخذ قيمة الفرق بين الإطار الحالي وإطار مرجعي يمثل الخلفية (إطار لا يحتوي أي جسم متحرك) وتحديد قيمة عتبة T للفرق، بحيث ينتمي البكسل إلى الخلفية إذا كانت قيمة الفرق أصغر من T وينتمي إلى غرض متحرك إذا كانت قيمة الفرق أكبر من T

1-2- خوارزمية الفرق بين إطارين متتاليين: تعتمد على أخذ قيمة الفرق بين الإطار الحالي والإطار التالي وتحديد قيمة عتبة T للفرق بحيث ينتمي البكسل إلى الخلفية إذا

كانت قيمة الفرق أصغر من T وينتمي إلى غرض متحرك إذا كانت قيمة الفرق أكبر من T

1-3- خوارزمية الفرق المضاعف: تعتمد على أخذ قيمة الفرق بين الإطار الحالي والإطار التالي والفرق بين الإطار الحالي والإطار السابق. [13]

1-4- خوارزمية التدفق البصري Optical Flow algorithm: [15]

في هذه الخوارزمية يتم أخذ إطارين متتاليين وكل بكسل يعتبر كشعاع يدعى optical flow، يعطي هذا الشعاع موقع البكسل مقارنةً مع البكسل السابق عبر الزمن، ولتبسيط التعقيد يمكن تحويل الصور ثلاثية الأبعاد 3D إلى صور ثنائية الأبعاد 2D واستخدام السطوع في الصورة:

1-5- خوارزمية تطبيقية مقترحة من Dastanova: [5]

قدم Dastanova خوارزمية عملية تقوم على الخطوات التالية:

- في البداية يتم الحصول على صور الإطارات من فيديو مدخل والقيام بمعالجة أولية بتحويلها إلى اللون الرمادي لتبسيط المعالجة والتعامل مع بايت واحد لكل بكسل بدلاً من التعامل مع ثلاثة بايتات في صور RGB.

- يتم التعرف على حركة الأجسام بتحويل الإطار الحالي والإطار التالي إلى bit planes وفق:

$$\lfloor \frac{Y}{2^k} \rfloor \text{mod } 2 = a_k,$$

حيث Y هو القيمة الرمادية للبكسل، k عدد البتات، a_k قيمة البت المدروس.

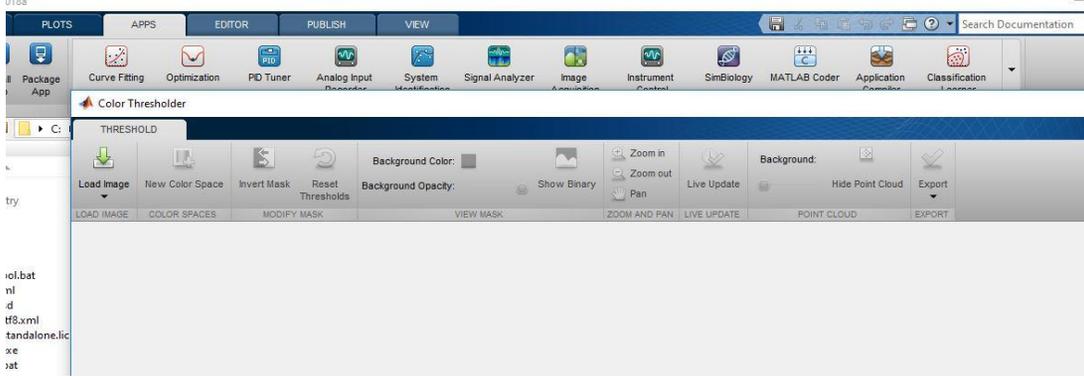
- ثم تتم المقارنة عن طريق معامل Xor بين الإطارات (MSB للإطار الحالي يقارن مع MSB للإطار السابق).

- بعد ذلك يُحوّل الناتج إلى صورة رمادية.

- وباستخدام عتبة معينة تُحوّل الصورة الرمادية الناتجة إلى صورة ثنائية تحوي الأجسام المتحركة.

1-6- خوارزمية باستخدام تمييز لوني بتطبيق Color Threshold:

إن بيئة ماتلاب تحوي مجموعة من التطبيقات Apps التي يمكن استخدامها بشكل مباشر من خلال التويب Apps، تم اختيار تطبيق Color Thresholder من مجموعة تطبيقات معالجة الصورة على النحو الآتي:



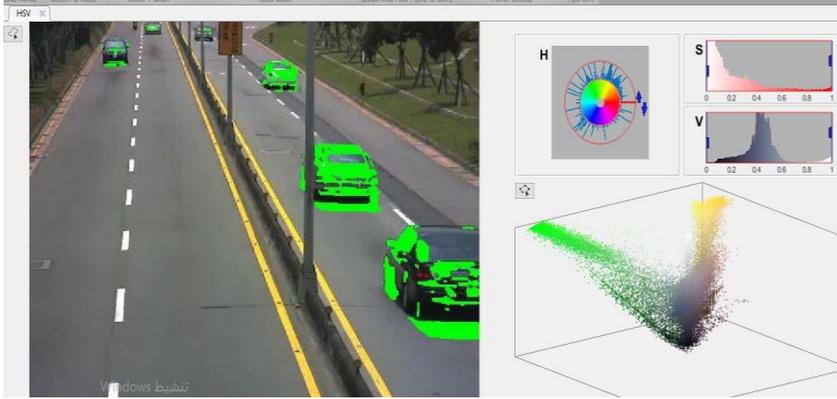
شكل رقم (11): واجهة تطبيق Color Thresholder في ماتلاب

بدايةً قبل المعالجة اللونية للإطار تم اقتراح إجراء معالجة مسبقة لتحديد بكسلات الأغراض بلون أخضر ثم ندخل الصورة إلى التطبيق لتوليد تابع ماتلاب وفق الخطوات التالية:

اختيار نظام اللون HSV:

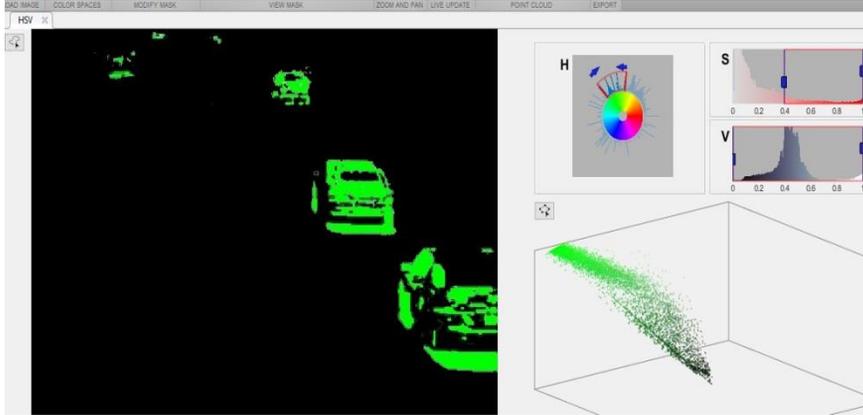
يتيح التطبيق اختيار نظام لوني للصورة من بين أربعة أنظمة: (RGB, HSV, YCbCr, L*a*b*)

نختار نظام لون HSV لتمثيل الصورة، فتظهر الصورة الآتية وفق نظام HSV وعلى يمين الصورة توزع الكثافة اللوني للصورة بقيمة كل من H, S, V



شكل رقم (12): كيفية تعامل ماتلاب مع HSV

لنتم الفلترة يتم تحديد H و S بحيث نختار في قيم H تدرجات اللون الأخضر فقط، وفي S نختار القيمة من 0.4 إلى 1:



شكل رقم (13): تحديد H و S لنتم الفلترة

ثم تتم عملية التصدير إلى تابع وإضافة إطار مستطيل حول الأغراض.

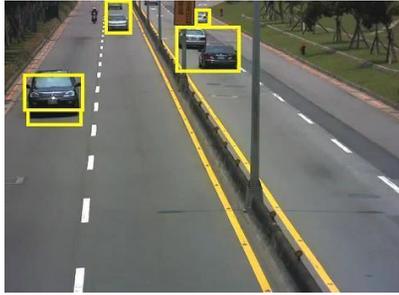
(2) تقدير الحركة Motion Estimation:

وهو تقدير حركة الأجسام المتحركة بين إطارين لتحديد اتجاه الحركة لكل جسم ليسهل توقع حركته، ورغم وجود العديد من خوارزميات التقدير على مستوى المايكروبلوك (منها التسلسلي واللوغاريتمي والهرمي بثلاث أو أربع مراحل)

ويقصد تقليل زمن التنفيذ الكلي ليتناسب التطبيق مع العمل في الزمن الحقيقي اقترحنا في الدراسة الحالية بعد التعرف على الأجسام المتحركة وضع إطار حدود حول كل جسم

متحرك وتقدير الحركة بمقارنة موضع بكسل الزاوية العلوية اليسرى للجسم نفسه بين إطارين متتاليين، وكانت العقبة الأساسية التي واجهت التطبيق تتمثل في نقطتين أساسيتين:

الأولى دقة وضع الإطار حول الجسم المتحرك: بسبب اختيار عتبة معينة في التعرف لن يتم اعتبار كافة بكسلات الجسم تابعة له، وبالتالي سيتشكل فراغات ضمن الجسم ما ينتج عنه عملياً عدة أنواع من الأخطاء: مثلاً أن يعتبر الجسم أكثر من جسم واحد، أو أن يعتبر الجسم أصغر من الواقع، أو أن يعتبر المركبتين مركبةً واحدةً بإطار واحد عند اقترابهما بشكل كبير من بعضهما، كالسيارتين في الجهة اليمنى في الشكل الآتي:



شكل (14) صورة توضح اعتبار السيارة في لأقصى اليسار مركبتين

لحل المشاكل السابقة تم اقتراح وتطبيق خوارزمية تقوم بملء الفراغات في الصورة عن طريق ملء البكسلات ثم تحديد أبعاد الجسم بدقة، وبعد تحديد إطار محيط بكل جسم متحرك يتم تقدير الحركة بمقارنة إحداثيات الزاوية العلوية اليسرى لمحيط الجسم بين صورتين متتاليتين ومعرفة اتجاه الحركة بدقة.

(3) التنبؤ بالحركة المستقبلية Motion prediction:

تناولت العديد من الدراسات مجموعة خوارزميات تعتمد على معالجة الصورة لتعقب الأجسام المتحركة في الزمن الحقيقي حيث كان زمن التنفيذ مقابل الدقة هو العامل الأهم في هذه الخوارزميات، فمن أجل دقة عالية يصبح الزمن اللازم كبيراً وغير مناسب للزمن الحقيقي، وتخفيض الزمن الحسابي قد يؤثر على الدقة، ومن أبرز هذه الخوارزميات:

- خوارزمية معتمدة على Blob analysis في ماتلاب حيث تتألف من مرحلتين:

1- تحديد الأجسام المتحركة في كل إطار من الفيديو

2- تعقب الغرض المكتشف عبر الزمن

يستخدم اكتشاف الأجسام المتحركة خوارزمية طرح في الخلفية بناءً على نماذج خليط غاوسي، يتم تطبيق العمليات المورفولوجية على القناع الأمامي الناتج لإزالة الضوضاء، وأخيراً يكتشف تحليل blob مجموعات من وحدات البكسل المتصلة والتي من المحتمل أن تتوافق مع الكائنات المتحركة.

تم إنشاء نظام قائم على الحركة لاكتشاف وتتبع العديد من الكائنات المتحركة واستخدام مقاطع فيديو مختلفة لمعرفة ما إذا كانت الخوارزمية قادرة على اكتشاف وتتبع الكائنات، ومحاولة تعديل المعلمات لخطوات الكشف والتعيين والحذف.

يعتمد التتبع فقط على الحركة مع افتراض أن جميع الكائنات تتحرك في خط مستقيم بسرعة ثابتة، عندما تنحرف حركة كائن ما بشكل كبير عن هذا النموذج، فقد ينتج عن المثال أخطاء في التتبع، مثل الخطأ في تتبع شخص عندما تحجبه شجرة.

يمكن تقليل احتمالية أخطاء التتبع باستخدام نموذج حركة أكثر تعقيداً، مثل التسارع المستمر، أو باستخدام مرشحات كالمان المتعددة لكل كائن، يمكن أيضاً دمج إشارات أخرى لربط عمليات الاكتشاف بمرور الوقت، مثل الحجم والشكل واللون.

• خوارزمية TFT الجديدة، وتسمى "تتبع الوقت أولاً": [6]

تعد الاستفادة من الحركة والإشارات المرئية الأخرى التي تتجاوز مقترحات الصندوق المحيط بالأغراض طريقة بديهية للتتبع، ولكن عند استخدامها بالاقتران مع أجهزة الكشف عن الكائنات، فإن الوصول إلى دقة عالية يأتي بتكلفة حسابية عالية.

تهدف بنية TFT إلى زيادة سرعات التتبع عن طريق تحديد مواقع الكائنات باستخدام طرق غير دقيقة لتقدير الحركة بدلاً من طرق اكتشاف الكائنات حيثما أمكن ذلك، يتم تتبع الحركة والأجسام باستخدام متتبع تقريب الحركة المتراكم (AMA) AMA

Tracklets

لحساب المسافات بين جميع النقاط بعد تشكيل الكتل في المستوى $x-y$ ، تتم إعادة تضمين بُعد الإطار لحساب الخطوط المتعامدة ثلاثية الأبعاد لأفضل ملائمة، والتي تمثل متجهات الحركة المقدرة للمجموعات.

تتمتع مسارات AMA بميزة تعيين اكتشافات متعددة على إطار واحد لنفس المجموعة وملء الاكتشافات المفقودة، هذه الميزة مفيدة في نتائج الطرح في الخلفية، حيث لا يوجد دائماً تطابق واحد لواحد بين الكائنات والمناطق الأمامية.

من الناحية التجريبية، إن الاحتفاظ τ صغيراً ≈ 10 إطارات ، يحل مشكلات الاكتشافات غير المتسقة ويحد من مدة أي أخطاء في التجميع، والتي يمكن إصلاحها من خلال الخطوات المستقبلية AMA Tracker

يقيس TFT كثافة الهدف بشكل منقطع ثم يعثر على أهداف بكاشف كائن في مناطق عالية الكثافة وطرح في الخلفية في مناطق منخفضة الكثافة. هذا يقلل من استخدام كاشف الكائن، مما يزيد من سرعة المعالجة الإجمالية ولكن دقة التتبع أقل في المناطق منخفضة الكثافة.

5- الخوارزمية الهجينة المقترحة في الدراسة الحالية:

أولاً: التعرف على الأجسام المتحركة:

عند تطبيق الخوارزميات السابقة للتعرف على المركبات المتحركة لاحظنا وجود عدد من المشاكل عند تحديد الأجسام بالاعتماد على بكسلات الصورة فقط، من أهم هذه المشاكل:

- في خوارزميتي الفرق و الفرق المضاعف سوف يتكرر ظهور الجسم المتحرك من الإطارات المتتالية كأنه خيال للجسم ما اعتبر على أنه عدة أجسام متحركة.

- الأجسام المتوقفة دون حركة والبطيئة جداً ستعتبر جزء من الخلفية ولن تظهر في الفرق.

- في خوارزمية طرح الخلفية إن أي حركة بسيطة في الخلفية كاهتزاز شجرة أو عمود أو اهتزاز الكاميرا بفعل الهواء و العوامل الأخرى سيؤدي إلى اختلاف بسيط في مكونات الخلفية و الذي سيعتبر أجسام متحركة وهمية.
ولحل هذه المشاكل تم اقتراح وتطبيق خوارزمية هجينة للفرق المضاعف في المرحلة الأولى منها نقوم بطرح إطارين متتاليين وفي المرحلة الثانية نقوم بطرح الإطار الحالي و إطار الخلفية ونقوم بإدخال صورتَي الفرق الناتجتين على معامل AND ، إن ذلك يؤدي إلى تحسين النتائج بشكل ملحوظ.

ثانياً: تقدير الحركة وتحديد الاتجاه المبدئي للحركة:

يتم ذلك بمقارنة الزاوية العلوية اليسرى لصندوق حدود الجسم المتحرك بين إطارين متتاليين أو أكثر بحسب سرعة الحركة ليتم تحديد الاتجاه المبدئي دون كلفة زمنية كبيرة.
ثالثاً: التنبؤ و اقتراح الأوامر:

بطريقة مشابهة لفكرة الشبكات العصبية المقدمة وبمعالجة بكسلات الصورة بعد تحديد اتجاه الحركة لكل جسم تم وضع خريطة لونية لقوس الحركة أمام الجسم المتحرك بمسافة توقع تساوي طول الجسم المتحرك مضروباً بمعامل ضرب متغير r يتناسب مع المسافة المطلوبة في التطبيق وارتفاع الكاميرا و بعد الجسم عنها و زاوية قوس θ تتعدل بحسب درجة ميل الطريق و ميل المركبة عن محور الطريق



شكل (15) صورة توضح إضافة قوس أمام المركبة

ثم تم تعريف نظام اقتراح تعليمات بالاعتماد على طول القوس و زاويته و اللون عند الحافة يشمل:

- من ناحية الخطورة: حالة أمان - انتباه- خطر
- من ناحية السرعة: زيادة سرعة - تمهل - توقف
- من ناحية الاتجاه: إلى الأمام - اليمين - اليسار

6-التطبيق العملي والنتائج:

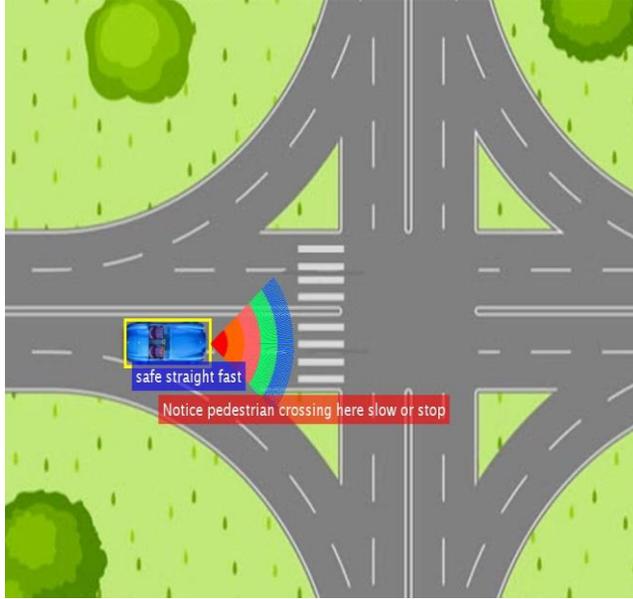
تم اختبار الخوارزمية المقترحة على عدة سيناريوهات وفق ما يلي:
الفيديو الأول: تم أخذ فيديو للمركبات المتحركة لسيارات تسير على الطريق
الفيديو الثاني: هو عبارة عن فيديو مصمم عن طريق النمذجة يمثل مركبة تسير على
طريق أمام ممر مشاة.
وتم اختبار سيناريو السيارة تسير دون ملاحظة ممر مشاة، وفي السيناريو الثاني تم
إخفاء معلومة وجود ممر مشاة.

الفيديو الثالث: مصمم وفق النمذجة لمركبتين تسييران على الطريق بنفس الاتجاه، تتوقف الأولى فجأة ثم تتجاوزها الثانية

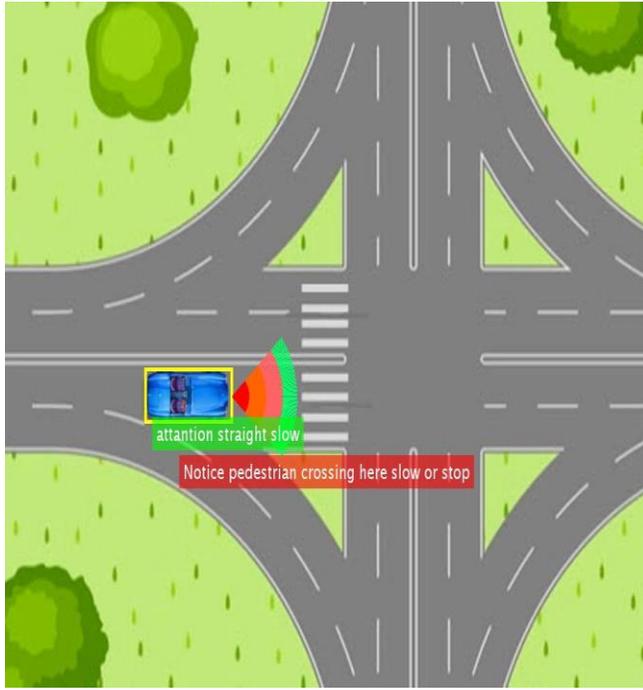
بتطبيق الخوارزمية بشكلها النهائي كانت النتائج الآتية:

أولاً بالنسبة للسياريو الأول: تم اقتراح الأوامر بدقة عالية وبزمن تنفيذ أقل من الخوارزميات الخرى، فمثلاً كان زمن التنفيذ للشبكة العصبية بين إطارين متتاليين هو 1.2 ثانية أما في معالجة البكسلات كان زمن التنفيذ 0.882 ثانية، كما أن الشبكة العصبية احتاجت إلى التدريب.

ثانياً بالنسبة للسياريو الثاني نلاحظ: تم إعطاء أمر سرعة عالية قبل الوصول إلى الممر ثم إعطاء أمر بطء وانتباه لوجود الممر، ثم سرعة بعد تجاوزه، بدقة 100% وزمن تنفيذ 1.088 ثانية بين إطارين متتاليين، كما هو موضح:



شكل رقم (16): السيارة بعيدة عن الممر و الأمر تقدم مع سرعة



شكل رقم (17): اقتراب السيارة من ممر المشاة واقتراح أمر انتباه لوجود ممر مشاة قريب

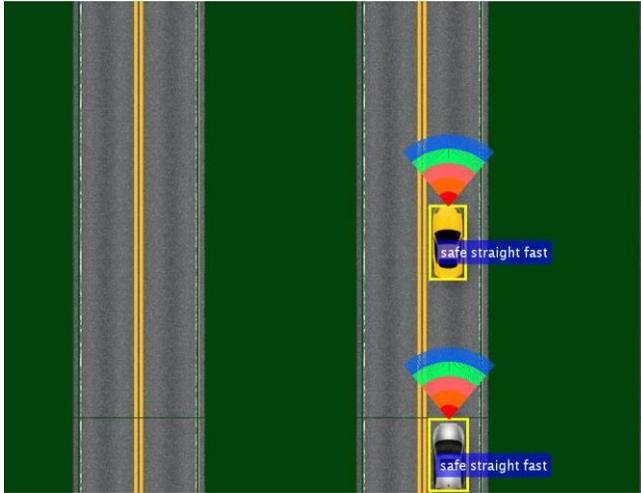


شكل رقم (18): السيارة تتجاوز الممر مع تنبيه وأمر تخفيض سرعة
نلاحظ أمر توقف لوجود ممر مشاة

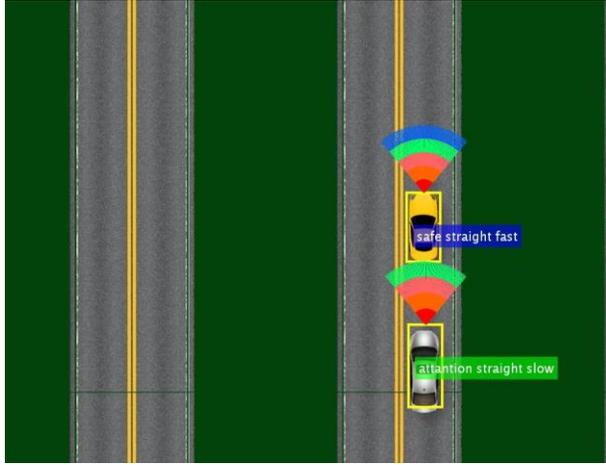


شكل رقم (19): بعد تجاوز ممر المشاة إعطاء أمر سرعة

ثالثاً السيناريو الثالث: سير للأمام وتجاوز المركبة ثم سير للأمام مع ملاحظة عدم اقتراح العودة إلى طرف الطريق اليميني بعد الابتعاد عن المركبة بزمن تنفيذ 0.98 ثانية ومسافة مساوية لطول المركبة وذلك بإعطاء اقتراح الانتقال إلى اليسار قبل الوصول للمركبة المتوقفة بمسافة كافية.

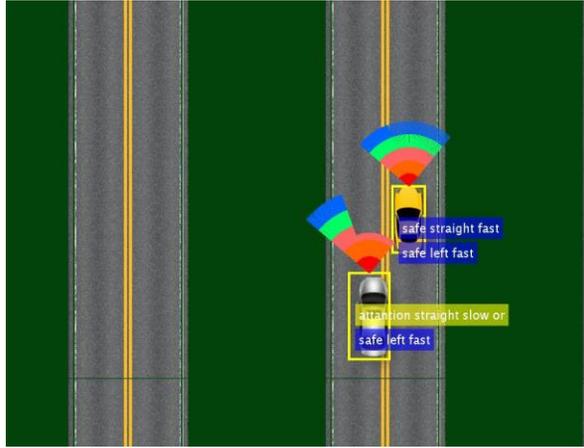


شكل رقم (20) السيارة الثانية تتقدم باتجاه المتوقفة مع وجود مسافة كافية نلاحظ ان السيارتين بينهما مسافة كافية و إعطاء أمر سرعة وأمان



شكل رقم (21): السيارة الثانية تتجه باتجاه امتموقفة وانخفاض المسافة بينهما وإعطاء تنبيه

نلاحظ أن السيارتين قريبتين وإعطاء أمر ببطء الحركة و انتباه



شكل رقم (22): المسافة بين السيارتين انخفضت اقتراح خفض سرعة أو تجاوز عن اليسار

المسافة قريبة جداً و أمر ببطء أو انعطاف لليمين (تجاوز)

6-1- مقارنة الخوارزمية المقترحة مع خوارزميات التعرف على الحركة:

عند تطبيق خوارزميات التعرف على الأجسام المتحركة ظهرت العديد من المشاكل، فيما يلي عرض لأهم المشاكل الملاحظة عند تحديد الأجسام المتحركة حيث تم تلوين الخلفية بلون أسود والأجسام المتحركة بالأخضر أو الأصفر في بعض الصور للتوضيح:

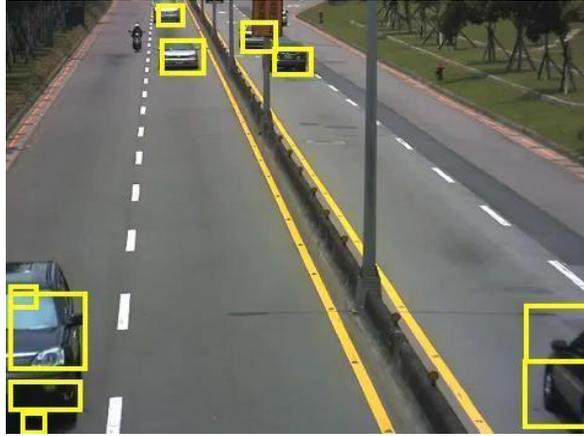
قيمة العتبة المختارة:

عند عملية المقارنة بين إطارين (سواءً إطارين متتاليين أو إطار مع إطار خلفية) لا تحقق جميع بكسلات الغرض المتحرك قيمة العتبة المختارة مما ينتج عنه وجود فراغات (فجوات) في الجسم المتحرك.



شكل رقم (23): توضيح وجود فراغات بسبب قيمة العتبة المختارة

إن تطبيق الخوارزمية على مستوى البكسل مع تحديد قيمة عتبة متغيرة لتقرير إذا كان البكسل ينتمي إلى الخلفية أو إلى غرض ما قد يؤدي إلى اعتبار الجسم المتحرك عدة أجسام مما يعطي أجساماً متحركة أكثر من الواقع وبمسافات قصيرة جداً، كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل رقم (24): اعتبار الجسم المتحرك عدة أجسام متحركة

حركة الخلفية:

تحدث المشكلة عند وجود حركة معينة إما في أجزاء الخلفية نتيجة هواء على سبيل المثال أو حركة في الكاميرا مما يؤدي إلى تغير مواقع البكسلات وحدوث حركة وهمية أو تحديد جسم متحرك وهمي كما في الشكل التالي:



شكل رقم (25): توضيح مشكلة حركة الخلفية

عدم مواعمة خوارزميات الفرق لتطبيقات القيادة الذاتية:

عند تطبيق خوارزميات الفرق يظهر الجسم المتحرك مكرراً في الصورة كظل للجسم الأصلي مما يسبب تغييراً في أبعاد الجسم المتحرك أو تحديد جسم متحرك آخر ملاصق له، وكما تم ذكره سابقاً فإن الأجسام المتوقفة أو بطيئة الحركة كثيراً تعتبر جزءاً من الخلفية ولن تعتبر أغراضاً:



شكل رقم (26): توضيح مشكلة تطبيق خوارزميات الفرق

تم تطبيق الخوارزمية الهجينة المقترحة ومقارنة النتائج مع النتائج الممكنة للخوارزميات الأخرى وكانت النتائج في السيناريو الأول على الشكل الآتي:

جدول (1): نتائج مقارنة خوارزميات التعرف مع الخوارزمية المقترحة بالنسبة لحركة مركبات على الطريق

الخوارزمية المعيار	Two- frame	Three- frame	BS	OF	Dastanova	Blob Analysis	color Thresholder	Suggested Algorithm
TDR	0.985	0.978	1	1	0.985	0.974	0.99	0.99
FAR	0.028	0.014	0.297	0.301	0.014	0.013	0.009	0.002
Sensitivity	1	0.992	1	1	1	0.9487	0.983	0.991
Specificity	0.935	0.992	0.033	0	0.968	0.6667	0.545	0.857
Accuracy	0.975	0.964	0.705	0.695	0.985	0.95	1	1
PP	0.971	0.969	0.702	0.698	0.985	0.987	0.991	0.998
NP	1	0.983	1	0	1	0.333	0.375	0.545
FNR	0	0.007	0	0	0	0.051	0.017	0.009
FPR	0.064	0.003	0.967	1	0.032	0.333	0.455	0.143

يوضح الجدول (1) أنه بتطبيق الخوارزمية المقترحة تم تحقيق زيادة في الدقة إلى 100% و تخفيض الخطأ إلى 0.002

جدول (2): نتائج مقارنة خوارزميات التعرف مع الخوارزمية المقترحة بالنسبة لحركة مركبات على الطريق باستخدام النمذجة

الخوارزمية المعيار	Two- frame	Three- frame	BS	OF	Dastanova	Blob Analysis	color Thresholder	Suggested Algorithm
TDR	0.985	0.978	1	1	0.985	0.974	0.99	1
FAR	0.028	0.014	0.297	0.301	0.014	0.013	0.009	0
Sensitivity	1	0.992	1	1	1	0.9487	0.983	1
Specificity	0.935	0.992	0.033	0	0.968	0.6667	0.545	1
Accuracy	0.975	0.964	0.705	0.695	0.985	0.95	1	1
PP	0.971	0.969	0.702	0.698	0.985	0.987	0.991	1
NP	1	0.983	1	0	1	0.333	0.375	1
FNR	0	0.007	0	0	0	0.051	0.017	0
FPR	0.064	0.003	0.967	1	0.032	0.333	0.455	0

يوضح جدول (2) أن المقارنة بين الخوارزمية المقترحة والخوارزميات السابقة تدل على حالة مثالية في التطبيق بدقة 100% و دون وجود أي خطأ.

6-2- بالنسبة لتقدير الحركة:

اعتمدت الفكرة المقدمة على ترتيب مصفوفة حدود الأجسام بين إطارين متتاليين و مقارنة الزاوية اليسارية العليا لنفس الجسم في الإطارين وقت تم تنفيذها بزمن 0.54 ثانية مما يزيد سرعة تنفيذ التقنية بشكل عام و بدقة تحديد اتجاه حركة 100 %

6-3- بالنسبة للتنبؤ بالحركة و إعطاء الأوامر:

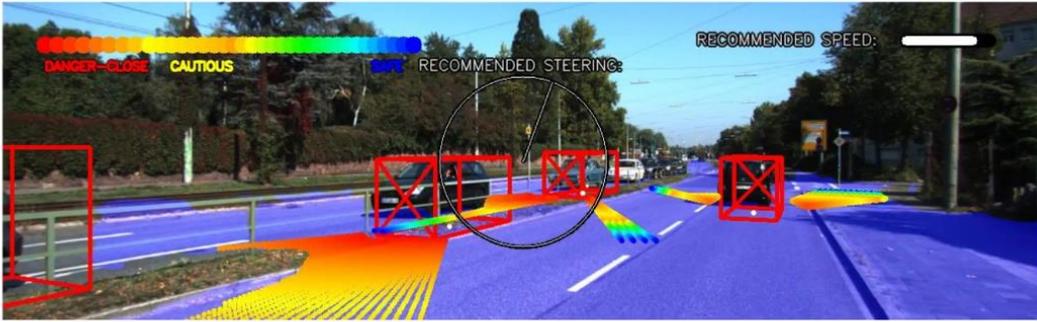
أولاً- مقارنة الخوارزمية المقترحة مع خوارزميات الشبكات العصبية:

بمقارنة الخوارزمية المقترحة المعتمدة على معالجة الصورة فقط والخوارزمية المعتمدة على الشبكات العصبية تبين ما يلي:

إن معظم خوارزميات التنبؤ التي تعتمد على الشبكات العصبية تعاني من المشاكل التالية:

- (1) بنية معقدة للشبكة العصبية المستخدمة قد يؤدي إلى البطء.
- (2) الحاجة لكمية كبيرة من البيانات من أجل التدريب وهذا يستغرق وقتاً طويلاً والشبكة لن تعمل بطريقة مثالية إذا واجهت بيانات جديدة
- (3) اهتمت تقنية الشبكات العصبية بتحديد موضع الأجسام المتحركة و موقعها المستقبلي لكنها عجزت عن معالجة حالات الطريق (مثل وجود ممر مشاة - إشارة ضوئية منصف وسط الطريق ..)

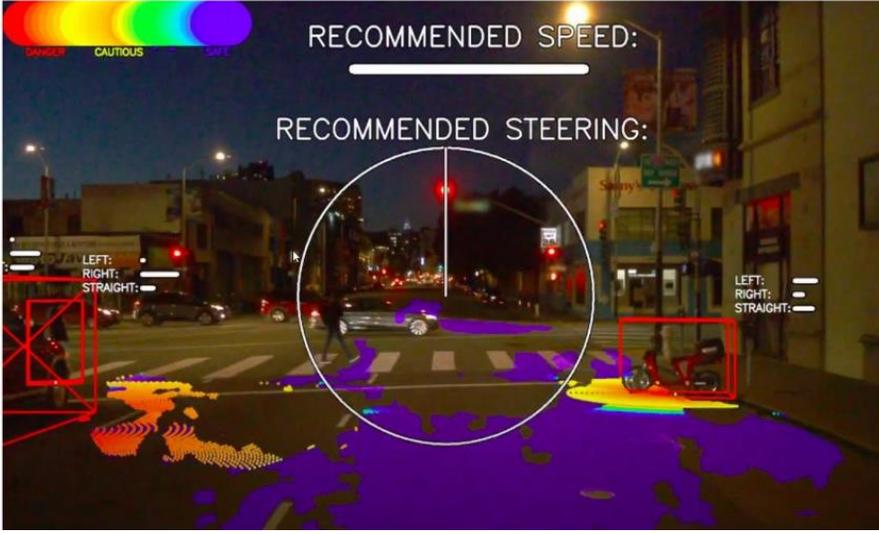
في المثال التالي:



شكل رقم (27) نتيجة خاطئة لتجاوز منصف في خوارزمية الشبكات العصبية

نلاحظ أن المركبة في الوسط قد تم اقتراح حركتها إلى يمين الصورة مع وجود منصف الطريق ما قد يسبب اصطدام المركبة بالمنصف.

أما في المثال التالي:



شكل رقم (28) تجاهل ممر مشاة في خوارزمية الشبكات العصبية

نلاحظ أن الاقتراح الناتج عن الشبكة العصبية هو سرعة المركبة رغم وجود ممر مشاة وتقاطع في الصورة

لحل المشاكل السابقة في خوارزمية معالجة الصورة المقترحة تم اقتراح استخدام تقنية "الإخفاء ضمن صورة" المقدمة من قبل الباحث بسيم برهوم [1] والتي تتضمن إخفاء بعض المعلومات في إثبات أن الأقل أهمية في صورة لا يؤثر على دقة الصورة ولا يؤثر على حجم البيانات ويحسن الخوارزمية.

تم استخدام الثلاثة بتات الأقل أهمية في مصفوفة اللون الرمادي للخلفية لتخزين ثمانية حالات:

جدول (3): دليل استخدام تقنية الإخفاء

فارغ للتوسعة	000	0
أفضلية مرور للغير	001	1
تقاطع خطر	010	2
إشارة ضوئية	011	3
التفاف للسيار	100	4
التفاف لليمين	101	5
ممر مشاة	110	6
الموقع للبكسل خارج نطاق الفريق	111	7

ثانياً- مقارنة الخوارزمية المقترحة مع خوارزميات معالجة الصورة:

يوجد مجموعة من الخوارزميات التي تقوم بتحليل الصور بشكل تلقائي و تستخدم مفهوم الإخفاء في تطبيقات القيادة الذاتية بهدف تجنب الازدحام المروري أو وقوع حوادث مرورية .

لدى الاطلاع على نتائج مجموعة من هذه الخوارزميات تم اكتشاف المشاكل التالية:

إن معظم الخوارزميات تهتم بتعقب الأجسام المتحركة في الزمن الحقيقي في حين نهدف إلى التنبؤ بالمسار المستقبلي.

عند تطبيق خوارزميتي Blob Analysis و TFT نلاحظ أن الخوارزميات تهتم باكتشاف الجسم المتحرك وتعقب مساره دون تحديد أبعاده بدقة حيث نجد صندوق محيط الجسم أصغر من أبعاد الجسم نفسه، كما نلاحظ أيضاً حالة أخرى وهي اعتبار أجزاء من الجسم المتحرك كأجسام منفصلة، كما أنه في بعض الإطارات لم يتم اكتشاف كل الأجسام المتحركة وفي إطارات أخرى ظهر صندوق محيط جسم فارغ.

إن هذه المشاكل لن تؤثر كثيراً في تعقب مسار جسم إلا أنها قد تؤدي إلى خطورة شديدة وحالات اصطدام عند استخدام التنبؤ لإعطاء أوامر القيادة الذاتية فمثلاً صندوق فارغ قد يسبب أمر تجاوز أو توقف في حين أن الطريق مفتوح، أما في حالة جسم غير مكتشف فقد يسبب أمر زيادة سرعة وتقدم ما ينجم عنه اصطدام خطير.

إن الخوارزمية المقترحة قد تجنبت المشاكل السابقة بدقة 99-100% و بزمن تنفيذ صغير مقارنة بالخوارزميات الأخرى.

7- مقترحات البحث:

- تطوير استخدام تقنيات الإخفاء لمعلومات أكثر ودراسة تأثيرها على دقة الصورة.
- تطبيق الخوارزمية المقترحة على صورة ملتقطة من كاميرا ضمن السيارة، وبالتالي خلفية متغيرة مع إمكانية الحصول على معلومات مسبقة عن الطريق أو تحويل الصور إلى خرائط.
- الاعتماد على GPS للحصول على خرائط، علماً أن الخوارزمية نظرياً قابلة للتطبيق على هذه الخرائط بكفاءة عالية.

المراجع:

- 1- برهوم، بسيم . 2020- أمن نظم المعلومات. سوريا: منشورات جامعة تشرين.
- 2- Bhattacharyya, Apratim; Fritz, Mari and Schiele, Bernt .2018- Long-Term On-Board Prediction of People in Traffic Scenes under Uncertainty. Max Planck Institute for Informatics, Germany: Saarland Informatics Campus.
- 3- Cho, J.H., Nam, H.K., Lee, W.S., 2006- Driver behaviour with adaptive cruise control. International Journal of Automotive Engineering. 7 (5), 603-608.
- 4- Dabov, Kostadin; Foi, Alessandro; Kathonvnik, Vladimir and Egiazarian, Karen.2007- Image Denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering, IEEE Transaction on Image Processing. 16(8), 2080-2095.
- 5- Dastanova, Nazgual. 2016- Moving Object Detection Using Bit Plane Slicing. Kazakhstan: Nazarbayev University.

- 6- Jaramillo, Joachim; Jarrett, Khari; Ray, Laura; Granger, Richard; Bowen, Elijah.(2021). Time-First Tracking: An Efficient Multiple-Object Tracking Architecture for Dynamic Surveillance Environments, **10th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods**. 602- 610.
- 7- Krapukhina, Nina. 2018-A Method for Predicting Vehicles Motion Based on Road Scene Reconstruction and Neural Networks in Real Time, **IT in Industry**, vol. 6, 33-38.
- 8- Lefevre, Stephanie; Vasquez, Dizan and Laugier, Christian . 2018- A Survey on Motion and Risk Assessment for Intelligent Vehicles .**ROBOMECH journal**.
- 9- Lipovits, Ágnes; Czúni, László; Tömördi, Katalin; Vörösházi, Zsolt.(2021). Multiple Object Tracking by Bounding Boxes Without Using Texture Information and Optical Flow, **Computer Science Research Notes CSRN**, 309-316.

- 10- Mehdi, Muhammad . 2019-**Trajectory Prediction for ADAS.**
Thesis for: Master's in Automation Engineering. University of Bologna.
- 11- Nie, Yao and Ma, Kai-Kuang .2002- Adaptive Rood Pattern Search for Fast Block-Matching Motion Estimation. **IEEE Trans.** 11(12). 1442-1448.
- 12- Nguyen, Van; Nguyen, Anh; Nguyen, Viet; Bui, Huy; Nguyen, Xuan.(2021). Real-time Target Human Tracking using Camshift and LucasKanade Optical Flow Algorithm, *Advances in Science, **Technology and Engineering Systems Journal,*** Vol. 6 (2), 907-914.
- 13- Pobil, Angel and Martínez , Ester . 2012- **Robust Motion Detection in Real leaf Scenarios,** Retrieved from <https://www.researchgate.net>
- 14- Singh, Pritpal; Deepak, B.; Sethi, Tanjot; Murthy, Meta.(2015). Real-Time Object Detection and Tracking Using Color Feature and Motion, **International Conference on**

- Communication and Signal Processing**, April 2–4, 2015, India, 1252– 1257.
- 15– Srikanth, Shashank; Ansari, Junaid; Ram, Karnik; Sharma, Sarthak and Madhava, Krishna. 2019– **Intermediate Representations for Future Prediction**. Retrieved from arxiv.org
- 16– Stanton, N.A., Young, M.S., 2005. Driver behaviour with adaptive cruise control. **Ergonomics**, 48 (10), 1294–1313.
- 17– Törnros, J., Nilsson, L., Östlund, J., Kircher, A., 2002. Effects of ACC on Driver Behaviour, Workload and Acceptance in Relation to Minimum Time Headway. **Paper Presented at the 9th World Congress on Intelligent Transport Systems**, Chicago

إعداد دراسة رياضية ومحاكاة ميكانيكية لآلة زراعة دقيقة مفردة الحبة محمولة على جرار زراعي

1 م. محمود اسماعيل أسعد

2 د. محمد غانم

3 د. سمير الأحمد

ملخص:

تم في هذا البحث وضع تصميم لآلة بذر مفردة الحبة محمولة على جرار زراعي لزراعة الذرة الصفراء، والقمح الشتوي حيث تم إجراء دراسة رياضية كاملة للآلة تم من خلالها تحليل القوى وردود الأفعال في نقاط التعليق، وتحليل القوى الستاتيكية المؤثرة على الآلة لتحديد قيمة قوة السحب والرفع التي بلغت محصولتهما $F=6397.17N$. كما تم إجراء دراسة رياضية لحساب عدد الثقوب المحيطة الواجب تواجدها على قرص التلقيح وفق المتطلبات التصميمية، حيث بلغ عدد الثقوب 16 ثقوباً عند مسافات بذر 0.2m و 13 ثقوباً عند مسافات بذر 0.25m. كما تم إجراء محاكاة هندسية للأجزاء الفعالة من خلال إدخال قيم وخصائص القوى الخارجية المؤثرة عليها بناءً على نتائج الدراسة الرياضية وتحليل الاستجابة الميكانيكية للعناصر من خلال حساب معاملات الأمان وتوزيع الإجهادات وفق نظرية Von Mises، وقد أظهرت النتائج إمكانية البدء في تصنيع آلة البذر وفق الأبعاد الهندسية الموضوعية حسب الدراسة الرياضية.

الكلمات المفتاحية: آلة بذر مفردة الحبة - آلات تسطير البذور - مكننة زراعية - تصميم ميكانيكي.

¹ طالب دراسات عليا (دكتوراه) - جامعة طرطوس - كلية الهندسة التقنية - قسم هندسة المكننة الزراعية - سوريا - طرطوس.

² أستاذ - جامعة طرطوس - كلية الهندسة التقنية - قسم هندسة المكننة الزراعية - سوريا - طرطوس.

³ باحث - الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية - مركز بحوث طرطوس - سوريا - طرطوس.

Preparing a mathematical study and mechanical simulation for a tractor mounted single–grain precision planter

Eng. Mahmoud Asaad ¹

Dr. Mohammed Ghanem²

Dr. Samer Alahmad³

Abstract:

In this research, a new design was developed for a single-grain planter mounted on an agricultural tractor for maize, where a complete mathematical study of the machine was conducted through which the forces and reactions at the suspension points were analyzed, and the static forces affecting the machine were analyzed to determine the value of the pulling and lifting force that reached their sum $F=6397.17$ N. A mathematical study was also conducted to calculate the number of grooves on the metering disk according to the design requirements, where the number of grooves was 16 grooves at 0.2 m seeding distances and 13 grooves at 0.25 m seeding distances. suggestion have been made for future computer simulation for affecting forces and for planter fabrication. An engineering simulation of active components has been carried out by inclusion of the affecting external forces values and properties based on the results of the mathematical study; the mechanical response has been analyzed by computing the factor of safety and the Von Mises stresses distribution. The results showed the possibility of proceeding with implementation of the current prototype according to the created dimensions.

Key words: single–seed planter – drilling machine – agricultural mechanization – mechanical design.

¹ PhD. Student – Department of agricultural machinery - Faculty of Technical Engineering - Tartus University - Tartus – Syria.

² Professor - Department of agricultural machinery - Faculty of Technical Engineering - Tartus University - Tartus – Syria.

³ Researcher – The General Commission of Agricultural Scientific Researches – Tartus Center – Tartus – Syria.

1. مقدمة

تعتبر المكننة الزراعية عاملاً مهماً جداً في عملية التطوير الزراعي ونتاج المحاصيل في العديد من الدول. وتحوّل استخدام الآلات الزراعية في العمليات الزراعية ليصبح واحداً من أكثر عمليات التطوير في الزراعة العالمية خلال العقود الاخيرة [1].

توجد الكثير من العوامل التي تؤثر على إنتاجية المحاصيل، وتعتبر تقنية الزراعة الدقيقة من أهم هذه العوامل، حيث تؤمن طرق الزراعة الدقيقة وضع البذور في الموقع المثالي من حيث العمق في التربة والمسافة بين البذرة والأخرى على الخط الواحد وفق المسافات الزراعية القياسية لكل صنف من أصناف المحاصيل [2].

مازالت الزراعات الدقيقة تجرى في الجمهورية العربية السورية بطرق يدوية تقليدية بسبب عدم وجود وعي وإمام كاف من قبل المزارع بأهمية الزراعة الدقيقة لبعض المحاصيل، كالذرة الصفراء، والفاصولياء، والفلو، ومحاصيل الحبوب المختلفة، وهذا الأمر يسبب جهداً إضافياً وعدم الاستغلال الأمثل للوقت، ولتحقيق غلة زراعية أكبر يلجأ المزارعون عادة إلى استخدام كميات أكبر من البذور بدون الأخذ بالاعتبار أن زيادة الكثافة النباتية عن الحد المثالي سيزيد من تنافسية البذور، وبالتالي تخفيض غلة المحصول.

وفي مجال الدراسات والأبحاث فقد قام [3] بتطوير آلة زراعة دقيقة وتقييم أدائها مخبرياً وحقلياً، بلغت نسبة الضرر للبذور %2.34 أثناء التقييم المخبري، وبلغت قيمة الكفاءة الحقلية %71.71 والسعة الحقلية للآلة 0.26ha/hr، وأظهرت النتائج توزعاً جيداً نسبياً للبذور المزروعة على طول خط الزراعة. وتم تصميم وتصنيع آلة زراعة بخطين للذرة الصفراء من قبل [4]، وبينت الاختبارات قيمة للسعة الحقلية بلغت 0.1ha/hr، وكانت السرعة الأمامية المختبرة 2.5km/h بمسافة بذر 19cm. وقام [5] بتطوير وتقييم آلة زراعة مفردة الحبة للقطن، وبلغ معدل استهلاك الوقود 3.83l/hr على سرعة أمامية للآلة 4.5km/h، وبلغت السعة الحقلية 0.89ha/hr والكفاءة الحقلية %73.55.

ورغم وجود العديد من الأبحاث المتعلقة بتصميم آلات البذر وفق المتطلبات الخاصة بكل بيئة، إلا أنه من الملاحظ عدم وجود منهجية علمية رياضية سليمة في عملية تصميم

آلات البذر والتي يجب أن تبدأ بعملية تصميم رياضي، وتتمر بمحاكاة هندسية وفق الأبعاد المقترحة، وتنتهي بمرحلة التصنيع والاختبار المخبري والحقلي. علاوة على ذلك ما زالت آلات البذر المختلفة تقوم بزراعة نوع واحد أو اثنين فقط من المحاصيل الزراعية، وبالتالي فإن تصميم آلة بذر تعمل على زراعة العديد من المحاصيل الزراعية يعد حلاً لمحدودية استخدام هذه الآلات ذات التكلفة المرتفعة والتصميم المعقد.

2. أهمية البحث، وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من خلال تصميم آلة بذر مفردة الحبة تكون قادرة على زراعة العديد من أنواع البذر من خلال تنفيذ عملية بذر مفردة الحبة تقوم بوضع حبة واحدة على مسافات بذر واحدة على طول خط الزراعة لزراعة محاصيل كالذرة الصفراء والبازلاء والفاصولياء وغيرها من المحاصيل ذات البذور الكبيرة نسبياً، أو تقوم بوضع مجموعة من البذور باستخدام جهاز التلقيح مفرد الحبة ذاته على مسافات زراعة واحدة على طول الخط للمحاصيل ذات البذور الصغيرة نسبياً كالقمح والشعير والأرز، وبالتالي إمكانية استخدام هذه الآلة في العمليتين حسب الرغبة، يضاف إلى ذلك إمكانية إجراء عملية التسميد بمرور واحد مع عملية البذر، وإمكانية استخدام جهاز التسميد في عملية زراعة محاصيل الحبوب على سطور. وتؤمن الآلة وضع العدد المحدد من البذور في وحدة المساحة لكل نبات وعلى العمق المطلوب، بالإضافة إلى إمكانية معايرة هذه الآلة وتأمين تصميم بسيط لتقليل تكاليف التشغيل وسهولة الصيانة والإصلاح، وبحيث تكون تكلفة التصنيع منخفضة للغاية بحيث يتمكن المزارع السوري من امتلاكها وتشغيلها.

ومن هنا هدف البحث إلى دراسة تصميمية لآلة بذر مفردة الحبة محمولة على الجرار بالاعتماد على دراسات نظرية ومحاكاة ميكانيكية وبعتماد آلية تلقيح ميكانيكية يمكن استخدامها على أصناف مختلفة من محاصيل الحبوب، بهدف حل مشكلة محدودية الاستخدام وتكاليف التشغيل المرتفعة لآلات البذر مفردة الحبة.

3. مواد البحث، وطرائقه:

3.1 الحسابات الخاصة بالبذور:

من المهم تحديد الخصائص الفيزيائية للبذور قبل تصميم آلة البذر وذلك لتحديد الأبعاد والمواد المناسبة للأجزاء الفعالة لآلة البذر. تم قياس أبعاد البذور، الطول l والعرض s والسماكة h باستخدام البياكوليس. كما تم حساب ثوابت الشكل k_1, k_2, k_3, k_4 من خلال العلاقات التالية [6]:

$$k_1 = \frac{l+s}{h}, k_2 = \frac{s}{h}, k_3 = \frac{l}{h}, k_4 = \frac{l}{s} \quad (1)$$

يعتبر متوسط القطر الهندسي (geometric mean diameter) D_g أحد أهم البارامترات المستخدمة في تصميم ثقب أقراص تلقيم البذور في آلات الزراعة الدقيقة وآلات البذر بالتسطير والذي يعطى بالعلاقة التالية [7]:

$$D_g = (l \times s \times h)^{1/3} \quad (2)$$

وتحسب قيمة المتوسط الحسابي (D_a arithmetic mean diameter) من خلال العلاقة:

$$D_a = \frac{l+s+h}{3} \quad (3)$$

3.2 الدراسة التصميمية:

باعتبار أن الآلة يجب أن تنفذ كل من عمليتي البذر والتسميد بمرور واحد للآلة في الحقل، وأن الهدف الأساسي للبحث هو لتطوير آلية تلقيم جديدة لمحاصيل الحبوب، فقد تم استخدام مبدأ آلية التسطير التقليدية في إجراء عملية التسميد، في حين تم إعداد

تصميم جديد لآلية تلقيم الحبوب وإجراء عملية التكامل في الآليتين، وتم أيضاً اختبار جهاز التلقيم المستخدم في عملية التسميد في عملية التسطير أيضاً.

تم اقتراح مجموعة من الأفكار التصميمية، واعتمدت فكرة جعل الآلة خفيفة الوزن وصغيرة الحجم قدر الإمكان ومحمولة على جرار فرات باستطاعة 70 حصان، وتم إعداد النموذج الأولي للآلة المقترحة باستخدام برنامج SolidWorks المبين في الشكل (1).



الشكل (1): النموذج الأولي لآلة الزراعة الدقيقة والتسميد

وتكوّن النموذج الأولي لآلة بذر زراعة دقيقة (مفردة الحبة) من الأجزاء الآتية (الشكل 2):

الأجزاء الحاملة: ذراع حمل ومعايرة ميل خزان الحبوب، المحامل الدحرجية التي تحمل عمود نقل الحركة الدورانية وعددها أربعة.

آلية نقل الحركة: مكونة من بكرة رئيسية في جهاز التلقيم ومسننات جانبية معشقة بزوايا قائمة لنقل الحركة من الدوران في الاتجاه العرضي إلى الدوران بالاتجاه الطولي.

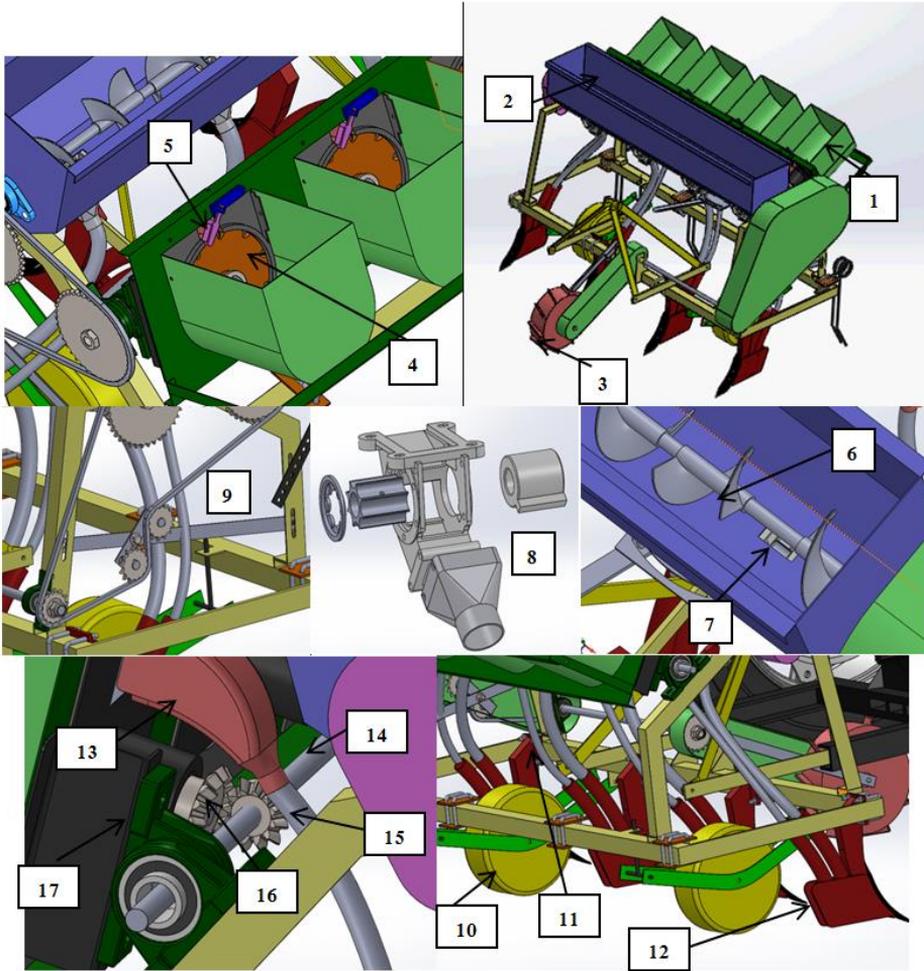
فجاجات شق التربة وفتح خطوط الزراعة والعجلة القائدة التي تؤمن القدرة الحركية لجميع الاجزاء.

خزانات الحبوب: وعددها أربعة خزانات، وخزان السماد.

الأجزاء الفعالة: وحدة التلقيح مفردة الحبة مكونة من أقراص مائلة بفتحات محيطية مع محرض داخل الخزان، ووحدة التسطير/التسميد وهي من النمط الأخدودي.

فالجزء الخلفي لآلة البذر (الشكل 2) يركب عليه وحدة التلقيح الميكانيكية المكونة من خزان نصف أسطواني مائل، بحيث يمكن التحكم بزاوية ميلانه بما يتناسب مع نوع البذور المراد زراعتها، وتتحرك البذور بفعل وزنها باتجاه قرص مزود بأخاديد محيطية تختلف أبعادها والمسافات الفاصلة بينها بما يتناسب مع نوع البذور ومسافات الزراعة المطلوبة، وتم تحسين احتمالية دخول البذور إلى ثقب قرص التلقيح باستخدام محرض يعمل على خلط الحبوب بشكل مستمر ضمن الخزان، حيث تدخل الحبوب ضمن الأخاديد وتثبت في مكانها أثناء دوران القرص حتى الوصول إلى منطقة الفراغ العلوية فتقوم فرشاة ناعمة بدفع البذور إلى قمع التلقيح بشكل سلس وبدون الإضرار بالبذور. ويستمد القرص حركته الدورانية من محور يتم تدويره بوساطة مسننين جبهيين متعشقين بشكل متعامد.

وأما الجزء الأمامي فيركب عليه وحدة التسميد المزودة بخزان كبير بفتحات سفلية تتدفق منها حبوب السماد إلى جهاز تلقيح يمكن التحكم بمعدل التدفق من خلال ذراع معايرة، وجهاز التلقيح المستخدم في التسميد هو جهاز تلقيح أخدودي، مما يؤمن التحكم الأمثل بمعدل التسميد المطلوب عن طريق التحكم بطول الجزء الفعال بينه وبين فتحة خزان السماد السفلية.



الشكل (2): الأجزاء المكونة لنموذج آلة البذر مفردة الحبة: 1. خزان الحبوب، 2. خزان السماد، 3. العجلة القائدة، 4. قرص التلقيح، 5. فرشاة إخراج الحبوب، 6. حلزون تحريك السماد، 7. فتحة خروج السماد لجهاز التلقيح، 8. جهاز تلقيح السماد، 9. بكرات وسلاسل نقل الحركة لأجهزة التلقيح، 10. عجلات تحديد العمق، 11. أنبوب السماد، 12. فجاج شق التربة، 13. قمع إيصال الحبوب لأنبوب البذر، 14. محور نقل الحركة، 15. انبوب البذور، 16. مسننات نقل الحركة لجهاز تلقيح البذور، 17. محامل دحرجية.

ترتبط الآلة بالجرار بحيث تكون محمولة من خلال ثلاث نقاط تعليق واحدة علوية واثنان سفليتان، والعجلتان الجانبيتان يمكن التحكم بارتفاعهما حسب عمق الزراعة المطلوب، بحيث يتم حساب الفرق بين أسفل نقطة في الفجاج وبين أسفل نقطة من العجلة الجانبية، وبالتالي بتخفيض الآلة بوساطة الجهاز الهيدروليكي يتم الوصول إلى عمق البذر المطلوب بمجرد ملاسة العجلات سطح التربة. ويتم الحصول على القدرة من خلال عجلة ذات عوارض محيطية تدور نتيجة احتكاكها مع التربة، وهي تعتبر العامل الأهم في تحديد مسافات الزراعة حسب محيطها.

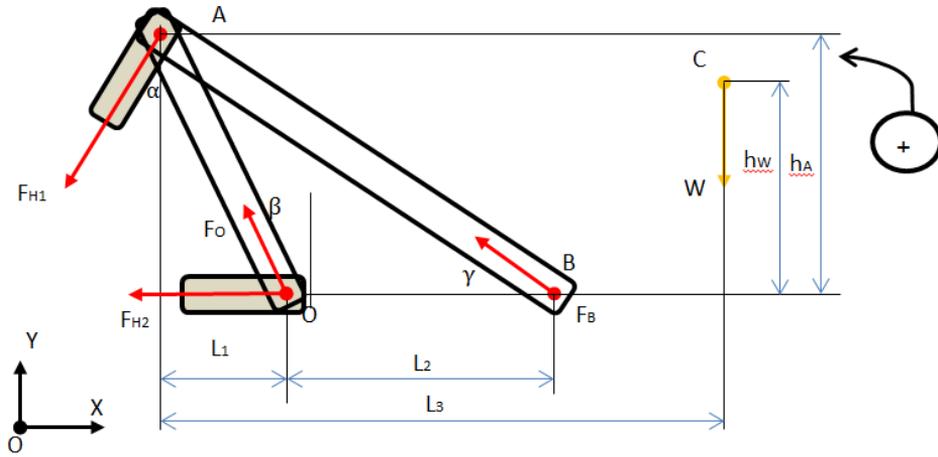
يتم نقل الحركة إلى الأجزاء الفعالة من خلال مجموعة من البكرات المسننة والسلاسل وأعمدة دوران بأقطار مختلفة، ويتم شق التربة من خلال فجاج حفار مزود بمطرح صغيرة جداً مهمتها فتح شق بسيط في التربة، ومتصلة بأنبوبين معدنيين خلفيين يسقط في أحدهما البذور وفي الآخر حبوب السماد، مما يسمح بإجراء عملية التسميد والبذر بنفس المرور وعلى نفس الخط بحيث يتوضع السماد أسفل البذرة مباشرة، الأمر الذي يحسن من إنبات البذور. ويتم الربط بين الأنبوبين المعدنيين وكل من وحدات تلقيم البذار والسماد من خلال أنابيب مطاطية، بحيث تسقط البذور على التربة بفعل الجاذبية الأرضية.

3. 2. 1. عناصر الهيكل الأساسي:

تحتاج الآلة إلى آلية لحملها من قبل الجرار وإلى هيكل لربط جميع العناصر الفعالة مع بعضها البعض، ويتم ربط الآلة بالجرار بثلاث نقاط تعليق، اثنتان سفلية وواحدة علوية، حيث يجب أن تكون جميع الأجزاء ثابتة لتفادي مشاكل الاهتزاز أثناء العمل، الأمر الذي قد يؤدي إلى تقليل من كفاءة الآلة وعدم انتظام مسافات البذر. تم تحديد مركز ثقل البذارة والوزن التقديري للبذارة باستخدام برنامج Solidworks، حيث قدر الحمل الأعظمي للبذارة بحوالي 5029N، متضمناً وزن البذور والسماد بحمولة كاملة داخل الخزان. وتم إجراء تحاليل مختلفة على النموذج المقترح لآلة البذر للتأكد من المتانة والأداء، لذلك تم تنفيذ كل من التحليل الستاتيكي، والحسابات الرياضية، وتحليل الإجهادات قبل تصنيع النموذج المقترح، وحددت أبعاد الهيكل الحامل للأجزاء الفعالة (172x70x50cm)، وهو مصنع من عوارض معدنية بأبعاد 80x100mm.

3. 2. 2. تحليل القوة المؤثرة على عناصر الربط:

من الشكل (3) يمكننا ملاحظة مكان تموضع الحمولة الكلية ومساند ردود الأفعال، وباعتبار أن النقطتين O و B هما بالحقيقة أربع نقاط، وبما أن الدراسة تتم في الإطار ثنائي الأبعاد فسيتم حساب القوى بشكل مدمج عند كل من نقاط التعليق، ومن ثم سيتم تقسيمها على 2 لاحقاً لحساب ردود الأفعال الحقيقية في كل نقطة تعليق بشكل مستقل، وذلك باعتبار أن الآلة متناظرة، وبالتالي فإن توزيع الحمولة سيكون متساوياً لكل من نقاط التعليق المتناظرة.



الشكل (3): اتجاهات القوى الستاتيكية المؤثرة وردود الأفعال في نقاط التعليق.

من خلال معادلات التوازن بالاتجاهين X و Y وعن طريق تصفير مجموع العزوم حول النقاط O و A لتنفيذ التحليل الستاتيكي لنقاط التعليق للآلة المحمولة على الجرار ينتج لدينا المعادلات التالية:

$$\sum F_X = 0 \Leftrightarrow -F_B \cdot \cos \gamma - F_O \cdot \sin \beta - F_{H1} \cdot \sin \alpha - F_{H2} = 0 \quad (4)$$

$$\Rightarrow F_{H2} = -0.73 \times F_B - 0.3255 \times F_O - 0.3746 \times F_{H1} \quad (5)$$

$$\sum F_Y = 0 \Leftrightarrow -W - F_B \cdot \sin \gamma - F_O \cdot \cos \beta - F_{H1} \cdot \cos \alpha - F_{H2} = 0 \quad (6)$$

$$\Rightarrow F_{H1} = -5423.8 + 0.7355 \times F_B + 1.019 \times F_O \quad (7)$$

A

بتعويض المعادلة (7) بالمعادلة (5) ينتج:

$$F_{H2} = 2031.7 - 1.005 \times F_B - 0.7072 \times F_O \quad (8)$$

$$\sum M_O = 0 \Rightarrow W \cdot (l_3 - l_1) = F_{H1} \cdot \sin \alpha \cdot h_A + F_{H1} \cdot \cos \alpha \cdot l_1 + F_B \cdot \sin \gamma \cdot l_2 \quad (9)$$

$$\Rightarrow F_{H1} = -12213 - 1.337 \times F_B \quad (10)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow W \cdot l_3 = F_O \cdot \cos \beta \cdot l_1 - F_O \cdot \sin \beta \cdot h_A + F_B \cdot \sin \gamma \cdot (l_2 + l_1) - F_B \cdot \cos \gamma \cdot h_A - F_{H2} \cdot h_A \quad (11)$$

$$\Rightarrow 0 = -3520.3 - 0.1234 \times F_B + 0.62 \times F_O - 0.7 \times F_{H2} \quad (12)$$

ب طرح المعادلتين (7) و (10) وإعادة الترتيب ينتج:

$$F_B = 3276 - 0.4825 \times F_O \quad (13)$$

بتعويض المعادلة (13) بالمعادلة (8) ينتج:

$$F_{H2} = -1244.3 - 0.2247 \times F_O \quad (14)$$

تم الحصول على إحداثيات مركز النقل باستخدام برنامج Solidworks، ويوضح الجدول (1) الأبعاد الخاصة بنقاط التحميل ومركز ثقل آلة البذر.

الجدول (1): الأبعاد والزوايا الخاصة بنقاط التعليق ومركز الثقل.

البعد	القيمة [m]	البعد	القيمة [m]
L ₁	0.02	L ₃	0.7
L ₂	0.55	h _w	0.15
h _A	0.7	β	19
α	22	γ	43

3.2.3. تحليل القوى المؤثرة على الآلة:

لإجراء التحليل الستاتيكي يجب تحديد جميع القوى الخارجية المؤثرة على البذارة، ويظهر الشكل (4) مخططاً للنموذج والقوى الخارجية المؤثرة عليه، ويمكن تجميع هذه القوى إلى ثلاث مجموعات أساسية هي: قوى التفاعل مع التربة، وقوى الجاذبية، وقوى الشد والرفع من قبل الجرار.

تؤثر قوى التفاعل مع التربة في كل نقطة من نقاط التماس مع التربة، وهي تشمل فجاجات فتح أحادي البذر وعجلة القيادة الأمامية وعجلات تحديد العمق. وإذا افترضنا أن

آلة البذر تسير بسرعة ثابتة، ما يعني ظروف شبه ستاتيكية، يمكن كتابة معادلات التوازن بالاتجاه x من خلال العلاقات التالية:

$$F_x = D_x + B_x + P_x \quad (15)$$

وفي الاتجاه y

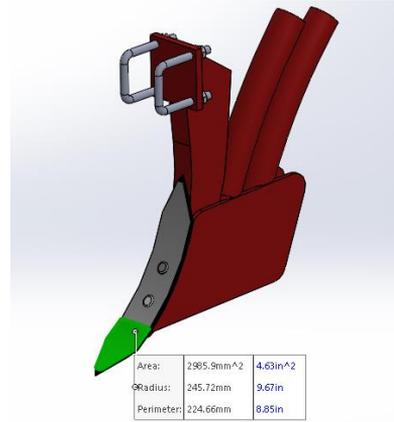
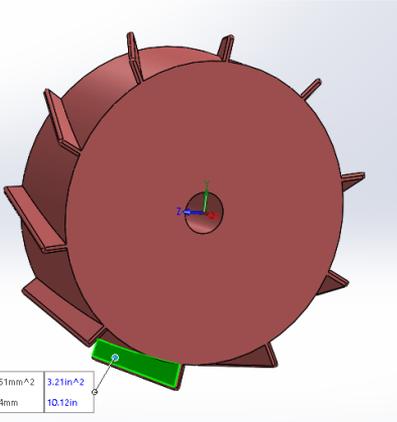
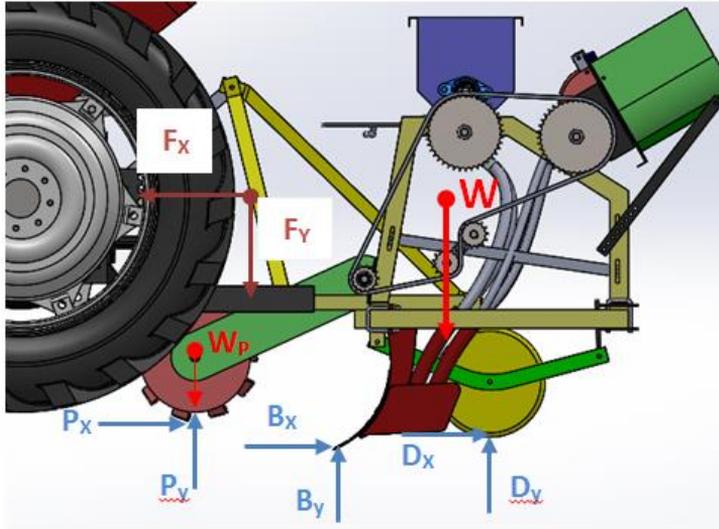
$$F_y = D_y + B_y + P_y - W \quad (16)$$

حيث أن F_x : قوة السحب المطبقة من قبل الجرار D_x, B_x, P_x : قوى الاحتكاك المؤثرة على عجلة القيادة، والفجاج، وعجلة تحديد العمق (قوى الاحتكاك بالنسبة للعجلة القائدة وعجلة تحديد العمق هي مزيج من الاحتكاك الانزلاقي والاحتكاك الدوراني). علماً أن $D_x = \mu_w \times D_y$ ، حيث أن μ_w هي قيمة معامل احتكاك العجلة المعدنية بالتربة، وأن F_y هي القوة العمودية المطبقة من قبل الجرار والتي تدفع آلة البذر باتجاه الأسفل لتبقي فجاج شق التربة وزعانف العجلة القائدة ضمن التربة، وأن D_y, B_y, P_y هي قوى رد الفعل لكل من العجلة القائدة، والفجاج، وعجلة تحديد العمق، وأن W هو وزن آلة البذر بالكامل، وأن W_d هو وزن العجلة القائدة.

هذا التحليل هو بقصد تحديد كل من قوة السحب المطلوبة من قبل الجرار F_x والقوة العمودية F_y ، وبعض هذه القوى يمكن حسابها. فبالنسبة لعجلة العمق قد تصل القوة العمودية إلى $33.3N$ عندما تتدرج على تربة طينية بضغط يسبب انخماصاً في التربة قدره $1cm$ [8]، حيث تضغط التربة بضغط خفيف، وهذه القوى تتغير بتغير نوع التربة، لكن باعتبار أن هذه الآلة سيتم تصميمها للعمل ضمن ظروف تربة منطقة طرطوس الجنوبية وهي تربة طينية، فتم اعتماد هذه القيمة في هذه الدراسة. وتم تحديد وزن آلة البذر W باستخدام برنامج التصميم ثلاثي الأبعاد والتي بلغت قيمته $2794N$ ، وقدر W_d باستخدام برنامج التصميم أيضاً وبلغ $87.1N$ ، لكن هنالك ضغط آخر وهو ناتج عن شد النابض التمديدي الذي سيتم تركيبه، والذي سيتم دراسته بالتفصيل [9].

تبلغ المقاومة النوعية للفجاج الحفار على عمق $5cm$ عند العمل على تربة طينية $0.02MPa$ [10]، وتبلغ قيمة القوة العمودية التي تحاول رفع الفجاج إلى الأعلى على نفس العمق $9N$ [11] (الشكل 4)، و P_y هي القوة العمودية التي يجب تطبيقها من قبل العجلة على التربة لضمان نقل الحركة بشكل مثالي، ويجب أن لا تقل قيمتها عن

[12] 880N، وأبحاث أخرى اقترحت أن تكون هذه القوة 940N أو أكبر [13]. وتم الاقتراح في هذا التصميم بأن تبلغ قيمة P_y 1200N.



الشكل (4): المخطط التفصيلي للقوى المؤثرة على آلة البذر والمساحة الفعالة في كل من العجلة الفائدة والفجاج

والآن أصبحت جميع القوى بالاتجاه العمودي معلومة، ويمكن حساب القوى بالاتجاه X بشكل أسهل لأن القوة P_x هي قوى احتكاك تتعلق بشكل مباشر بالقوى الناظمية، وتعلق

بمقاومة الحركة لعجلة صلبة على القوة العمودية المؤثرة، وقياس العجلة، وخصائص التربة، حيث تتحرك مع التربة وبنفس الوقت تضغط على التربة [14].

$$P_x = \frac{P_y^2}{5.7cb_p D_p} \quad (17)$$

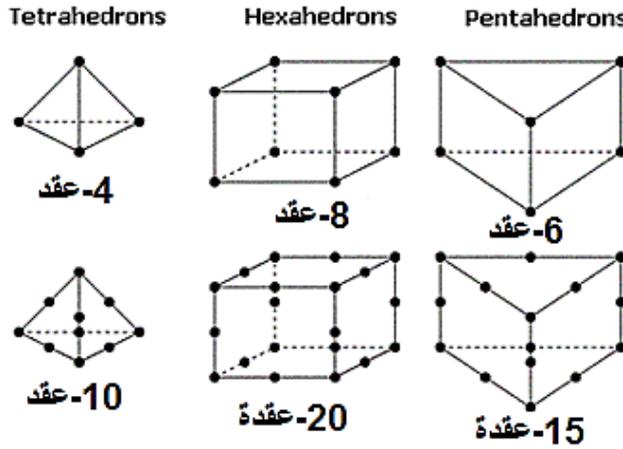
حيث، c: هي قيمة التصاق التربة [KPa]، D_p قطر العجلة القائدة [m]، b_p عرض العجلة القائدة [m].

ووفق نظام SI بالنسبة لتربة طينية ذات رطوبة 13%، وهي الرطوبة المثالية لزراعة الذرة الصفراء، تبلغ قيمة الالتصاق 25KPa [15]، حيث عرض العجلة 0.11m وقطر العجلة 0.3m.

تتعرض العجلة إلى قوتين قوى رد فعل التربة التي تعادل في قيمتها مجموع وزن العجلة والضغط العمودي المطبق وهي تعاكسها بالاتجاه، وقوة مقاومة التدرج والتي ترتبط مع القوة النازمية بما يعرف بمعامل مقاومة التدرج. وبسبب غياب قيمة هذه القوة يمكن الاستدلال على قيمتها مرجعياً، حيث تبلغ قوى مقاومة التدرج لعجلة بنفس المواصفات (زاوية ميل الزعانف 30 وزاوية توزيع الزعانف 40) 170.82N [16]، ويبلغ وزن العجلة 87.1N وبالرغم من حساب القوى العمودية والأفقية، إلا أن هذه القوى يمكن أن تتغير بسهولة أثناء حركة الجرار ضمن الحقل، لأن التربة وخصائصها وتداخلها مع العناصر الفعالة تتغير بشكل مستمر، وبأخذ هذا بالحسبان يجب أخذ قيمة لمعامل أمان تبلغ 2 من أجل تحليل الإجهادات لتغطية عدم التوقع هذا من أجل مضاعفة القوة لتكون درجة الأمان عالية.

3.3. المحاكاة الهندسية

في هذه الفقرة سيتم التمهيد لإجراء محاكاة ستاتيكية لآلة البذر مفردة الحبة لحساب ردود الأفعال لأجزاء الآلة نتيجة وجود قوى خارجية مؤثرة، وقيم هذه القوى والتي تم شرحها في الفقرة (3.2.3) وتوضيحها في الشكل (4) سيتم إدخالها ضمن نافذة برنامج المحاكاة، حيث تم استخدام برنامج (SOLIDWORKS) الشائع الاستخدام في الأعمال الهندسية بشكل عام، والأعمال الميكانيكية بشكل خاص، ويعتمد هذا البرنامج على طريقة العناصر المنتهية (FEM-Finite elements method) بعد تقسيم الجسم المُراد دراسته إلى عدد من العناصر المُنتهية ذات الأشكال المُختلفة (هرمي رباعي الوجوه، سداسي الوجوه،...) (الشكل 5)، التي ترتبط مع بعضها البعض بواسطة عُقد (nodes) وسطوح تماس مُشتركة (في حالة الدراسة ثلاثية الأبعاد) [17].



الشكل (5): بعض أشكال العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد

في البداية تمّ اختيار المواد لكل مكون من آلة البذر، حيث يصنع الهيكل الاساسي من الفولاذ AISI1016 (st52-3) وفجاجات فتح خطوط الزراعة والعجلة القائدة من الفولاذ AISI1060 والموضحة خصائصهما الميكانيكية في الجدول (2) والتركيب الكيميائي في الجدول (3) بعد إجراء التحليل الطيفي للمعادن.

الجدول (2): الخصائص الميكانيكية لأنواع الفولاذ المستخدمة في تصنيع آلة البذر [19]

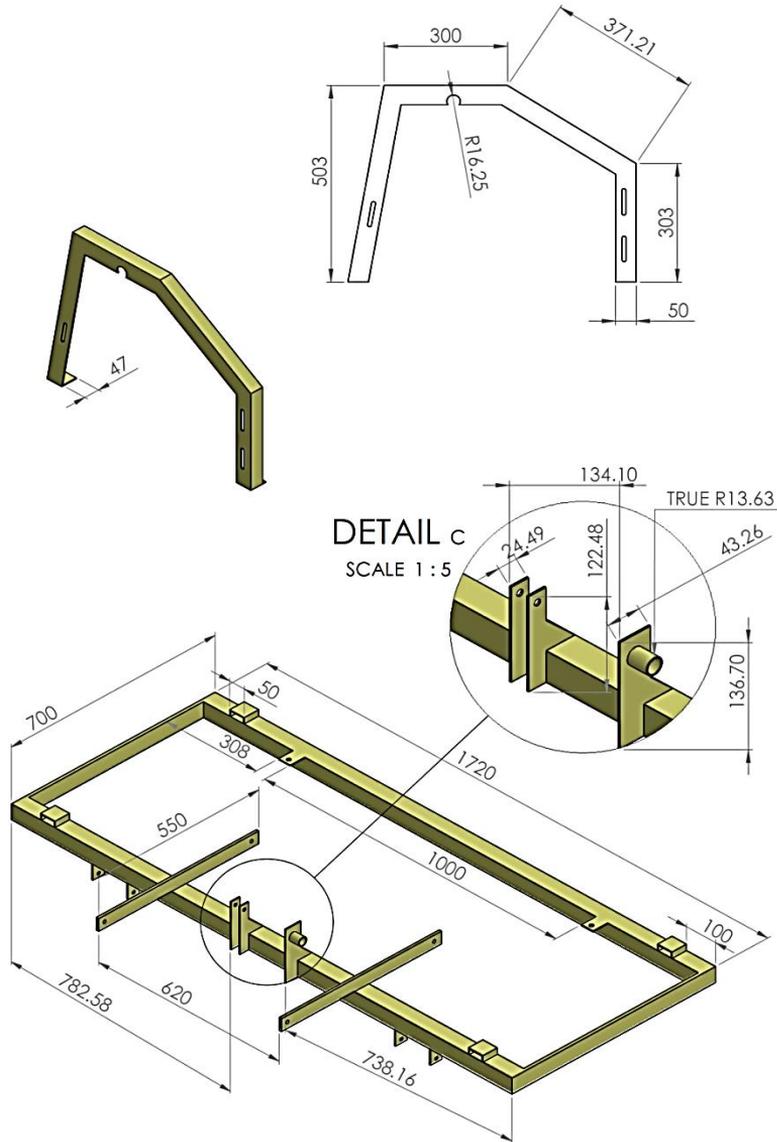
18]

نوع المعدن	معامل المرونة GPa	نسبة بواسون	الكثافة Kg/m ³	مقاومة الشد MPa	إجهاد الخضوع MPa
AISI1016	205	0.29	7870	502.7	354.5
AISI1060	204	0.27	7850	607.6	476.5

الجدول (3): التركيب الكيميائي لأنواع الفولاذ المستخدمة في تصنيع آلة البذر

نوع المعدن	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Ti	Cu	Fe
AISI1016	0.002	0.01	0.14	-	0.018	-	0.01	0.02	0.055	0.0113	Bal
AISI1060	0.54	0.009	0.84	-	-	-	0.02	0.03	0.031	0.012	Bal

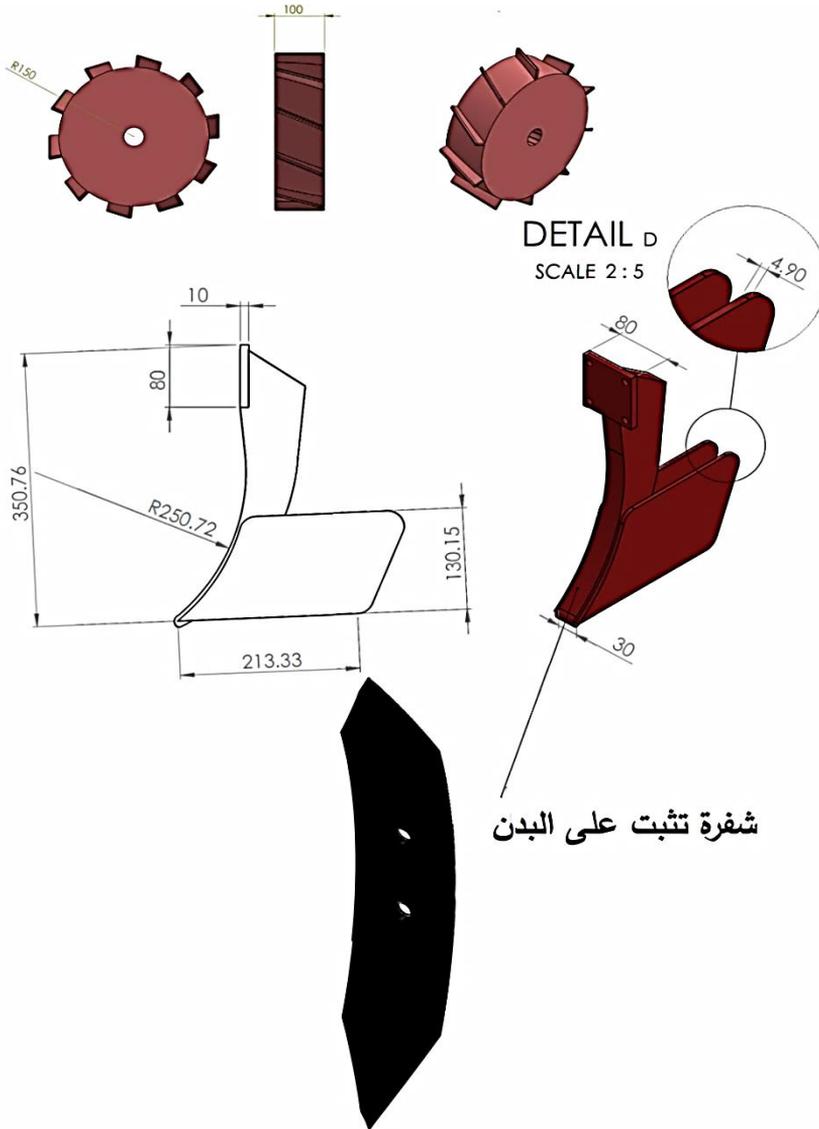
إنّ تعرّض أي عُقدة لأية قوة خارجية ستؤدي إلى تشكّل قوى في العُقد المُجاورة وبقيم تختلف تبعاً لشكل وتوضّع العينة، وتُدعى هذه المنظومة بالمصفوفة الجاكوبية (Jacobian matrix)، وتمّ إعداد التصاميم باستخدام البرنامج بالاعتماد على الأبعاد المذكورة في الشكل (6) والشكل (7).



الشكل (6): ابعاد هيكل آلة البنر

حُدِّد أسلوب عملية المُحاكاة الجارية بمحاكاة غير خطية ستاتيكية (Non-leaner Static) للهيكل الأساسي وبمحاكاة غير خطية ديناميكية (non-leaner dynamic)

للعجلة القائدة وفجاج فتح خطوط الزراعة، وتمَّ اختيار مقدار الخطوة 0.1 من مقدار الحمل النهائي، وبلغ زمن الاختبار 60 ثانية، وخطوة بدائية للقياس 0.01.

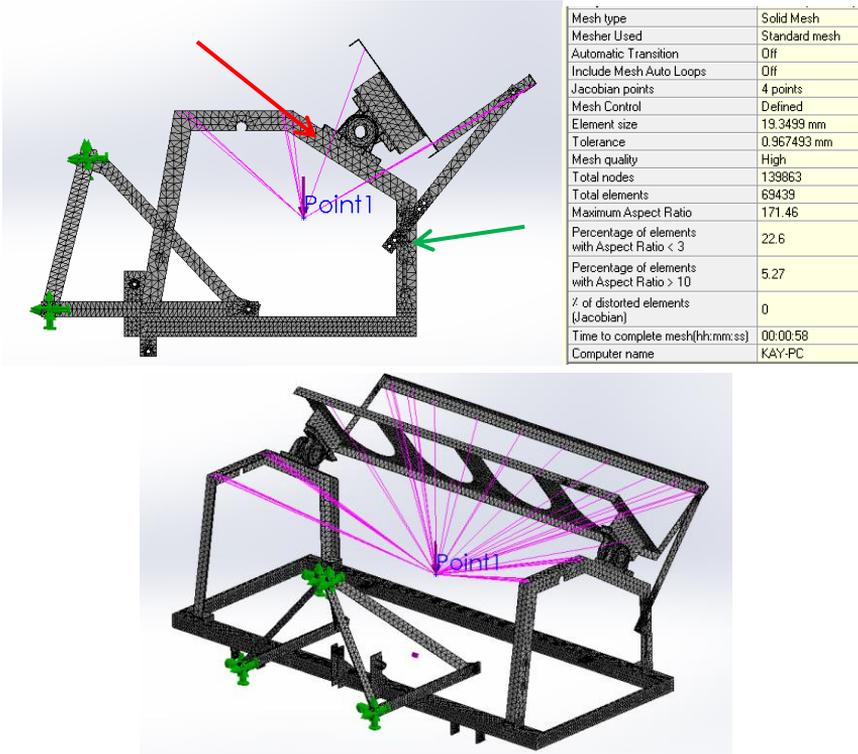


الشكل (7): أبعاد فجاج شق التربة وفتح خطوط الزراعة

تمَّ تشكيل شبكة المادة (Mesh) بجودة عالية للحصول على أدق النتائج، بحيث يتشكّل عدد أكبر من العناصر المنتهية، وبالتالي عدد أكبر من العقد أو ما يعرف بنقاط جاكوبي

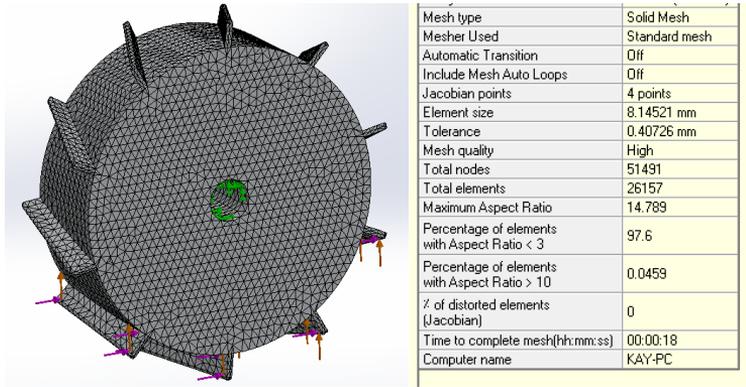
(Jacobian points). أخذت قيمة معامل الاحتكاك بين جميع الأجزاء بحيث تكون 0.7. وعدد نقاط جاكوبي في الدراسة كانت 4 نقاط لكل عنصر.

تم تطبيق الحمل بشكل تدريجي حتى الوصول إلى القيمة العظمى، ويوضح الشكل (8) آلية توزع الحمولة الستاتيكية على الهيكل الرئيسي، حيث تم جمع جميع القوى المؤثرة كوزن الآلة ووزن الحبوب والسماد بقوى واحدة (السهم الأزرق)، وتم تثبيت كل من نقاط التعليق السفلية والعلوية بنمط تثبيت fixed fixture لتقييد الحركة في جميع الاتجاهات الاقليدية الثلاث، وتم تقييد المحامل الدحرجية مع بعضها بنمط pin قابل للدوران لكن بدون وجود حركة محورية locked axial motion (السهم الأحمر)، كما تم تثبيت نقطة تعليق ذراع معايرة ميل الخزان مع الهيكل الأساسي بنمط تثبيت لولبي bolt fixture (السهم الأخضر).



الشكل (8): محصلة الحمولات الستاتيكية على جهاز تعليق وحدة تلقيم البذور مفردة الحبة

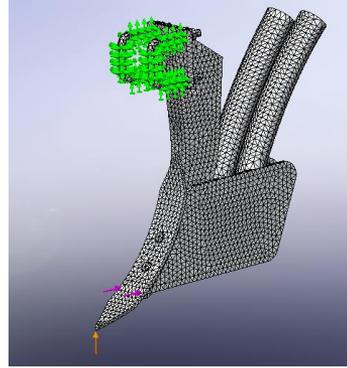
تم تطبيق حمولة ديناميكية بحمولة متغيرة غير خطية على العجلة، تبدأ من الصفر وتنتهي بقيمتها الأعظمية، ومن ثم تعود للانخفاض بشكل خطي حتى قيمتها الصفرية مجدداً، وتم الافتراض أن العجلة القائدة تدور حول محورها بثبات وأن العجلة لا تتحرك في المستوي الأفقي، وتم تطبيق الحمولة على الزعانف الأربعة السفلية بافتراض أن هذه الزعانف هي الزعانف الملامسة لسطح التربة. كما هو موضح بالشكل (9). وكان زمن تطبيق الحمل النهائي 100 ثانية.



الشكل (9): تشبيك العجلة القائدة والقوى الخارجية المؤثرة عليها

تم تطبيق حمولة ديناميكية ثابتة الاتجاه والشدة (الشكل 10) (السهم الأحمر)، بحيث تؤثر على الجزء المظموور في التربة على عمق 5cm، كما تم تثبيت الأجزاء الحاملة للفجاج (الإشارات الخضراء)، بحيث تكون مقيدة عن الحركة في المستويات الإحداثية الثلاث، وتم الأخذ بعين الاعتبار أن جميع الأجزاء المكونة لفجاج شق خطوط الزراعة أجسام منفصلة وعدم وجود اختراق بين هذه الأجسام.

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Element size	7.38314 mm
Tolerance	0.369157 mm
Mesh quality	High
Total nodes	57503
Total elements	32313
Maximum Aspect Ratio	25.923
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	71.5
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.266
% of distorted elements (Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:19
Computer name	KAY-PC



الشكل (10): تشبيك فجاج شق التربة والقوى الخارجية المؤثرة عليه

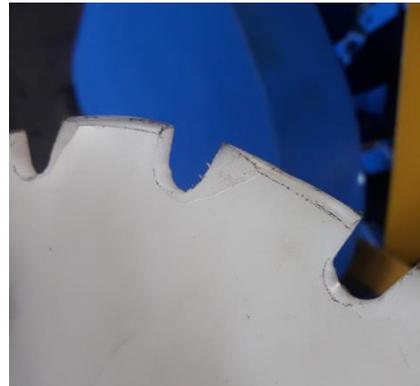
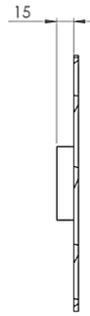
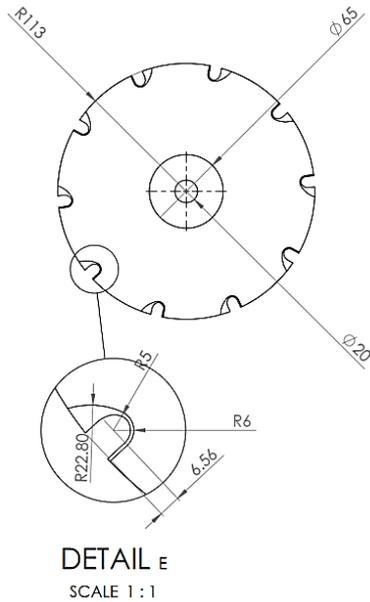
4. النتائج والمناقشة:

4.1. النتائج المتعلقة بأبعاد البذور:

يوضح الجدول (4) أبعاد البذور التي تم تصميم أفراس البذر على أساسها، وخاصة أبعاد الثقوب المحيطة، وبناءً على ذلك فقد تم اختيار أبعاد الثقوب الموضحة في الشكل (11)، فقد بلغ البعد الأعظمي للثقب 11.56mm، يضاف إليها 2mm، وهي مسافة الخلوص بين القرص والإطار الحاضن الذي يدور ضمنه، وهذا البعد كاف ليسمح بأكبر بعد محتمل للبذرة، وهو 11.95mm بالدخول بشكل منفرد داخل الثقب، وبأكبر عرض للبذرة يبلغ 8.05mm، وهو أصغر بقليل من عرض الثقب البالغ 10mm، وهي أصغر من النسبة k_2 ، مما سيسمح بتموضع بذرة واحدة فقط وليس اثنتين داخل الثقب أيضاً، وتم اختيار سماكة القرص بحيث تكون 4mm.

الجدول (4): أبعاد البذور التي تم تصميم أقراص البذر على أساسها.

المحصول	القيمة المتوسطة لأبعاد البذور [mm]					معاملات الشكل				وزن الألف حبة [g]	الكثافة الظاهرية [kg/m ³]
	D _a	D _g	h	s	L	k ₄	k ₃	k ₂	k ₁		
القمح	4.09±0.36	3.83±0.34	2.71±0.29	3.31±0.28	6.25±0.51	1.89	2.3	1.22	1.76	43.12	801.54
الذرة الصفراء	8.31±0.59	7.8±0.54	4.94±0.58	8.05±0.32	11.95±0.87	1.48	2.42	1.63	2.02	453	1179.35



الشكل (11): أبعاد قرص التلقيح المستخدم

كما يوضح الشكل (11) أيضاً الشكل الهندسي للنقبة، حيث تم تشكيل شمفرة بسيطة تسمح بتسهيل انزلاق البذور على سطح القرص قبيل الدخول إلى النقبة. وبالنسبة لأبعاد

حبوب القمح فقد أخذت قيمة المتوسط الهندسي بالاعتبار، حيث أن حجم الحبة الواحدة بلغ 56mm^3 ، وبالتالي فإن الثقب الواحد سيتسع لـ 10 حبات قمح تقريباً. وبجميع الأحوال هذا القرص هو مصمم بغرض تنفيذ الزراعة الدقيقة لحبوب الذرة الصفراء، ويمكن تعديل أبعاد الثقوب وحتى المادة التي يصنع منها قرص التلقيح وفق الحاجة حسب نوع البذور وخصائصها.

4. 2. نتائج الدراسة التصميمية:

بحل المعادلات من (1) إلى (11) لإيجاد قيم ردود الأفعال في نقاط التعليق وبتعويض المعادلتين (10) و(11) بالمعادلة (9) وجد أن قيمة $F_0 = 4687.16\text{ N}$ ، وبالتالي وجد أن قوة رد الفعل عند كل نقطة من نقاط التعليق المتناظرتان F_0' تساوي: $F_0' = F_0/2 = 4687.16/2 = 2343.58\text{ N}$ ، وبتعويض قيمة F_0 بالمعادلات (10) و(11) يمكن حساب قيمتي F_B و F_{H2} ، وبلغتا 1014.44N و 2297.5N ، على التوالي، وبشكل مماثل فإن قيمة قوة رد الفعل في كل نقطة من نقاط التعليق المتناظرة F_B' تساوي: $F_B' = F_B/2 = 1014.44/2 = 507.22\text{ N}$ ، وبتعويض قيمة F_B في المعادلة (7) فإن قيمة F_{H1} بلغت 13569.3N . ويلاحظ أن جميع القوى هي موجبة القيمة، وبالتالي فإن اتجاهاتها هي بنفس الاتجاه المفروض.

ويظهر الجدول (5) والجدول (6) التحليل الستاتيكي الرياضي لجميع القوى المؤثرة على آلة البذر، حيث يلاحظ أن قوة الرفع الأعظمية المطلوب توافرها من الجرار يجب أن لا تقل عن 6931N ، ويجب أن لا تقل قوة السحب المطلوب توافرها في الجرار عن 917.77N ، ويلاحظ أن قوة وزن آلة البذر (W) يشمل وزن الهيكل مع جميع الأجزاء الفعالة والبالغة 2586N ووزن الحمولة الأعظمية من السماد 2000N ووزن البذور الكلي 443N ، والسعة النظرية لخزان الحبوب الواحد حسب الأبعاد التصميمية الموضوعة 0.2m^3 . وبلغت قوة رد الفعل الأعظمية لعجلات تحديد العمق (D_y) 66.6N بسبب

وجود عجلتين اثنتين، وباعتبار أن قيمة μ حسب (WONG, 2001) تعادل 0.7، فإن قيمة D_x تساوي 46.62N، وبلغت والقوة التي تعمل على رفع الفجاج إلى الأعلى (B_y) 36N، وهي قوة منخفضة نسبياً كون الفجاج لا يتعمق كثيراً في التربة، وهو من نوع لسان العصفور. والقوة (P_y) هي قوة رد الفعل العمودية للعجلة القائدة والتي بلغت قيمتها وفق القيم المختارة 1200N [15].

الجدول (5): القوى العمودية المؤثرة على آلة البذر مفردة الحبة.

القوة المؤثرة	القيمة مقدرة بال [N]
D_y	33.3X2
B_y	9X4
F_y	6331
P_y	1200
W	2586 + 2000 + 443

وبلاحظ من الجدول (5) أن قوة السحب المطلوب توافرها من قبل الجرار أقل بكثير من قوة الحمل، والأمر طبيعي كون الآلة محمولة على الجرار على نقاط التعليق الثلاث.

الجدول (6): القوى الأفقية المؤثرة على آلة البذر مفردة الحبة.

القوة المؤثرة	القيمة مقدرة بال [N]
D_x	23.31X2
B_x	59.718NX4
P_x	212.65
F_x	917.772

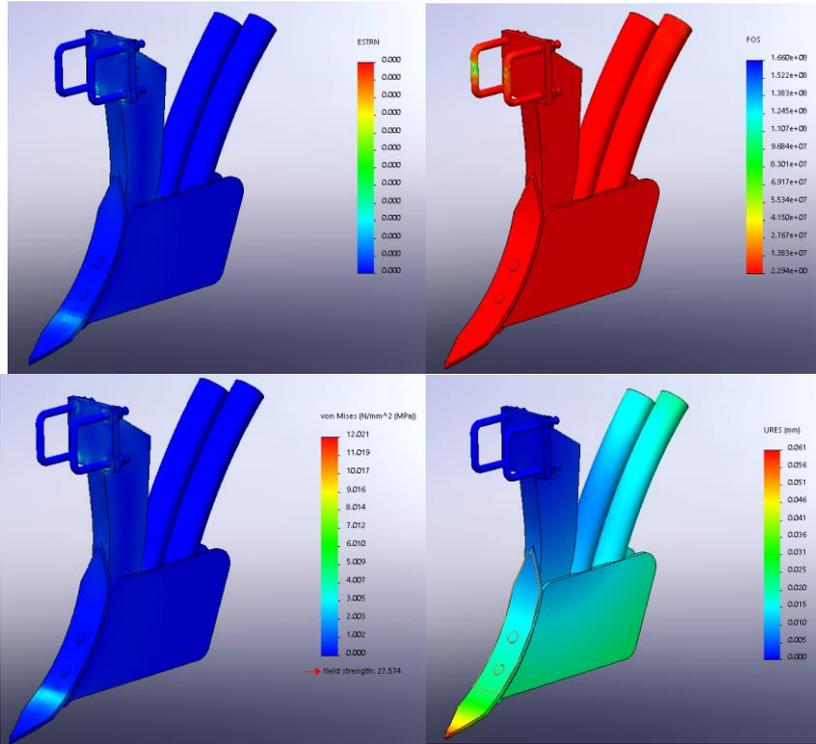
وبحل جميع المعادلات من (42) وحتى (48) وعند سرعة دورانية للعجلة القائدة 70.7rpm تكون السرعة الدورانية للمسنن المقاد 27.5rpm، وتكون العجلة قد قطعت عند كل دورة مسافة 0.94m، وباعتبار أن مسافات البذر القياسية للذرة الصفراء 0.2m

و0.25m فإن عدد البذور المزروعة عند كل دورة هي 4.7124 و3.77 بذرة، على التوالي. ومنه نستنتج أن عدد الثقوب الواجب تواجدها على محيط قرص التلقين 16 و13، على التوالي.

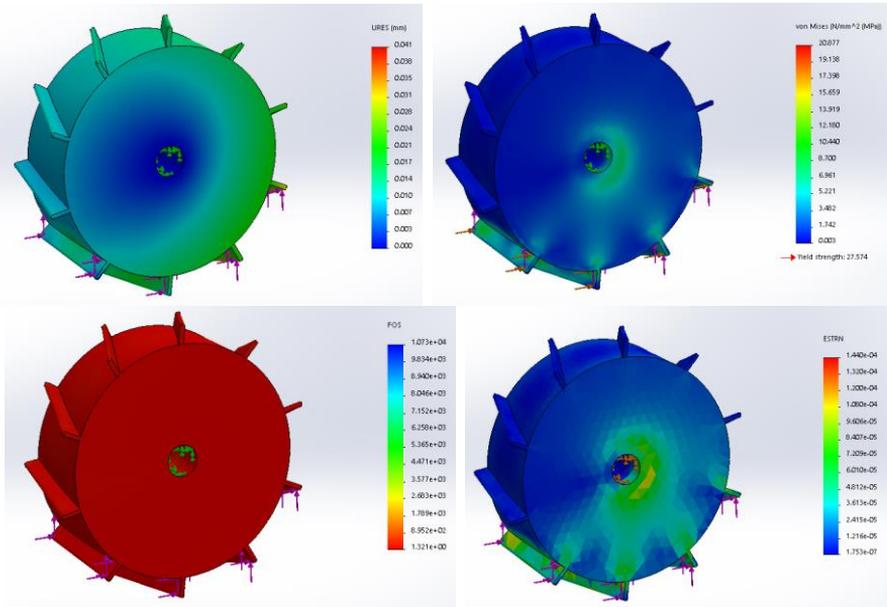
4. 3. نتائج المحاكاة الحاسوبية:

يوضح الشكل (12) نتائج المحاكاة الهندسية لفجاج فتح خطوط الزراعة، حيث يلاحظ مكان تركيز الانفعال الأعظمي في منطقة شبك الفجاج مع هيكل آلة البذر وفي المنطقة المحاذية لسطح التربة نتيجة تأثير كل من قوة مقاومة التربة الأفقية والعمودية، ورغم ذلك ما تزال قيمة الإجهاد الأعظمي الناتج 12.021MPa أصغر بكثير من قيمة إجهاد الخضوع لمعدن الفجاج والتي تساوي 476.5MPa ، وكانت قيمة الانزياح الحاصل صغيرة لم تتجاوز 0.061mm .

ويوضح الشكل (13) الاستجابة الميكانيكية للعجلة القائدة عند تأثير قوى المقاومة الخارجية المؤثرة، حيث يلاحظ أن قيمة الإجهاد الأعظمي المؤثر 20.877MPa ، وهي أقل بكثير من قيمة إجهاد الخضوع، ويبين الشكل (13) أيضاً مكان تركيز الإجهادات وقيم الانفعال الأعظمية عند تأثير القوى الخارجية على زعانف العجلة وفي منطقة اتصال العجلة مع محور الدوران، حيث لم تتجاوز قيم الانزياحات الناتجة 0.041mm ، وتوضح النتائج أن القوى المؤثرة لن تتسبب بكسر وتحطم الزعانف أثناء العمل، مما يعني أن الأبعاد الحالية للعجلة ملائمة للعمل وفق الظروف المفترضة.

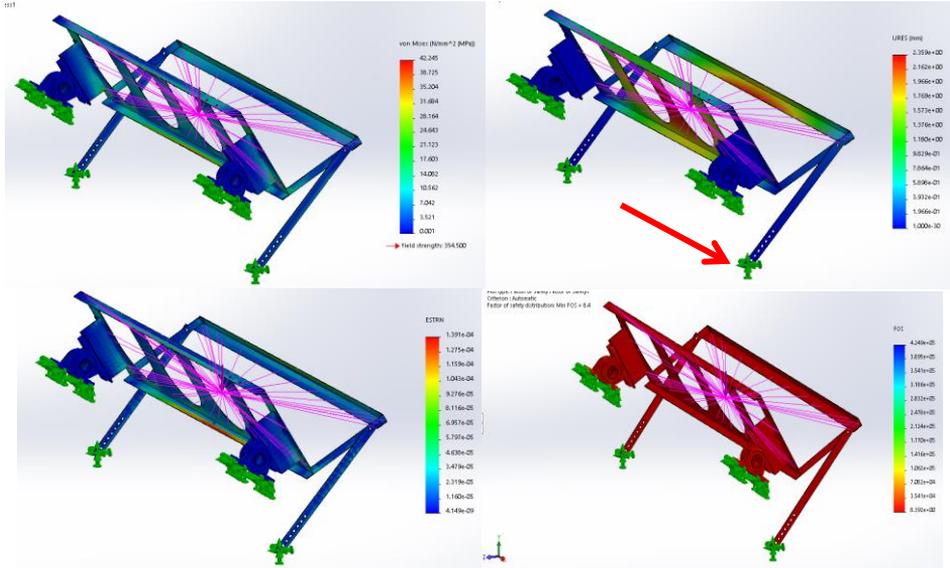


الشكل (12): الاستجابة الميكانيكية لفجاج شق التربة عند اجراء المحاكاة الهندسية



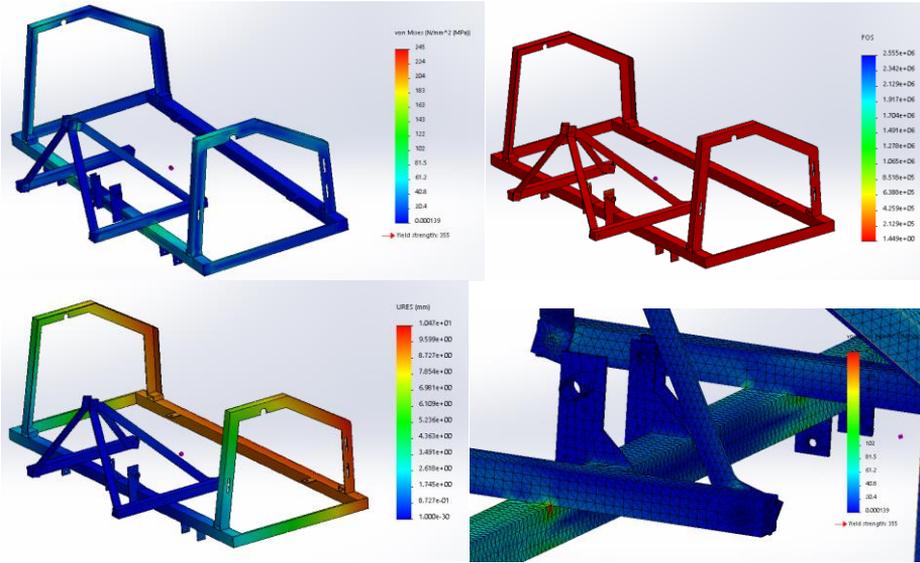
الشكل (13): الاستجابة الميكانيكية للعجلة القائدة تحت تأثير القوى الخارجية

ويوضح الشكل (14) ردود الأفعال في نظام تعليق جهاز التلقيح، وكما هو موضح في الشكل فإن أعظم قيمة إجهاد كانت 42.245MPa ، وهي أقل بكثير من قيمة إجهاد الخضوع لنظام تعليق جهاز التلقيح على الهيكل الأساسي بقيمة معامل أمان 8.392 ، وأعظم قيمة للانفعال كانت في منتصف الإطار الحامل لخزانات الحبوب والذي ظهر كقيمة انزياح بلغت 2.359mm .



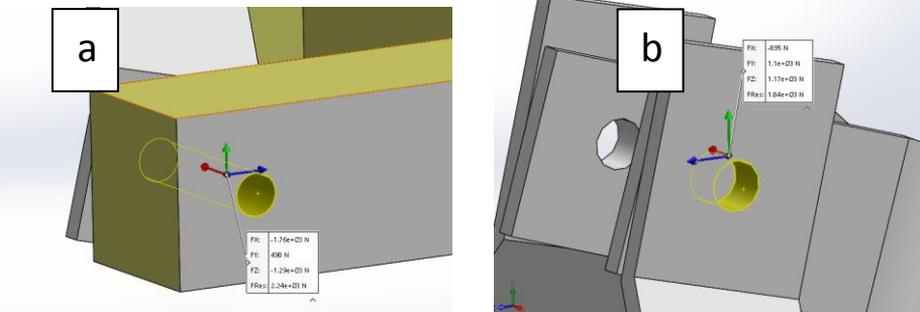
الشكل (14): الاستجابة الميكانيكية لنظام تعليق وحدة التلقيح مفردة الحبة مع الهيكل الأساسي

ويوضح الشكل (15) ردود الأفعال بعد تطبيق الحمولة الستاتيكية والتي تمثل وزن كل من آلة البذر وهي فارغة ووزن السماد والبذور (أقصى حمولة ممكنة)، وبلغت قيمة الإجهاد الأعظمي 245MPa ، مما يعني أن الهيكل قادر على حمل جميع الأجزاء بمعامل أمان 1.449 ، وتتركز أعظم القيم للإجهاد في منطقة اتصال الذراع السفلي الخاص بنقاط التعليق السفلية مع الهيكل الرئيسي، ولذلك يجب تدعيم هذه المنقطة بشكل جيد بواسطة اللحام عند تنفيذ التصميم.



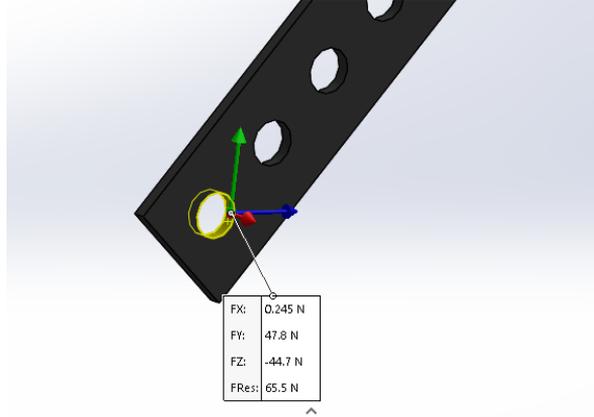
الشكل (15): الاستجابة الميكانيكية للهيكل الرئيسي

ويوضح الشكل (16.a) القوى الثلاثة المؤثرة عند نقطة التعليق السفلية، حيث من الضروري استخدام أوتاد تثبيت pins قادرة على تحمل إجهاد القص الناتج عن تأثير محصلة القوتين F_y و F_z والتي تبلغ $1382.788N$ ، كما يجب أن تكون قادرة على تحمل تأثير الشد الناتج عن القوة الأفقية F_x والتي تبلغ قيمتها $1760N$. ويوضح الشكل (16.b) أنه من الضروري استخدام أوتاد تثبيت عند نقطة التعليق العلوية تكون قادرة على تحمل إجهاد القص الناتج عن محصلة القوتين F_y و F_z والتي تبلغ $1605.895N$ ، ويجب أن تكون قادرة على تحمل تأثير الشد الناتج عن القوة الأفقية F_x والتي تبلغ قيمتها $895N$.



الشكل (16): الاستجابة الميكانيكية للهيكل الرئيسي

ويوضح الشكل (17) القوى المؤثرة على نظام تعليق وحدة التلقيح مفردة الحبة والتي يتم التحكم بزواوية ميلانها عن طريق تغيير وضع ذراع المعايرة بالنسبة للهيكل الأساسي (الشكل (14) السهم الأحمر)، حيث يجب استخدام لولب قادر على تحمل قوى القص البالغ قيمتها 65.44N، وهي قيمة صغيرة نسبياً بجميع الأحوال، كما ستكون قيمة قوة الشد المؤثرة على هذا اللولب مهمة.



الشكل (17): القوى المؤثرة على لولب ذراع معايرة زاوية ميلان جهاز التلقيح

5. الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تم إعداد دراسة رياضية تحليلية لآلة بذر مفردة الحبة تعمل بجهاز تلقيح ميكانيكي محمولة على جرار زراعي للعمل في ظروف تربة المنطقة الجنوبية في محافظة طرطوس.
- 2- تم إجراء دراسة رياضية لحساب عدد الثقوب الواجب تواجدها على قرص التلقيح وفق المتطلبات التصميمية، حيث بلغ عدد الثقوب 16 ثقباً عند مسافات بذر 0.2m و 13 ثقباً عند مسافات بذر 0.25m.
- 3- اظهرت نتائج المحاكاة قدرة التصميم الحالي على تحمل الاحمال الخارجية المختلفة المتمثلة بالحمل الاعظمي الناتج عن وزن آلة البذر والحبوب والسماذ.

- 4- بينت نتائج المحاكاة قوى رد الفعل في نقاط التعليق والتي بناءً عليها يجب اختيار أوتاد التثبيت والتعليق مع الجرار بحيث تكون قادرة على تحمل إجهادات القص والشد الناتجة عن هذه الاحمال.
- 5- يجب تدعيم منطقة التماس بين ذراع الربط السفلي لآلة البذر مع الهيكل الأساسي لأنها منطقة تركز الاجهادات الأعظمية من خلال تطبيق عمليات اللحام بشكل مثالي.

وبناءً على ما سبق يمكن تحديد مجموعة من التوصيات والتي يمكن تلخيصها بما يلي:

1. تصنيع النموذج وإجراء دراسات حقلية لتقييم أدائه.
2. استخدام المعادلات المذكورة في البحث لتحسين النموذج الحالي عن طريق إحداث تغييرات في التصميم.
3. تطوير النموذج الحالي من خلال زيادة عرض العمل وعدد خطوط البذر.
4. إمكانية تركيب علبة سرعة للنموذج الحالي للتحكم بسرعات دوران الأجزاء الفعالة بالنسبة للعجلة القائدة.

المراجع

1. OECD/FAO, OECD Publishing, 2018. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027**. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en
2. MURRAY, J.R; TULLBERG, J.N; BASNET, B.B. 2006. **Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description**, ACIAR Monograph No. 121.
3. SRIVASTAVA, A.K; GOERING, C.E; ROHRBACH, R.P; BUCKMASTER, D.R. 2006. **Crop Planting. In Engineering Principles of Agricultural Machines Chapter 9**,. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. pp: 231-268
4. CAY, A; KOCABIYIK, H; MAY, S. 2018. **Development of an electro-mechanic control system for seed-metering unit of single seed corn planters Part I: Design and laboratory simulation**. Computers and Electronics in Agriculture. pp:144. 71-79.
5. GAUTAM, P. V; KUSHWAHA, H.L; KUMAR A; KUSHWAHA, D. K. 2019. **Mechatronics Application in Precision Sowing: A Review**. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. Vol. 8, No. 4, pp: 1793-1807. Doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.804.208>
6. BUDYNAS, R.G; NISBETT, J.K. 2008, **Shigley's Mechanical Engineering Design**, Eighth Edition, McGraw-Hill.
7. RAZAVI MILANI, E. 2006. **Some physical properties of the watermelon seeds**. Afri. J. Agric. Res, Vol. 13, pp: 65-69.
8. مصطفى، غدير. 2018، **تقييم أداء عدة أنواع من فجاجات آلة تسطير البذور لتناسب أسلوب الزراعة الحافظة**. مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية.
9. JOHNSTON, A.M; LAFOND, G.P; MAY, W.E; HNATOWICH, G.L.; HULTGREEN, G.E. 2003. **Opener Packer wheel and packing force effects on crop emergence and yield of direct seeded wheat, canola and field peas**. Canadian Journal of plant science. Vol. 83, pp: 129-139.

10. J. VAN BERGEIJK; GOENSE, D; SPEELMAN, L. 2001, **PA— Precision Agriculture: Soil Tillage Resistance as a Tool to map Soil Type Differences.** Vol. 79, No. 4, pp: 371–387.
11. COCHRAN, B.J., PORTERFIELD, J.G., BATCHELDER, D.G. 1974. **Vertical forces on furrow openers and depth control devices.** [master thesis] ASAE paper no, 72-609.
12. KARAYEL, D; SARAUSKIS, E. 2011. **Effect of downforce on the performance of no-till disc furrow openers for clay-loam and loamy soils.** Agriculture engineering. Research papers. VOL. 43, No 3, pp: 16-24.
13. FINK, J.T^ك CURRENCE, H.D. 1995. **No-till drill utilizing adjustable seed furrow openers.** Applied Engineering in Agriculture, Vol. 11, No. 6, pp: 811-816.
14. WONG, J.Y. 2001. **Theory of ground vehicles,** John Wiley and Sons. ISBN 0-471-35461-9
15. BANKOLE. 1996. **A critical state behaviour of an agricultural soil.** [Doctoral Thesis] ,the University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
16. WATYOTHA, C; GEE-CLOUGH, D; SALOKHE, V. M. 2001, **Effect of circumferential angle, lug spacing and slip on lug wheel forces.** J. Terramech. Vol. 38, pp: 1–14.
17. قيس ابراهيم، تحسين أداء السّلاح القاطع لحشاشة الأعشاب الضّارة المحمّولة، جامعة طرطوس، رسالة ماجستير، 2017.
18. ROODGARI, M. R; JAMAATI, R; JAMSHIDI AVAL, H. 2020. **Microstructure and mechanical properties of IF/St52 steel composite produced by friction stir lap welding.** Materials Science and Engineering: A, 772, 138775. doi:10.1016/j.msea.2019.138775.
19. GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, A; MORALES-CEPEDA, A. B; CAICEDO, J.C; AMAYA, C; OLIVE-MÉNDEZ, S. F. 2022. **Structure, functional groups analysis and tribo-mechanical behavior of carbide and nitride coatings deposited on AISI 1060 substrates by RF-magnetron sputtering.** Journal of Materials Research and Technology, Vol. 18, pp: 5432-5443, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.075>

دراسة فعالية إعادة بناء الشبكة الكهربائية

لتغذية المدينة باستخدام طريقة التدرج

طالب الدراسات العليا: لبيب حسن

كلية: الهمك - جامعة: البعث

الدكتور المشرف: سامر ربيع + د. فراس الخليل

الملخص

بسبب تزايد الحملات الكهربائية والتطورات التي تطرأ عليها، تظهر الضرورة لإعادة بناء شبكات تغذية المدن، وكأحد أهم الأساليب الفعالية لتطوير شبكات تغذية المدن القائمة ذات الجهد $6kV$ مثلا، يمكن استخدام ما يسمى بنظام الإدخال العميق والذي يملك عدة مزايا مقارنة مع زيادة مقاطع النواقل أو بناء خطوط نقل إضافية بنفس الجهد الاسمي.

تتلخص الأهمية العملية للبحث بالاستفادة من نتائجه عند دراسة احتمالات تطوير الشبكة الكهربائية المستخدمة لتغذية المدينة من أجل نفس الجهد الاسمي المستخدم أو من أجل جهود اسمية أعلى من الجهود المستخدمة وخاصة للجمهورية العربية السورية في مرحلة إعادة الاعمار. لحل المشكلة المطروحة في سياق البحث، تم استخدام منهجية الحسابات الفنية - الاقتصادية، وفق الطرق التالية: طريقة النفقات المحولة وطريقة التدرج. تم انشاء المجالات الاقتصادية للاستخدام الملائم والمنطقي للجهود الاسمية $6, 20, 66, 230kV$ والتي تميز شبكة التوزيع الكهربائية في الجمهورية العربية السورية. كما تم أخذ تكاليف المعدات الكهربائية في محطات التحويل الكهربائية بعين الاعتبار مما أدى الى زيادة مقطع النواقل بمقدار $[6.11-4.04]$ مرة وبالتالي إنقاص ضياعات الطاقة الكهربائية عند نقلها وهذا ما يجب الانتباه إليه عند تصميم نظام النقل الكهربائي.

الكلمات المفتاحية: إعادة بناء الشبكة الكهربائية، نظام الإدخال العميق، طريقة التدرج،

تطوير الشبكة الكهربائية، نمو أو تزايد الحملات الكهربائية.

Studying the effectiveness of rebuilding the electrical network to feed the city using the gradient method

Abstract

Due to the increasing electrical loads and the developments that occur in them, there is a need to rebuild cities' supply networks, and as one of the most effective methods for developing existing cities' feeding networks with a voltage of 6kV, for example, it is possible to use the so-called deep commitment system, which has several advantages compared to increasing the conductors' sections or building lines Extra transmission with the same nominal voltage. The practical importance of the research is to benefit from its results when studying the possibilities of developing the electrical network used to feed the city for the same nominal effort used or for a higher nominal effort than the used effort, especially for the Syrian Arab Republic in the stage of reconstruction. To solve the problem presented in the context of the research, the methodology of technical-economic calculations was used, according to the following methods: the gradient method. The economic areas have been established for the appropriate and logical use of the nominal voltages 6, 20, 66, 230kV, which characterize the electrical distribution network in the Syrian Arab Republic. The costs of the electrical equipment in the electrical transmission stations were also taken into account, which led to an increase in the section of the conductors by [4.04-6.11] times, and thus a decrease in electrical energy losses when transported, and this is what must be paid attention to when designing the electric transmission system.

Key words: rebuilding of the electrical network, deep commitment system, the gradient method, development of the electrical network, growth or increase of electrical loads

1- مقدمة :

ان مفهوم خطوط التغذية في شبكة المدينة الكهربائية يعني الخطوط ذات الحدود 6-20kV والتي توصل بين مركز التغذية ومراكز التوزيع، تكون هذه الخطوط عادة عبارة عن كابلات كهربائية بمقاطع $185-240\text{mm}^2$ أو يمكن أن تكون أمراس هوائية وخاصة عند الجهود العالية. اعتمد الاتحاد السوفيتي السابق أثناء بناء شبكة تغذية المدينة بخطوط تغذية بجهود [6 – 10kV] حسب [1,2] أما في الدول الأخرى كألمانيا وفرنسا، فان خطوط التغذية تكون بجهود أسمية اعلى وخاصة الجهود [25 – 30 – 60kV].

بسبب تزايد الحمولات الكهربائية والتطورات التي تطرأ عليها، تظهر الضرورة لإعادة بناء شبكات تغذية المدن، وكأحد أهم الاساليب الفعالية لتطوير شبكات تغذية المدن القائمة ذات الجهد 6kV مثلا، يمكن استخدام ما يسمى بنظام الإدخال العميق والذي يملك عدة مزايا مقارنة مع زيادة مقاطع النواقل او بناء خطوط نقل اضافية بنفس الجهد الاسمي [3].

يُعد الإدخال العميق عبارة عن نظام تغذية كهربائية يؤمن إدخال الجهد الأعلى المناسب اقتصادياً (ويكون هذا الجهد أعلى من الجهد القائم والمستخدم) الى قضبان مركز التوزيع من مراكز التغذية المستخدم او من اي مراكز تغذية اخر [3,4].

ان استخدام نظام الإدخال العميق للجهد يؤدي الى ما يلي:

- إنقاص تيار القصر على قضبان مركز التوزيع (الحاصل عند استخدام محولات ذات استطاعة محددة)
- زيادة موثوقية التغذية الكهربائية
- تبسيط الحماية الكهربائية كنتيجة للاستغناء عن استخدام الحماية الموجهة للتيار الأعظمي.

➤ تحسين نظام الجهد على قضبان مراكز التوزيع بسبب تقرب اجهزة تنظيم الجهد الى مراكز الحمل [3]

ولكن في نفس الوقت، عند استخدام نظام الادخال العميق يزداد مستوى الضجيج بالقرب من مراكز التوزيع بسبب وجود محولات وارتفاع الجهد الأولي بالإضافة إلى عوامل أخرى (الصيانة، الإنشاء،...). من جهة أخرى فان تنفيذ نظام الادخال العميق باستخدام الخطوط الهوائية يلزمه تامين مسار مرور هذه الخطوط في المدينة ولبناء محطات تحويل فرعية بالقرب من مراكز التوزيع يلزمه ايضا ان تتوفر مساحات جغرافية كافية لذلك. وبما انه لم تذكر اي اثباتات دقيقة لبارامترات نظام الادخال العميق في المراجع العلمية ما عدا بعض المعلومات العامة التي تشير الى امكانية إنقاص النفقات الاساسية ونفقات الاستثمار وقيم ضياعات الطاقة الكهربائية، سيتم في هذه الاطروحة وضع خوارزمية للاختيار المركب للبارامترات المنطقية لنظام الادخال العميق (الجهد الاسمي، مقاطع النواقل) بالاعتماد على النفقات المحولة لعمليات الاستبدال والتركيب وغيرها، وذلك باستخدام الطرق الرياضية المعروفة وخاصة طريقة المربعات الأصغرية.

في الوقت الحاضر بالنسبة لشبكات التوزيع الكهربائية في الجمهورية العربية السورية تُستخدم الجهود التالية 6,0, 20, 66, 230, 400. تُعتبر الشبكات ذات الجهود 20, 66kV هي الاطوال في الشبكة السورية [5]. ان اختيار القيمة المناسبة للجهد الاسمي لشبكة التوزيع الكهربائية، يتم وفقاً لمعايير اقتصادية فنية. وان أكثر هذه المعايير استخداماً لتحديد المستوى الامثل للجهد الاسمي هي طريقة النفقات المحولة. وبناء على هذا المعيار فقد قام معهد البحوث العلمية "ابنيرغاسيت برايكيت" بتحديد انشاء مجالات الاستخدام المنطقي للجهد الاسمي 20kV وأعلى من ذلك حسب الاستطاعة المنقولة

ومسافة النقل. وبعد ذلك فقد تم وضع مثل هذه العلامات بالنسبة لشبكة المدينة الكهربائية المنفذة بالاعتماد على نقل الطاقة من خلال الكابلات.

أما بالنسبة لشبكة التوزيع الكهربائية المعمول بها في الجمهورية العربية السورية حيث تُستخدم الجهود الاسمية المبينة أعلاه، وحيث تختلف اسعار المعدات الكهربائية، وضيعات الطاقة الكهربائية مقارنة مع الدول الأخرى. فان إيجاد مجالات الاستخدام المنطقي لهذا الجهد الاسمي او ذلك يثير الاهتمام الكبير أيضاً في إيجاد الحلول المناسبة للتغيرات التي يمكن أن تطرأ على الشبكة وتطورها.

تُعطى المعادلات لتحديد قيم الجهد الاسمي لخطوط النقل الكهربائية بعلاقتها مع العوامل الفنية (طول الخط، الاستطاعة الكهربائية المنقولة) والتي تم الحصول عليها بناءً على تحديد العلاقة بين الجهد الاسمي وبارامترات نظام النقل الكهربائي. من المفيد والمهم مقارنة نتائج إيجاد الجهد الاسمي لشبكة التوزيع بناءً على المعايير البيئية والمعايير الفنية والاقتصادية [6, 7].

2- أهمية البحث:

في هذا المقال، سيتم التطرق إلى فعالية بناء نظام الإدخال العميق بجهد 220-66kv بالمقارنة مع انشاء خطوط تغذية إضافية بجهد اسمي 20kv من أجل نفس مقاطع الناقل وذلك وفقاً لطريقة النفقات المحولة وأيضاً لطريقة التدرج.

من الضروري تقييم فعالية إعادة بناء شبكة تغذية المدينة الكهربائية ذات الجهد 20kv والنااتجة عن ارتفاع الحمل وتغيراته بالاعتماد:

- ✓ على أسلوب التطوير واسع النطاق اي زيادة عدد خطوط الكابلات العاملة.
- ✓ على أسلوب التقريب الأعظمي للجهد الأعلى الأكثر ملائمة إلى مراكز الحمل.

أياً كان الأسلوب المعتمد لبناء الإدخالات العميقة يجب أن يؤمن بذات الوقت:

- نفقات محولة أصغرية.
- موثوقية عمل أعظمية للشبكة.
- القيمة الأعظمية لعدد مرات فصل تيارات القصر من قبل قواطع مراكز التغذية ومراكز التوزيع.
- مستوى ضجيج أصغري ناتج عن عمل المعدات الكهربائية.
- هبوط جهد أصغري في الشبكة.

لحل هذه المسألة، يلزم وضع مجالات تغير للعوامل النوعية المشار إليها أعلاه والكائنة في نظام الإدخال العميق، وقيم تقييم أهمية الأهداف المدروسة. يجب الحصول على الحل من أجل قيم مختلفة للعوامل المؤثرة وبتقديرات متباينة لأهمية تحقيق الأهداف.

3- طريقة البحث وخطواته:

لحل المشكلة المطروحة في سياق البحث، تم استخدام منهجية الحسابات الفنية - الاقتصادية، وفق الطرق التالية: طريقة المربعات الأصغرية، طريقة النفقات المحولة. طريقة البحث تتمثل في دراسة مايلي:

- ✓ فعالية الاحتمالات الممكنة لإعادة بناء شبكة التغذية الكهربائية للمدينة والمشروطة بتغيرات وتقلبات وتطور حملها الكهربائي.
- ✓ إيجاد ورسم المجالات الاقتصادية لاختيار الجهد المنطقي لنظام الإدخال العميق لشبكة المدينة الكهربائية.
- ✓ وضع خوارزمية للاختبار المركب للجهد الاسمي ولمقاطع النواقل التي ستستخدم في نظام الإدخال العميق.
- ✓ تقييم فعالية الاحتمالات الممكنة لإعادة بناء شبكة التغذية الكهربائية للمدينة مع الأخذ بالاعتبارات العوامل الكمية والنوعية المؤثرة.

✓ تقييم فعالية استخدام نظام الإدخال العميق للتغذية الكهربائية للمؤسسات الصناعية عند هيكلية مختلفة لتعريف الطاقة الكهربائية المستهلكة.

وتم إجراء الأبحاث اللازمة على الحاسوب باستخدام برنامج MATLAB.

4- خوارزمية الاختيار المركب للبارامترات الملائمة لشبكة المدينة الكهربائية عند

نمو احمالها

4-1- المفاهيم الأولية:

نتيجة لعدم توفر طريقة معروفة لتحديد كلفة المنتجات في الوقت الحاضر كمؤشر اقتصادي رئيسي، فقد تم اقتراح طريقة النفقات المحولة. إذا اختلفت النفقات المحولة للاحتتمالات المدروسة بنسبة %10-5 (حسب دقة الحسابات الممكنة) فتعطي الأفضلية للاحتتمال ذي رأس المال المستثمر الاصغري أو للاحتتمال ذي المؤشرات النوعية [8]. إن النفقات المحولة التي تعد مقياساً للتكلفة يتم تحديدها للجزء المتغير من الاحتمالات المتطابقة وفقاً للعلاقة الآتية (1-2) [10,9]:

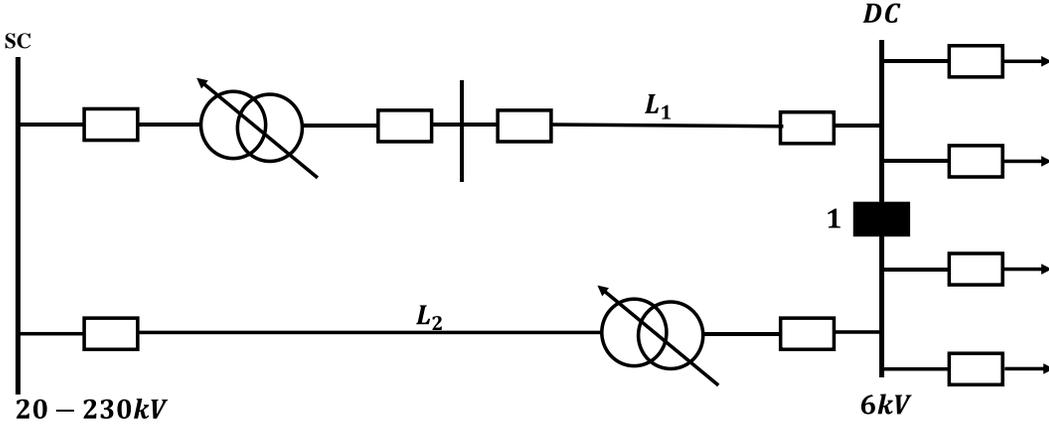
$$Z = E_n \cdot K + Y \quad (1-2)$$

K : رأس المال المستثمر لمرة واحدة في بناء المنشأة

Y : تكاليف الاستثمار السنوية

يمكن الاستفادة من العلاقة (1-2) لمنشأة لايتجاوز زمن إنشائها عام واحد، وتكاليف الاستثمار السنوية لا تتغير خلال كامل فترة الاستثمار المدروسة. إن تنفيذ ما يسمى بالادخال العميق الذي يؤمن مجموعة من المزايا الإيجابية مقارنة مع زيادة مقطع النواقل أو بناء خطوط إضافية موازية على شكل كابلات لنفس الجهد الاسمي، يعد أحد أهم التوجهات الفعالة لتطوير شبكة تغذية المدينة الكهربائية القائمة (الحالية) ذات الجهد 20kV على سبيل المثال والمبررة بسبب نمو الاحمال.

إن مصطلح خطوط التغذية في شبكة المدينة الكهربائية يعني الخطوط الكهربائية ذات الجهود $6-20kV$ والتي تربط مركز التغذية مع مراكز التوزيع في الشكل (1-2) ويتم انشاء خطوط التغذية في قاعده باستخدام الكابلات ذات المقطع $120 - 240mm^2$ [2].



الشكل (1-2): نظام الإدخال العميق

الادخال العميق هو نظام تغذية كهربائية يؤمن ايصال الجهد الاقتصادي الملائم الاعلى كقاعدة أعلى بعدة درجات من مستوى الجهد المستخدم الى قضبان مراكز توزيع مباشره DC (الشكل (1-2)، الخط L_2) من مركز تغذية SC المقصود أو من أي مركز تغذية اخر [4,5]. إذا تم تنفيذ الادخال العميق باستخدام خطوط الكابلات، فإنه يمكن إهمال المصاعب الإضافية بالمقارنة مع بناء خطوط موازيه ذات الجهد الاسمي نفسه. ان تنفيذ الادخال العميق باستخدام الخطوط الهوائية يتطلب ايجاد وتنظيم ممر لعبور الخط الهوائي في المدينة، بالإضافة الى أن بناء محطات تحويل بالقرب من مركز التوزيع يكون عند توفر مساحات كافيه من الأرض [6,7]. بعد التنفيذ الإدخال العميق، فان تغذية كامل حمل مركز توزيع يمكن ان تتم:

- من الخط L_2 (الخط L_1 يبقى خط احتياطي ولا يلزم قاطع الربط 1)

• من الخط L_1, L_2 قاطع للربط الالي 1 مفتوح ولكنه مجهر بألية الفصل الالي

للاحتياط AER

بما ان المراجع العلمية تخلو من آية معطيات عن نظام الادخال العميق وايضاً عن امكانية إنقاص النفقات الكلية ومصاريف الاستثمار، وقيم ضياعات الكهربائية المرافقة له، لذلك انه من المنطقي اجراء دراسة لفعالية تنظيم الادخال العميق مقارنة مع بناء الخطوط كابلات تغذية كهربائية موازيه بنفس الجهد ونفس مقطع النواقل باستخدام طريقه النفقات المحولة وطريقة التدرج.

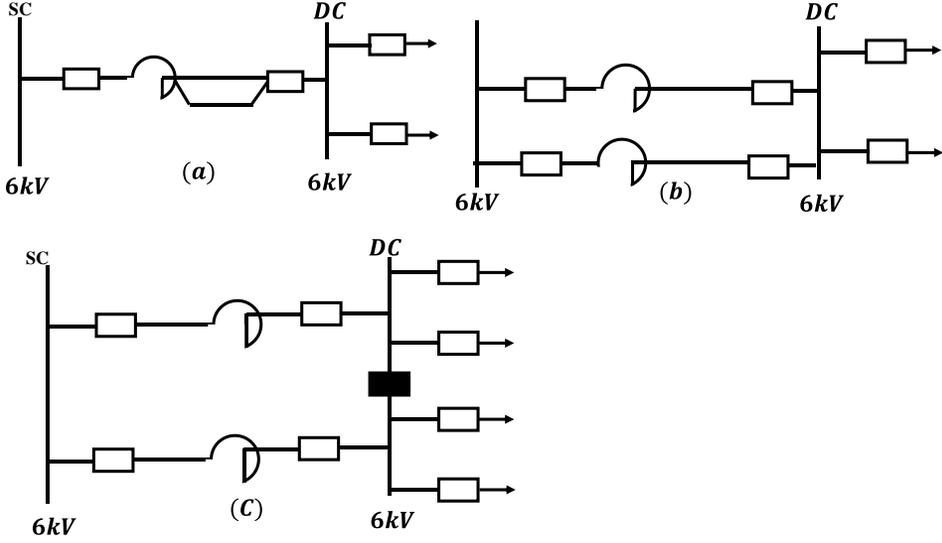
سيتناول هذا البحث استخدام هاتين الطريقتين لحل المسائل المطروحة

4-2- انشاء المجالات الاقتصادية من اجل اختيار الجهد الملائم المنطقي ومقطع

النواقل لنظام الادخال العميق لشبكة المدينة الكهربائية

من البارامترات الملائمة لنظام الادخال العميق هي الجهد الاسمي، ومقطع النواقل، ومجال الاستخدام الفعال لهذا الجهد الاسمي او ذلك بالاعتماد على طريقة النفقات المحولة. سيؤخذ بعين الاعتبار ثمن الارض المقطعة لبناء خطوط النقل الكهربائية، ومحطات التحويل لنظام الادخال العميق، وتركيب مفاعلات محده للتيار في الشبكة المدروسة 6kV عندما تزيد استطاعة المحولة الكهربائية عن القيمة 16MW بالإضافة إلى ثمن جهاز الفصل الالي للاحتياط عند العمل المنفصل للخطوط L_1, L_2 . بفرض أن استطاعة المحولة الابتدائية لمركز التوزيع مساوية لـ 3.8MW قد ارتفعت بنسبة الضعف، ثم ثلاثة أضعاف، ثم أربعة أضعاف، عندئذ يلزم بناء خط تغذية كهربائية اضافية كابلات او أكثر من خط تغذية اضافه بجهد 6kV ونفس المقطع على سبيل المثال $240mm^2$.

ان خط الكابلات الاضافي يمكن أن يكون متوضع على التوازي مع خط الكابلات الموجود، وفي حالات منفصلة متصل معه عبر قاطع واحد يمكن ان يكون متوضع بشكل مستقل ويغذي قسم أو القسم المشترك في مركز DC الشكل (2-2).



الشكل (2-2): احتمالات بناء خطوط التغذية 6kV

في الحالة (2C-2) يلزم تركيب كقاعدة ثلاث خلايا مع قواطعها.

ان النفقات الأساسية اللازمة لبناء خط اضافي كابل ذو جهد 6kV تساوي القيمة

$$K_{CL} = C_C L + C_{SS} n_1 + k_R + K_{AER} \quad (2-2)$$

حيث

C_C : كلفة الـ 1Km من خط الكابل 6kV [\$/ km]

C_{SS} : كلفه خلايا محطات التحويل ذات الجهد 6kV حيث $C_{SS} = 1250$ [\$]

k_R : كلفه مفاعلات الحد من التيار [\$]

n_1 : عدد خلايا محطات التحويل والذي يتعلق بأسلوب توصيل خط التغذية

الاضافي 6kV الشكل (2-2) حيث $n_1 = 0$ من أجل الشكل (2a-2)، $n_1 = 2$

من أجل الشكل (2b-2)، $n_1 = 3$ من أجل الشكل (2C-2).

ان المخطط المبين في الشكل (2a-2) لا يؤمن وثوقية تغذية كافية حيث أن عطل أي خط سيؤدي الى قطع التغذية الكهربائية عن جميع المستهلكين خلال فترة البحث عن العطل واعاده الجزء المتضرر من الخط. تحدد قيمه النفقات السنوية كجزء من النفقات الكلية:

$$\begin{aligned} \gamma_c = & (P_{dc} + P_{MC}) C_C L \\ & + (P_{ddd})(C_{SS}n_1 + K_R + K_{AER}) \\ & + \Delta W_C \beta \quad [\$] \end{aligned} \quad (3-2)$$

حيث:

$P_{dc}, P_{MC}, P_{ddd}, P_{Mdd}$: نسبة الحسومات من النفقات الكلية لكل من التقادم والصيانة الدورية، خدمة خطوط النقل والكابلات وأجهزه التوزيع في محطة التحويل [4].

$$\begin{aligned} P_{dc} = 0.043, P_{MC} = 0.02, P_{ddd} = 0.064, P_{Mdd} = 0.03 \\ \Delta W_{LC} : \text{ضياعات الطاقة الكهربائية في خطوط النقل [kWh]} \end{aligned}$$

تكتب قيمة ضياعات الطاقة الكهربائية في الحمل وفق العلاقة (4-2) [12,11]:

$$\Delta W_{LC} = \frac{S_L^2}{U^2} \cdot \frac{\rho \cdot L}{F} \tau \quad [kWh] \quad (4-2)$$

بتعويض قيم كل من K_{CL}, Y_{CL} في العلاقة (1-2) نحصل على العلاقة (5-2) الآتية:

$$\begin{aligned} 3_{CL} = & (E_N + P_{dpc} + P_{MC}) C_C L \\ & + (E_N + P_{ddd} + P_{Mdd}) \cdot (C_{SS}n_1 + K_R \\ & + K_{AER}) + \frac{S_L^2}{U^2} \cdot \frac{\rho \cdot L}{F} \tau \quad [\$] \end{aligned} \quad (5-2)$$

النفقات الكلية اللازمة لبناء خطوط نقل هوائية K_L ومحطات تحويل K_{SS} لنظام الادخال العميق تحدد كما يلي:

$$K_{EL} = K_L + K_{SS} \quad (6-2)$$

تعتبر النفقات الكلية لبناء خط النقل إحدى أهم الصفات الاقتصادية للنظام النقل الكهربائي [13]. هناك العديد من العلاقات التي تحدد النفقات الكلية اللازمة لبناء خطوط النقل الكهربائية. ولكن هذه العلاقات لا تمتلك الدقة المطلوبة لأنها لا تعكس التغيرات

الحاصلة مؤخراً في مؤشرات الاسعار وخاصة في الاعمال المدنية واعمال التركيب والتعديل. ستحدد النفقات الكلية اللازمة لبناء خطوط النقل الهوائية K_L ذات الجهود-20 و230kV والعاملة بحيادي معزول والمنفذة بأبراج من الخرسانة المسلحة K_{Lrc} أو أبراج معدنية K_{LS} مع الاخذ بالاعتبار كلفة الارض المقطعة C_E بالعلاقة (7-2) التالية:

$$\begin{aligned} K_{Lrc} &= (a_1 + b_1u + c_1F)L\acute{a} + C_E \\ K_{LS} &= (a_{11} + b_{11}u + c_{11}F)L\acute{a} + C_E \end{aligned} \quad (7-2)$$

حيث:

$a_1 = 1150 [$/Km]$	$c_1 = 9 [$/Km]$	$b_{11} = 17.5 [$/Km]$
$b_1 = 10 [$/Km]$	$a_{11} = 2300 [$/Km]$	$a' = 1.97 - 10$

\acute{a} : عامل يأخذ بعين الاعتبار ارتفاع اسعار أعمال البناء الخطوط مع تزايد الاسعار قيمة C_E تحسب بالعلاقة (8-2):

$$C_E = S_E \cdot S_L \cdot \cos \varphi e_E \quad (8-2)$$

حيث:

S_E : مساحة الارض المقطعة $[Hec/MW]$ ($S_E = 0.2[Hec/MW]$)

$\cos \varphi$: عامل الاستطاعة $\cos \varphi = 0.9$

e_E : السعر الوسطي لكل هكتار من الارض المقطعة لبناء خط النقل الهوائي

$$/Hec$ يؤخذ مساوي $[$/Hec]$ ($S_E = 500[$/Hec]$)

ان كلفة بناء خط نقل بجهد 110-230kv يعمل كما هو معروف بحيادي موزع للمحولات ومنفذ بأبراج بيتون مسلح K_{Lrc} أو ابراج معدنية K_{LS} مع الاخذ بالاعتبار كلفة الارض المقطعة C_E تحدد كما في العلاقة (9-2):

$$\begin{aligned} K_{Lrc} &= (a_2 + b_2u + b_3u^2 + c_1F)L\acute{a} + C_E \\ K_{LS} &= (a_{22} + b_{22}u + b_{33}u^2 + c_{11}F)L\acute{a} + C_E \end{aligned} \quad (9-2)$$

حيث:

$a_2 = 2225 [$/Km]$	$b_{33} = 0.0175 [$/Km]$	$b_{22} = 4 [$/Km]$
$b_2 = 0.5 [$/Km]$	$a_{22} = 3362.5 [$/Km]$	$b_3 = 25 \times 10^{-6} [$/Km]$

النفقات الكلية على محطة التحويل K_{SS} يمكن التعبير عنها وفق العلاقة (10-2) التالية:

$$K_{SS} = (K_T + K_{0ad1} + K_{0ad2} + K_0) \dot{a} + K_{AVR} \quad (10-2)$$

K_T : النفقات اللازمة لتصنيع ونقل وتركيب المحول (محولة مع آلية تنظيم الجهد تحت الحمل)

K_{0ad1}, K_{0ad2} : النفقات اللازمة لخلايا أجهزة التوزيع المفتوحة المكشوفة من جهة التوتر العالي والتوتر المنخفض.

K_0 : الجزء الثابت من النفقات المتعلقة ببناء محطة التحويل، تتضمن النفقات اللازمة لبناء الممرات تحت الارض والمستودعات والتهوية وتجهيزات الزيت وتمديدات المياه والإنارة وغيرها.

النفقات K_T يُعبر عنها بالعلاقة (11-2) حسب المرجع [14].

$$K_T = (a_3 + b'_3 U) \cdot S_n^{0.75} \text{ for } 20-66kV$$

$$K_T = (a_4 + b''_3 U) \cdot S_n^{0.5} \text{ for } 110-230kV \quad (11-2)$$

حيث

$a_3 = 3000 [\$]$	$a_4 = 5375 [\$]$ من أجل التوتر 230kV	$b''_3 = 8.75 [\$]$
$b'_3 = 8.75 [\$]$	$a_4 = 5500 [\$]$ من أجل التوتر 110kV	

النفقات الكلية اللازمة لبناء خلايا تجهيزات التوزيع المفتوحة من جهة التوتر العالي والتوتر المنخفض تُعطى بالعلاقة (12-2):

$$K_{odd1} = (a_5 + b_4U + b_5U^2) \text{ for } 20\text{-}66\text{kV} \quad (12-2)$$

$$K_{odd2} = (a_5 + b_6U + b_5U^2) \text{ for } 110\text{-}230\text{kV}$$

حيث

$a_5 = 1750 [\text{\$}]$	$b_4 = 0.3[\text{\$}]$
$b_4 = 25 [\text{\$}]$	$b_4 = 30[\text{\$}]$

يتم إيجاد قيمة K_{odd2} كما يلي وفق العلاقة (13-2):

$$K_{odd2} = (a_6 + b_7U + b_8U^2) \quad (13-2)$$

حيث

$a_6 = 1750 [\text{\$}]$	$b_7 = 2.5 [\text{\$}]$	$b_8 = 0.0425[\text{\$}]$
--------------------------	-------------------------	---------------------------

الجزء الثابت من النفقات K_0 يُحدد من العلاقة (14-2) كالآتي:

$$K_o = (a_7 + b_9U + b_{10}U^2) \quad (14-2)$$

حيث

$b_9 = 125 [\text{\$}]$	$a_7 = 5500 [\text{\$}]$ من أجل التوتر 20-11kV
$b_{10} = 1 [\text{\$}]$	$a_7 = 11500 [\text{\$}]$ من أجل التوتر 230kV

بتعويض قيم كل من K_T ، K_o ، K_{odd2} ، K_{odd1} في العلاقة (10-2)، فيتم الحصول على كلفة بناء محطة تحويل بجهد 20/66kV بالعلاقة (15-2):

$$K_{SS} = (a_8 + b_{11}U + b_{12}U^2) \quad (15-2)$$

حيث

$a_8 = (a_5 + a_6 + a_7 + a_3 \cdot S_n^{0.75}) \cdot a' [\text{\$}]$
$b_{11} = (b_4 + b_7 + b_9 + b_3 \cdot S_n^{0.75}) \cdot a' [\text{\$}]$
$b_{12} = (b_5 + b_8 + b_{10}) \cdot a' [\text{\$}]$

كلفة بناء محطة تحويل بجهد 110/230kV تُعطى بالعلاقة (16-2)

$$K_{SS} = (a_9 + b_{13}U + b_{12}U^2) \quad (16-2)$$

حيث

$a_9 = (a_5 + a_6 + a_7 + a_4 \cdot S_n^{0.5}) \cdot a' [\text{\$}]$
$b_{13} = (b_6 + b_7 + b_9 + b_3 \cdot S_n^{0.5}) \cdot a' [\text{\$}]$

تعد نفقات الاستثمار السنوية للشبكات الكهربائية عبارة عن القيمة المطلقة للتكاليف الذاتية لنقل وتوزيع الطاقة الكهربائية في الشبكة خلال العام الواحد [15]. وتتكون هذه النفقات من الحسومات على تقادم التجهيزات والمصاريف اللازمة للصيانة الدورية، وخدمة الشبكة وثمان الطاقة الكهربائية الضائعة ويمكن التعبير عنها بالعلاقة (2-17):

$$Y_L = P_{LSS} \cdot K_L + \Delta W \beta \quad (17-2)$$

حيث

P_{LSS} : الحسومات على التقادم، وصيانة وخدمه خط النقل، ومحطه التحويل.

ΔW : مجموع ضياعات الطاقة الكهربائية

أما الحسومات السنوية في نظام الادخال العميق، يمكن التعبير عنها بالعلاقة (2-18) كما يلي:

$$Y_L = (P_{dL} + P_{ML})K_L + (P_{dSS} + P_{MSS})K_{SS} + (\Delta W_L + \Delta W_{TW})\beta + (\Delta W_{TOS} + \Delta W_{LC})\beta_{OC} \quad (18-2)$$

حيث

$P_{dL} = 0.036$	$P_{dSS} = 0.064$	من أجل الجهد 20/66kV
$P_{ML} = 0.02$	$P_{MSS} = 0.03$	
$P_{dL} = 0.024$	$P_{dSS} = 0.064$	من أجل الجهد
$P_{ML} = 0.004$	$P_{MSS} = 0.02$	110/230kV

ΔW_L ، ΔW_{TW} ، ΔW_{TOS} ، ΔW_{LC} : ضياعات الطاقة الكهربائية في خط النقل،

وفي ملفات المحولة، وفي حالة اللاحمل للمحولة، وبسبب الكورونا على الترتيب.

β_{OC} : ثمن الكيلو واط الساعي من ضياعات الطاقة في حالة اللاحمل. ويمكن

اعتبار أن $\beta_{OC} = \beta$

يمكن حساب ΔW_{LC} من العلاقة (2-4)، أما قيمة ΔW_{TW} يمكن حسابها من العلاقة

$$(19-2) [24,23]:$$

$$\Delta W_{TW} = \Delta P_{Sh} \cdot K_{Ld}^2 \tau \quad (19-2)$$

ΔP_{Sh} : ضياعات الاستطاعة في حالة قصر المحولة [kW]

K_{Ld} : عامل التحميل S_L/S_n

في حالة اللاحمل ΔW_{TOS} يمكن كتابة العلاقة (20-2)

$$\Delta W_{TOS} = \Delta P_{OS} \cdot T \quad (20-2)$$

ΔP_{OS} : ضياعات الاستطاعة في قلب المحول [kW]

T : عدد ساعات عمل المحولة في السنة [8760h]

أما ضياعات الطاقة الكهربائية بسبب ظاهرة الكورونا في الخط، يتم حسابها وفق العلاقة (21-2):

$$\Delta W_{LC} = \Delta W_{CS} \cdot L \quad (21-2)$$

ΔW_{CS} : ضياعات النوعية من الطاقة الكهربائية بسبب ظاهرة الكورونا وتساوي

$[kW/Km]$ 24×10^{-3} من أجل مقطع ناقل $240mm^2$ لسوية جهد 230kV

حسب [9,16].

بالتبديل قيم كل K_L ، Y_L بالعلاقة (1-2)، يتم الحصول على النفقات المحول للنظام

الادخال العميق بجهد 20/66kV مع الأخذ بعين الاعتبار لخطوط النقل.

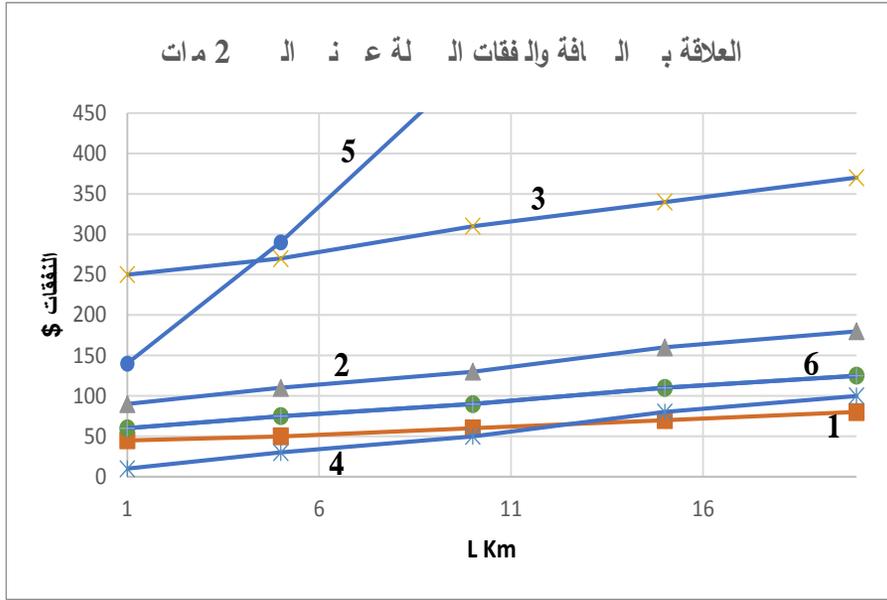
$$\begin{aligned} Z_{L(20-66kV)} = & (E_N + P_{dL} + P_{ML}) \cdot [(a_1 + b_1 U + \\ & C_1 F) \cdot L \cdot a' + C_3] + (E_N + P_{dSS} + P_{MSS}) \cdot [(a_8 + b_{11} U + \\ & b_{12} U^2) \cdot a' + K_{AVR}] + \frac{S_{load}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho L}{F} \tau \beta + \Delta P_{Sh} \cdot K_{Ld}^2 \tau \beta \times \\ & 10^{-3} + \Delta P_{OC} \cdot T \cdot \beta_{OC} \times 10^{-3} \text{ [\$]} \end{aligned} \quad (22-2)$$

يتم حساب النفقات المحولة لنظام الادخال العميق بجهد 110/230kV مع الأخذ بعين

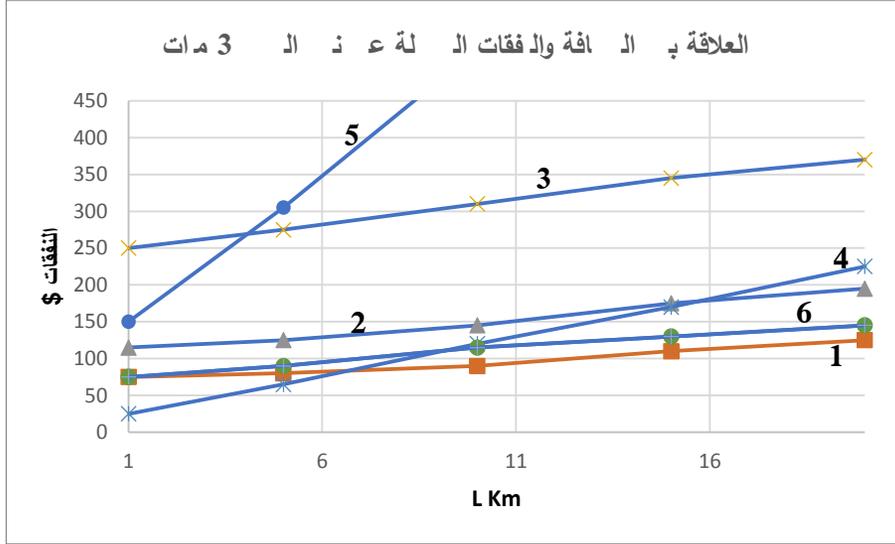
الاعتبار لخطوط النقل من خلال العلاقة (23-2)

$$\begin{aligned} Z_{L(110-230kV)} = & (E_N + P_{dL} + P_{ML}) \cdot [(a_2 + b_2 U + \\ & b_3 U^2 + C_1 F) \cdot L \cdot a' + C_3] + (E_N + P_{dSS} + \\ & P_{MSS}) \cdot [(a_4 + b_{13} U + b_{12} U^2) \cdot a' + K_{AVR}] + \\ & \frac{S_{load}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho L}{F} \tau \beta + \Delta P_{Sh} \cdot K_{Ld}^2 \tau \beta \times 10^{-3} + \Delta P_{OC} \cdot T \cdot \beta_{OC} \times \\ & 10^{-3} + \Delta W_{CS} \cdot \beta_{OC} \text{ [\$]} \end{aligned} \quad (23-2)$$

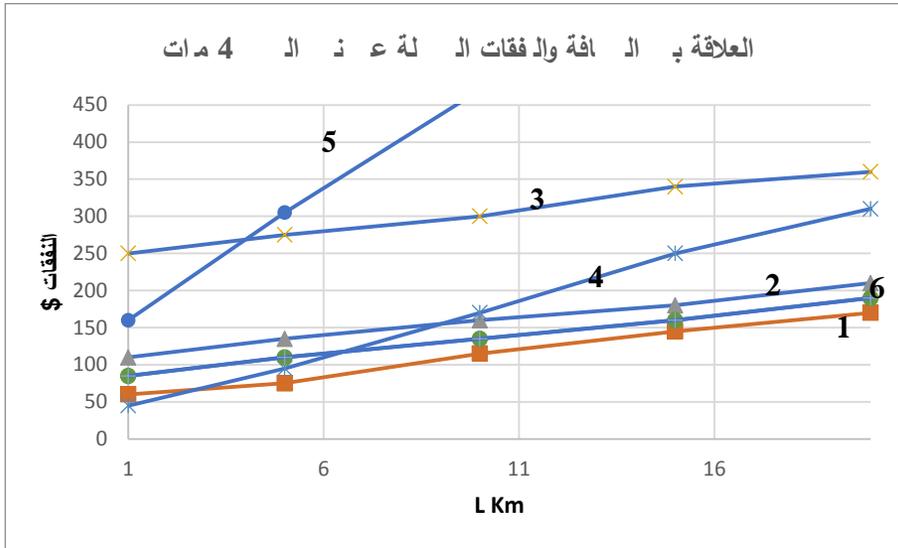
ان الحسابات المنفذة باستخدام العلاقات (2-5)، (2-22)، و(2-23) مع الاخذ بالاعتبار نمو الحمل الابتدائي لمركز توزيع والمساوي 3.8MW بمعدل 2، 3، و4 مرات المبين في الأشكال (2-3)، و(2-6) وفي الجدول (2-1).



الشكل (2-4): العلاقة بين المسافة والنقطة المحولة عند نمو حمل 2 مرة (المنحنيات 1, 2, 3 هي خطوط نقل هوائية بجهود 230kV, 66, 20)، المنحنيات (4, 5, 6) هي خطوط كابلات 66kV, 20, 6)

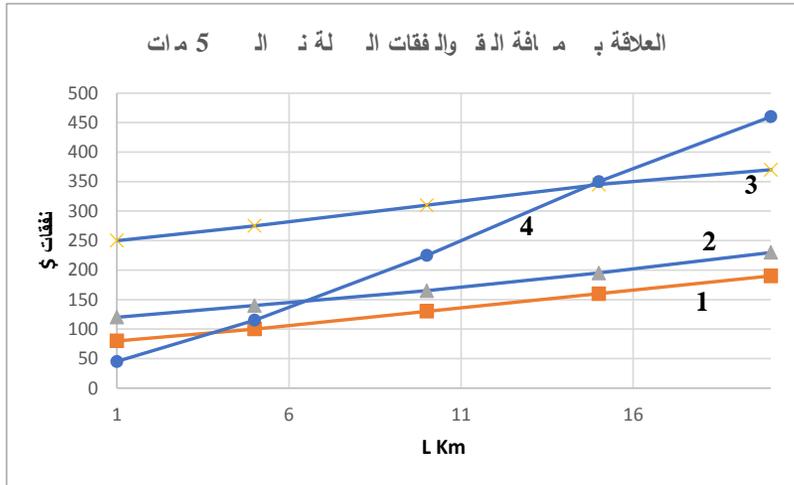


الشكل (2-5): العلاقة بين المسافة والنفقات المحولة عند نمو حمل 3 مرات (المنحنيات 1, 2, 3 هي خطوط نقل هوائية بجهود 20, 66, 230kV)، المنحنيات (4, 5, 6) هي خطوط كابلات (6, 20, 66kV)



الشكل (2-6): العلاقة بين المسافة والنفقات المحولة عند نمو حمل 4 مرات (المنحنيات 1, 2, 3 هي خطوط نقل هوائية بجهود 20, 66, 230kV)، المنحنيات (4, 5, 6) هي خطوط كابلات (6, 20, 66kV)

تبين الاشكال (2-3)، (2-6) أن النفقات المحولة تكون أصغريه عند نقل الاستطاعة بواسطة الكابلات وبجهد 6kV ومقطع 240mm^2 لمسافات حتى 5.25, 7.25, 15.75Km. من أجل نقل الاستطاعة لمسافات أكبر مما سبق اي لمسافات أكبر من 5.25, 7.25, 15.75Km، فإن النفقات المحولات تصبح اصغريه باستخدام نظام الادخال العميق بجهد 20kV ومقطع نواقل 90mm^2 , 70mm^2 من الاشكال (2-3)، (2-5)، يمكن ملاحظه انه عند نمو الحمل الابتدائي حتى 4 مرات يكون باستخدام نظام الادخال العميق بجهد 230kV غير ملائم. من اجل نمو الحمل الابتدائية بمقدار 5 مرات باستخدام العلاقات (2-23)، (2-22)، و(2-5).

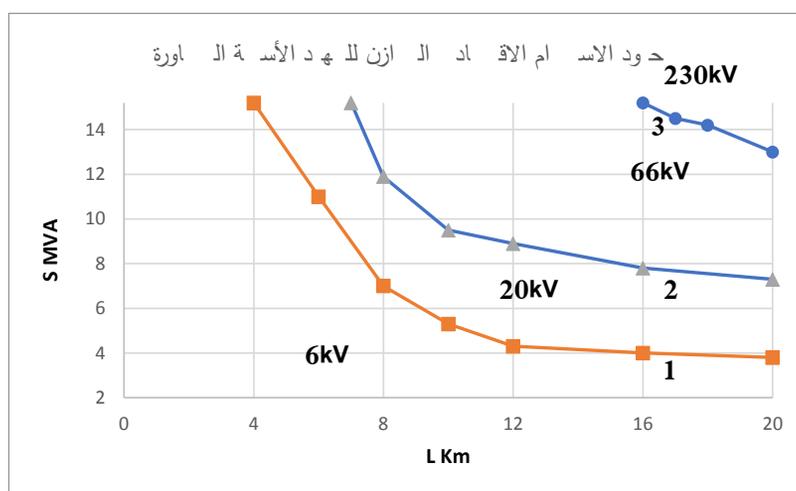


الشكل (2-7): العلاقة بين مسافة النقل والنفقات المحولة عند حمل 5 مرات

إن المنحنيات (1, 2, 3) من الشكل (2-6) تمثل خطوط نقل هوائية بجهد 20, 66, 230 kV أما المنحني 4 من الشكل (2-7) يمثل خط كابلات بجهد 6kV. يبين الشكل (2-6) ان النفقات المحولة تكون أصغريه عندها نقل الاستطاعة بواسطة الكابلات ذات الجهد 6kV ومقطع 240mm^2 ولمسافات حتى 3.6, 5.75, 14Km مقارنة مع نظام الادخال العميق بجهد 20kV, 66kV, 230kV على الترتيب. عند نقل الاستطاعة الى

مسافات أكبر من المسافات المذكورة سابقاً أي أكبر من 3.6, 5.75, 14Km، فإن النفقات محولة تكون أصغرية عند استخدام نظام الإدخال العميق بجهد 20kV, 66kV, 230kV على التوالي بمقطع نواقل 150mm^2 , 240mm^2 .

لو سمحت الحسابات باستخدام العلاقات (2-23)، (2-22)، و(2-5) بإنشاء منحنيات الاستخدام الاقتصادي المتكافئ للجهود بجهد 6kV, 20kV, 66kV, 230kV حسب مسافة النقل وقيمته الاستطاعة المنقولة.



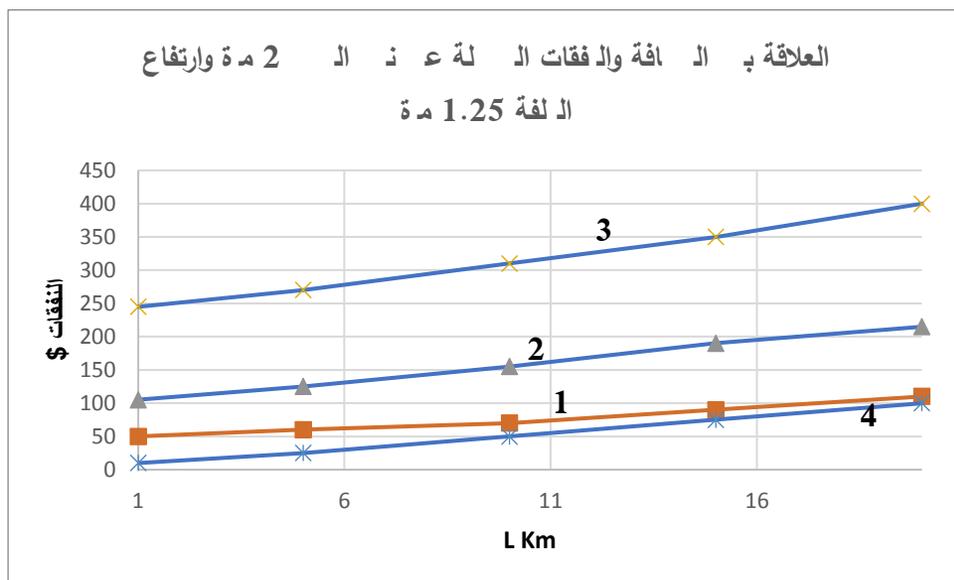
الشكل (2-8): حدود الاستخدام الاقتصادي المتوازن للجهود الاسمية المتجاوزة

الواضح من الشكل (2-8) ان نمو حمولة خطوط التغذية ذات الجهد 6kV ومسافة نقل حتى 3.6Km، فإن بناء نظام الإدخال العميق لا يكون ملائماً، إن بناء خطوط الكابلات اضافيه بجهد 6kV يكون أكثر فعالية عندما يكون طول الخطوط التغذية أكبر 3.6Km، فإن اتخاذ قرار بناء نظام ادخال عميق ستحدده حصراً قيمه حمل مركز التوزيع اي قيمه الاستطاعة المنقولة [17].

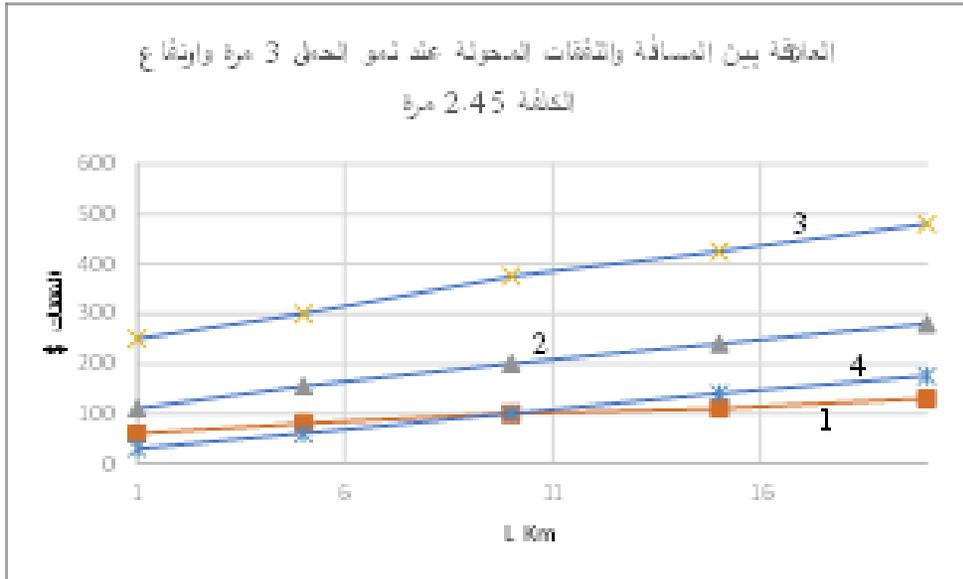
الجدول (1-2): النفقات المحولة لبناء نظام الإدخال العميق بجهود 230kV-66
وخطوط كابلات 6kV

استطاعة الحمل [MW]	مسافة النقل [Km]	النفقات المحولة [\$]			
		الجهد الاسمي [KV]			
		66	110	230	6 Cables 6kV
7.6	1	53.634	101.828	249.15	11.7
	5	65.78	124.0	277.702	35.554
	10	80.962	151.715	313.391	65.285
	20	111.326	207.145	384.768	124.746
11.4	1	66.286	110.474	249.815	22.9
	5	82.818	132.775	278.399	67.908
	10	103.483	160.651	314.128	124.168
	20	144.813	216.403	385.586	236.68
	1	82.785	120.7	250.921	34.67
15.2	5	103.289	143.218	279.559	103.461
	10	130.169	171.363	315.355	189.451
	20	201.288	227.654	386.448	361.43

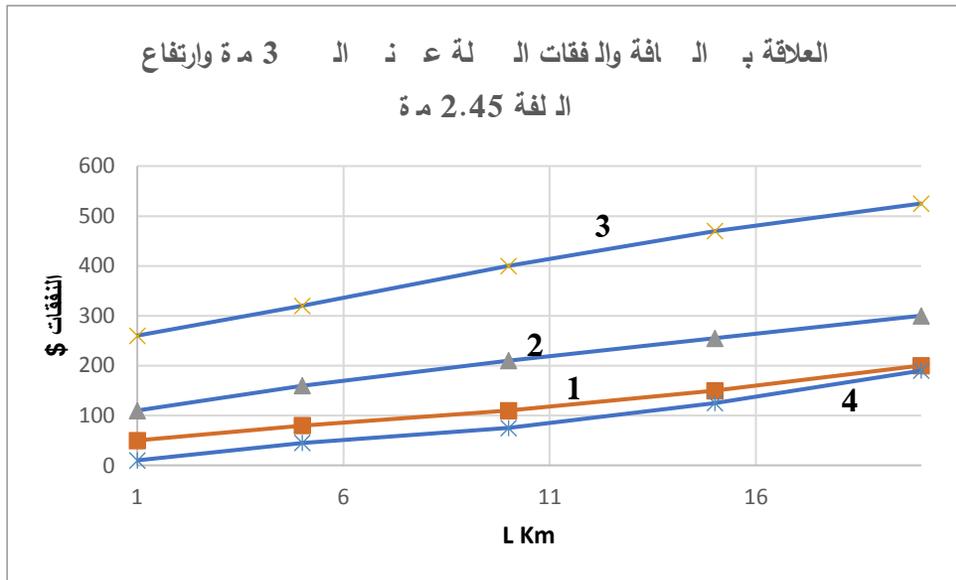
تبين الاشكال (2-9)، (2-10)، و(2-11) نتائج الحسابات المنفذة باستخدام العلاقات (2-23)، و(2-22) مع اعتبار تأثير انشاء خطوط نقل هوائية على الوسط المحيط، وبالتالي ارتفاع كلفة انشائها بمقدار [1.25-3.6] مرة. تم اخذ ارتفاع الحمل الابتدائي 3.8MW كما في السابق اي بمقدار 2, 3, 4 مرات على التوالي.



الشكل (2-9): العلاقة بين المسافة والنفقات المحولة عند نمو حمل 2 مرة وارتفاع الكلفة 1.25 مرة (المنحنيات 1, 2, 3 هي خطوط نقل هوائية بجهود 20, 66, 230kV)، المنحني (4) هي خطوط كابلات (6kV)



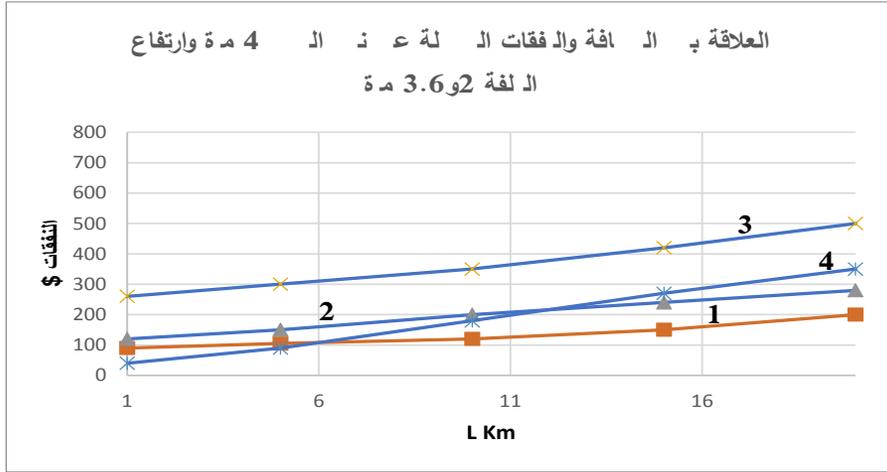
(a)



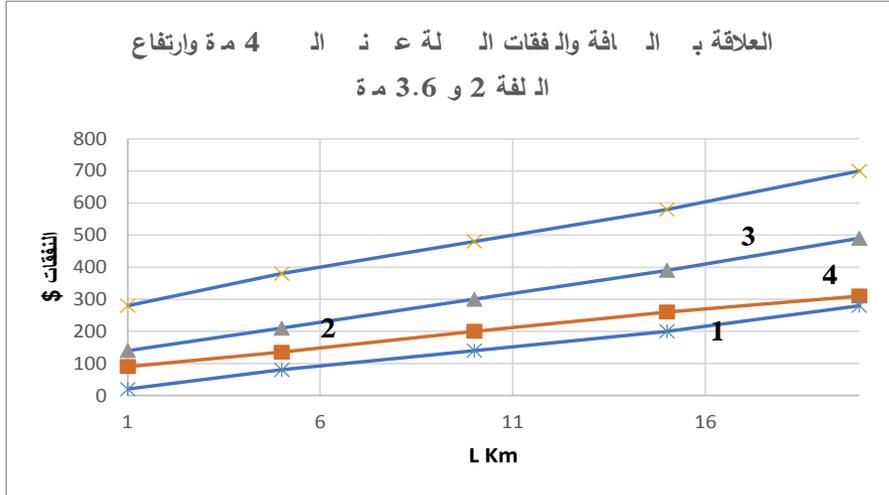
(b)

الشكل (2-10): العلاقة بين المسافة والتنفقات المحولة عند نمو حمل 3 مرة وارتفاع الكلفة 2.45 مرة (المنحنيات 1, 2, 3 هي خطوط نقل هوائية بجهد 20, 66, 230kV)، المنحني (4 هي خطوط كابلات 6kV)

يتضح من الاشكال (8-2)، (b9-2)، (b10-2) إن انشاء نظام الادخال غير ملائم عند ارتفاع كلفة خطوط النقل الهوائية بمقدار 4، 2.45، 1.25 مرات ونمو استطاعة الحمل الابتدائية لمركز التوزيع بمقدار 4، 3، 2 مرات على التوالي.



(a)



(b)

الشكل (11-2): العلاقة بين المسافة والنفقات المحولة عند نمو الحمل 4 مرات وارتفاع كلفة الخط بمقدار 2-3.6 مرة

عند ارتفاع كلفة خط النقل الهوائي بمقدار 2 مره وارتفاع استطاعة حمل مركز التوزيع الابتدائية من 3 إلى 4 مرات، فان النفقات المحولة الاصغريه تتحقق عند استخدام خطوط الكابلات لنقل هذه الاستطاعة بجهد 6kV ومقطع 240mm^2 الى مسافات حتى 6.5, 11.75Km على التوالي. تبين الاشكال (a11-2)، (b11-2) عند نقل الاستطاعة الى مسافات أكبر من 6.5, 11.75Km فان شرط النفقات المحول الاصغر يحققه نظام الادخال العميق بجهد 20kV ومقطع نواقل 95mm^2 .

إذا تم تنفيذ الادخال العميق بواسطة خطوط كابلات، فان النفقات الكلية اللازمة لإنشاء خطوط كابلات بجهد 20, 66kV ستكون مساويه حسب العلاقة (24-2):

$$K_{C(20kV)} = C_{C-20kV} \cdot L \quad (24-2)$$

$$K_{C(66kV)} = C_{C-66kV} \cdot L \quad (25-2)$$

حيث:

C_{C-66kV}, C_{C-20kV} : ثمن الكيلومتر الطولي من الكابل للجهود 20, 66kV على التوالي [\$/Km]

يمكن التعبير عن الحسومات السنوية لنظام الادخال العميق المنفذ بواسطة الكابلات بشكل مشابه للعلاقة (3-2) لنحصل على العلاقة (26-2) التالية:

$$Y_{C(20kV)} = (P_{dC-20kV} + P_{MC-20kV}) \cdot K_{C-20kV} + (P_{dSS} + P_{MC}) \cdot K_{SS} + (\Delta W_{C-20kV} + \Delta W_{TW}) \cdot \beta + \Delta W_{TOC} \cdot \beta_{OC} \quad (26-2)$$

أما العلاقة (27-2) لأجل الجهد 66kV:

$$Y_{C(66kV)} = (P_{dC-66kV} + P_{MC-66kV}) \cdot K_{C-66kV} + (P_{dSS} + P_{MC}) \cdot K_{SS} + (\Delta W_{C-66kV} + \Delta W_{TW}) \cdot \beta + \Delta W_{TOC} \cdot \beta_{OC} \quad (27-2)$$

حيث

P_{dc}, P_{MC} : الحسومات اللازمة للتقدم، والصيانة الجارية بالإضافة إلى استثمار خطوط الكابلات حسب الجهود المعتمدة (20, 66kV). حسب المرجع [9]، يمكن اعتماد البارامترات التالية:

$P_{dc-66kV} = 0.025$	$P_{MC-66kV} = 0.02$
$P_{dc-20kV} = 0.034$	$P_{MC-20kV} = 0.02$

بتعويض قيم كل من K_L, K_C في العلاقة (2-22)، سنحصل على العلاقة (2-28) التي تبين النفقات المحولة لنظام الإدخال العميق بواسطة الكابلات ذات الجهد 20kV:

$$Z_{C(20kV)} = (E_N + P_{dc-20kV} + P_{MC-20kV}). C_{C-20kV}. L + (E_N + P_{dss} + P_{MSS}). [(a_8 + b_{11}U + b_{12}U^2). a' + K_{AVR}] + \frac{S_{load}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho L}{F} \tau \beta + \Delta P_{Sh}. K_{Ld}^2 \tau \beta \times 10^{-3} + \Delta P_{OC}. T. \beta_{OC} \times 10^{-3} [\text{\$}] \quad (28-2)$$

النفقات المحولة لنظام الإدخال العميق بواسطة الكابلات ذات الجهد 66kV تُعطى بالعلاقة (2-29) الآتية:

$$Z_{C(66kV)} = (E_N + P_{dc-66kV} + P_{MC-66kV}). C_{C-66kV}. L + (E_N + P_{dss} + P_{MSS}). [(a_9 + b_{13}U + b_{12}U^2). a' + K_{AVR}] + \frac{S_{load}^2}{U^2} \cdot \frac{\rho L}{F} \tau \beta + \Delta P_{Sh}. K_{Ld}^2 \tau \beta \times 10^{-3} + \Delta P_{OC}. T. \beta_{OC} \times 10^{-3} [\text{\$}] \quad (29-2)$$

توضح الأشكال (2-3)، (2-4)، و(2-5) نتائج الحسابات المنفذة بالعلاقات (2-28) و(2-29) مع الأخذ بالاعتبار نمو الحمولة الابتدائية لمركز التوزيع والمساوية 3.8MVA بمقدار 2, 3, 4 مرات على التوالي.

يتبين من الشكل (2-3) انه عند شروط نمو حمل خطوط التغذية لجهد 6kV ولمسافة نقل حتى 20Km يكون بناء نظام الإدخال العميق باستخدام كابلات ذات جهد 20kV غير ملائم. بينما يتضح من الأشكال (2-4)، و(2-5) ان النفقات المحولة تكون اصغريه عند نقل الاستطاعة بواسطة كابلات ذات جهد 6kV وبمقطع 240mm^2

ولمسافه نقل حتى 5.5, 9Km مقارنة مع نظام الادخال العميق باستخدام كابلات ذات جهد 20kV. عند نقل الاستطاعة لمسافه أكبر من 5.5, 9Km، فان نظام الادخال العميق باستخدام كابلات ذات جهد 20kV ومقطع 150mm^2 يؤمن نفقات محوّله اصغرية.

من الاشكال (2-3)، (2-4)، و(2-5) يتضح ايضاً عند شروط نمو حمل لخطوط التغذية بجهد 6kV بمقدار (2-4) مرات ومسافة نقل حتى 20Km يكون بناء النظام الادخال العميق باستخدام كابلات ذات جهد 66kV غير ملائم. وهذا يمكن استنتاج، بانه من أجل شروط نمو حمل لخطوط التغذية 6kV بمقدار 2 إلى 4 مرات ومسافه نقل حتى 20Km يكون بناء نظام الادخال عميق بواسطة الكابلات ذات الجهد 20kV غير ملائم. تصلح هذه النتيجة ايضاً بالنسبة لبناء نظام ادخال باستخدام كابلات بنفس الطول وبالجهد 20kV عند نمو الحمل بمقدار 2 مرة سيكون نظام الادخال العميق باستخدام كابلات ذات جهد 20kV فعالاً وملائماً عند نمو حمل خطوط التغذية بمقدار 3 إلى 4 مرات ومسافه نقل أكبر من 5.5, 9Km.

5- خوارزميه الاختيار المركب للبارامترات الملائمة لنظام الادخال العميق وفقاً لطريقة

التدرج

بعد اختيار الجهود الاسمية ومقاطع النواقل مرتبطة فيما بينها، وهذا الاختيار يحدد الاستراتيجية الامثل لاستثمار وتطوير الشبكة الكهربائية، لذلك يتم اختيار بارامترات خطوط النقل الكهربائية وخاصة الجهد الاسمي، ومقطع النواقل معاً. إن حل مسائل الأمثلة عند وجود قيود في شكل المساواة أو اللامساواة يتطلب استخدام طرق امثلة كطريقه كوهن تاكر أو طريقه مضاعفات لاغرانج او طريقه التدرج او غيرها من الطرق [18].

تعتبر طريقه لاغرانج الطريقة الاسهل من بين الطرق المذكورة أعلاه لكن استخدامها يصبح صعباً عند وجود قيود في شكل اللامساواة، وايضاً عدم امكانية الحصول في بعض المسائل على إشارة موجبة للمشتق من الدرجة الثانية لدالة لاغرانج، والتي تدل على وجود امثلية فعلية للدالة المدروسة. ان طريقه كوهن تاكر تُمثل تعميم لطريقة لاغرانج لحل المسائل التجريبية والتي تتضمن شروط اللامساواة كمحددات أو كقيود. الا ان طريقه كوهين تاكر تنتمي الى الطرق الحسابية لحل المسائل والتي لا يمكن استخدامها لحل المسألة المدروسة هنا وذلك بسبب ان هذه الطريقة تُستخدم عندما أحد المتغيرات يفى بمتطلبات التقليل (الاصغرية) والمتغير الاخر يعني بمتطلبات التكبير (الأعظمية) [19].

وانما ما ذُكر اعلاه يعطي الأفضلية لاستخدام طريقه التكرار للبحث عن البارامترات الملائمة لنظام الادخال العميق والتي تؤمن وظيفة شبكه تغذية المدينة الكهربائية [19]، [20]. يتلخص جوهر طريقه التكرار في انه يلزم ايجاد القيمة الاصغرية للدالة المدروسة للعلاقتين (22-2)، (23-2) ذات المتغيرين الجهد ومقطع الناقل. ان قيم المتغيرين والتي تؤمن أصغريه الدالة المدروسة، تُؤخذ كقيم مثاليه لذلك يتم في بداية الحساب اعطاء حل ابتدائي، اي تعطى قيم للجهد $U^{(0)}$ المقطع الناقل $F^{(0)}$ بحيث تحقق القيود الموجودة عند جهد يتراوح من 20kV على 66kV ستكون ومقاطع النواقل واقعة في المجال $[70-150mm^2]$. أما عند جهد من 110kV حتى 230kV ستكون هذه المقاطع ضمن المجال $[95-240mm^2]$. وهكذا كحل ابتدائي، سيتم لاحقاً تحديد المشتقات الجزئية لدالات المعرفة بالعلاقتين (22-2)، (23-2) والتي في الحالة العامة لا تساوي الصفر.

$U^{(0)} = 20kV$	$F^{(0)} = 70mm^2$	(20 – 66kV)
$U^{(0)} = 230kV$	$F^{(0)} = 240mm^2$	(110 – 230kV)

بالنسبة للعلاقات المدروسة يتبين ان داله الهدف تساوي:

$\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)^{(0)} = -0.084$	$\left(\frac{dZ_L}{dF}\right)^{(0)} = -0.017$	(20 – 66kV)
$\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)^{(0)} = 1.34$	$\left(\frac{dZ_L}{dF}\right)^{(0)} = 0.052$	(110 – 230kV)

من أجل العلاقة (22-2)، تم اعتماد القيم $U^{(0)} = 20kV$ ، $U^{(0)} = 70mm^2$. أما من أجل العلاقة (23-2)، تم اعتماد القيم التالية: $U^{(0)} = 230kV$ ، $F^{(0)} = 240mm^2$. بالتالي إن تدرج الدالة $gradZ_L$ يتم حسابه من العلاقة (30-2) حسب المرجع [21].

$$|gradZ_L| = \sqrt{\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)^2 + \left(\frac{dZ_L}{dF}\right)^2} \quad (30-2)$$

إن قيمة $gradZ_L$ تساوي 0.085 من أجل جهد يتراوح من 20kV وحتى 66kV، أما من أجل الجهود من 110kV وحتى 230kV فإن قيمة $gradZ_L$ تساوي 1.34. إن قيم المجهولة لتغيرات الجهد ΔU ، ومقطع النواقل ΔF تُعطيان بالعلاقين (31-2)، و(32-2) كالآتي:

$$\Delta U = -\frac{h\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)}{|gradZ_L|} \quad (31-2)$$

$$\Delta F = -\frac{h\left(\frac{dZ_L}{dF}\right)}{|gradZ_L|} \quad (32-2)$$

حيث:

h : الخطوة المعتمدة ($h = 1, 2, 3, \dots, n$)

من أجل $h = 1$ ، يتم الحصول على القيم الآتية من أجل الجهود من 20kV وحتى 66kV

$$\Delta U^{(0)} = -\frac{1 \times (-0.084)}{0.085} = 0.98$$

$$\Delta F^{(0)} = -\frac{1 \times (-0.017)}{0.085} = 0.202$$

من أجل $h = 10$ يتم الحصول على القيم الآتية من أجل الجهود من 110kV وحتى 230kV

$$\Delta U^{(0)} = -\frac{10 \times (1.34)}{1.34} = -10$$

$$\Delta F^{(0)} = -\frac{10 \times (0.052)}{1.34} = -0.388$$

وبعد ذلك يتم تغيير قيم المتغيرات ΔU ، ΔF حتى تصبح إشاره هذه المتغيرات متناسبة مع تخفيض الدالة المصغرة Z_L . وعند القيم الجديدة المتغيرات ΔU ، ΔF سنحصل على قيم جديدة لـ U ، F .

من أجل مجال جهد من 20kV وحتى 66kV نحصل على:

$$U^{(1)} = U^{(0)} + \Delta U^{(0)} = 20 + 0.98 = 20.98kV$$

$$F^{(1)} = F^{(0)} + \Delta F^{(0)} = 70 + 0.202 = 70.202mm^2$$

من أجل مجال جهد من 110kV وحتى 230kV نحصل على:

$$U^{(1)} = U^{(0)} + \Delta U^{(0)} = 230 - 10 = 220kV$$

$$F^{(1)} = F^{(0)} + \Delta F^{(0)} = 240 - 0.388 = 239.612mm^2$$

وبعد ذلك تُكرر خطوات تغيير جديدة لقيم الجهد ومقطع النواقل، وتستمر حتى تصبح قيم الجهد ومقطع النواقل قريبة من الحد الاعظمي أو الاصغري.

تتضمن الجداول (2-2)، (3-2)، (4-2) نتائج الحسابات المنفذة بالعلاقة (2-2) مع الاخذ بالاعتبار نمو استطاعة الحمل بمقدار مرتين وثلاث وأربع مرات على التوالي:

الجدول (2-2): قيم الجهد الاسمي ومقطع النواقل لنظام الإدخال العميق عند نمو الحمل الابتدائي لمركز التوزيع بمقدار 2 مرة

تسمية العوامل	قيمة خطوة التكرار h					
	1	2	3	4	5	2
رقم التكرار n	1	2	3	4	5	6
$U^{(n-1)}kV$	20	20.98	21.696	24.696	28.696	33.676
$F^{(n-1)}mm^2$	70	70.202	72.182	72.662	72.902	73.292
$\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)^{n-1}$	- 0.084	- 0.0038	-0.01	0.21	0.332	0.425
$\left(\frac{dZ_L}{dF}\right)^{n-1}$	- 0.017	0.0099	- 0.0016	0.013	0.026	0.036
$\Delta U^{(n-1)}$	0.98	0.716	3	-4	-4.98	-1.99
$\Delta F^{(n-1)}$	0.202	1.98	0.48	-0.24	-0.39	-1.169
$ gradZ_L $	0.085	0.01	0.01	0.21	0.333	0.426

الجدول (2-3): قيم الجهد الاسمي ومقطع النواقل لنظام الإدخال العميق عند نمو

الحمل الابتدائي لمركز التوزيع بمقدار 3 مرة

تسمية العوامل	قيمة خطوة التكرار h					
	1	2	3	4	5	2
رقم التكرار n	1	2	3	4	5	6
$U^{(n-1)}kV$	20	20.98	22.95 5	25.85 3	29.73 4	33.96
$F^{(n-1)}mm^2$	70	70.14 6	70.45 9	71.23 1	72.19 1	74.85 4
$\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)^{n-1}$	- 1.738 7	-1.43	- 0.663 8	- 0.491	- 0.116	0.134
$\left(\frac{dZ_L}{dF}\right)^{n-1}$	- 0.257 4	- 0.227	- 0.177	- 0.122	- 0.073	- 0.034
$\Delta U^{(n-1)}$	0.98	1.975	2.898	3.88	4.23	-1.93
$\Delta F^{(n-1)}$	0.146	0.313	0.772 9	0.96	2.66	0.49
$ gradZ_L $	1.757	1.447	0.686	0.505	0.137	0.138

الجدول (2-4): قيم الجهد الاسمي ومقطع النواقل لنظام الإدخال العميق عند نمو الحمل الابتدائي لمركز التوزيع بمقدار 4 مرة

تسمية العوامل	قيمة خطوة التكرار h					
	1	2	3	4	5	1
رقم التكرار n	1	2	3	4	5	6
$U^{(n-1)}kV$	20	20.98	22.95	25.906	29.823	34.647
$F^{(n-1)}mm^2$	70	70.144	70.448	70.958	71.764	73.077
$\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)^{n-1}$	- 4.507	-3.814	-2.76	-1.724	-0.9	-0.32
$\left(\frac{dZ_L}{dF}\right)^{n-1}$	- 0.657	-0.588	-0.477	-0.355	-0.245	-0.157
$\Delta U^{(n-1)}$	0.98	1.97	2.95	3.917	4.824	0.89
$\Delta F^{(n-1)}$	0.144	0.304	0.51	0.806	1.313	0.44
$ gradZ_L $	4.554	3.859	2.8	1.76	0.932	0.356

ويتضمن الجدول (2-5) نتائج الحسابات المنفذة بالعلاقة (2-23) مع الاخذ بالاعتبار نمو استطاعة الحمل بمقدار 4 مرات:

الجدول (2-5): قيم الجهد الاسمي ومقطع النواقل لنظام الإدخال العميق بجهود 110kV وحتى 230kV عند نمو الحمل الابتدائي لمركز التوزيع بمقدار 4 مرة

تسمية العوامل	قيمة خطوة التكرار h				
	10	20	30	50	0
رقم التكرار n	1	2	3	4	5
$U^{(n-1)}kV$	230	220	190	160	110
$F^{(n-1)}mm^2$	240	239.612	238.808	237.51	235.066
$\left(\frac{dZ_L}{dU}\right)^{n-1}$	1.34	1.294	1.2	1.063	0.832
$\left(\frac{dZ_L}{dF}\right)^{n-1}$	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052
$\Delta U^{(n-1)}$	-10	20	-30	-50	0
$\Delta F^{(n-1)}$	-0.388	-0.803	-1.298	-2.445	0
$ gradZ_L $	1.34	1.295	1.201	1.064	0.833

يتضح من الجدول (2-2)، (2-3)، (2-4)، (2-5) أن الحل الامثل يكون من أجل جهد 66kV ومقطع نواقل $70mm^2$ في حال دراسة نظامي جهود 20kV و 66kV. ويكون أيضاً من أجل جهد 110kV ومقطع نواقل $240mm^2$ في حال دراسة نظامي جهود 110kV و 230kV.

6- نتائج البحث:

في هذا البحث تم التوصل إلى النقاط التالية:

- ❖ إنشاء المناطق الاقتصادية الملائمة لقيم للجهد الاسمي لنظام الادخال العميق لتأمين التغذية الكهربائية للمستهلكين عبر مراكز التوزيع الخاصة بشبكة المدينة الكهربائية.
- ❖ من اجل مسافة نقل حتى 3.6Km يكون بناء نظام الادخال العميق غير ملائم، أما عند طول خطوط تغذية أكبر من 3.6Km فيتم اتخاذ قرار بناء نظام ادخال عميق حصراً حسب قيمه الاستطاعة المنقولة
- ❖ بالمقارنة مع المراجع العلمية، يُستحسن اختيار جهود لنظام الادخال العميق بحيث تكون القيم المختارة أعلى بدرجة او درجتين من الجهود الاسمية.
- ❖ عند نمو حمل بمقدار 2 إلى 4 مرات لخطوط التغذية ذات الجهد 6kV ولمسافه نقل حتى 20Km يكون بناء نظام الادخال العميق باستخدام كابل ذات جهد 66kV غير ملائماً، أما عند نمو حمل خطوط التغذية بمقدار 2 مره، ومن أجل نفس مسافة النقل المعتبرة 20Km تكون هذه النتيجة صالحة باستخدام كابلات ذات جهد 20kV لبناء نظام ادخال عميق.
- ❖ ان نظام الادخال العميق باستخدام كابلات ذات جهد 20kV يكون فعالاً عند نمو حمل خطوط التغذية بمقدار 3، 4 مرات ولمسافه نقل أكبر 5.5Km, 9Km على التوالي يكون مقطع الناقل للكابل 150mm^2
- ❖ عند اعتبار ثمن الأرض المقطعة (الشبكة الهوائية) لبناء نظام الإدخال العميق والذي يسبب الزيادة في كلفة البناء بأكثر من 1.25, 2.45, 3.6 مرة فلا يؤمن فعالية إدخال جهد اسمي عالي إلى مركز التوزيع.
- ❖ إن الاختيار المشترك لقيم الجهد الاسمي ومقطع النواقل لنظام الإدخال العميق بناء على استخدام طريقة لاغرانج يؤمن كثافة تيار أصغرية في نواقل الخطوط وبالتالي ضياعات طاقة كهربائية أقل عند نقل هذه الطاقة.

7- المراجع العلمية

- [1] كتاب تصميم الشبكات الكهربائية - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - منشورات جامعة البعث - طبعة 2018 - تأليف أ.د. مسلم العبدالله - أ.د. أسامة خياط - د. فراس الخليل
- [2] كتاب اقتصاديات الشبكات الكهربائية - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - منشورات جامعة البعث - طبعة 2012 - تأليف أ.د. أسامة خياط - د. فراس الخليل
- [3] كازلوف ف. أ. التغذية الكهربائية للمدن - بطرسبورغ - 1986
- [4] كوزنيتسوف ف.س. التغذية الكهربائية والانارة الكهربائية للمدن - موسكو - 1989
- [5] دليل الاستهلاك الكهربائي في الصناعة / مينينا غ.ب ، كابيلا فيوف.ف - موسكو ، 1987
- [6] HUGOUD (Ph.). - Régulateurs primaires de tension des groupes de production. Journée d'études SEE du 29 nov. 1984.
- [7] Eto, J., W. Brumsickle, and D. Divan. 2003. Pilot Evaluation of Power Quality and Reliability Monitoring in California's Silicon Valley with the I-Grid System. Forthcoming.
- [8] Electrotek, Inc. 1996. An Assessment of Distribution System Power Quality; Volumes 1-3. EPRI TR-106294-V1-3. Palo Alto, CA.
- [9] EPRI. 2003. Power Quality and Energy Measurement System Independent Evaluation Center: Test Results of Five Power Quality Monitors. EPRI, Palo Alto, CA: 2003.

- [10] Duthaler, C., Emery, M., Andersson, G. et Kurziden, M. (2008) 'Analysis of the Use of PTDF in the UCTE Transmission Grid', PSC Conference.
- [11] Fradi, A., Brigone, S. et Wollenberg, B.F. (2001) 'Calculation of Energy Transaction Allocation Factors', IEEE Transactions on Power Systems, vol. 16, no. 2, Juin, pp. 266–272.
- [12] Gyugyi, L. (1991) 'A unified power flow control for flexible AC transmission systems', International conference on AC–DC power transmission, Londres, 323–331.
- [13] I.G. Damousis, A.G. Bakirtzis, P.S. Dokopoulos, A solution to the unit–commitment problem using integer–coded genetic algorithm, IEEE Trans. Power Syst. 19 (2004) 1165–1172.
- [14] Y. G.Rebours, D. S.Kirschen, M. Trotignon and S. Rossignol, „A survey of Frequency and Voltage Control Ancillary Service–Part II: Technical Feature“, IEEE transaction on power system, Vol.22, N°1., February 2007.
- [15] Winjnbergen, S.; de Haan, S.W.H.; Slootweg, J.G. “A System for Dispersed Generator Participation in Voltage Control and Primary Frequency Control of the grid”, Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC '05. IEEE 36th, 2005 Page(s):2918 – 2924
- [16] Kumar, A., Srivastava, S. et Singh, S. (2005) 'Congestion management in competitive power market : A bibliographical

survey', Electric Power Systems Research, vol. 76, Septembre, pp. 153–164.

[17] PAVELLA (M.), ERNST (D.) et RUIZ-VEGA (D.). – Transient stability of Power Systems. Kluwer (2000).

[18] KUNDUR (P.). – Power System Stability and Control. MacGraw–Hill (1994).

[19] IEEE/CIGRE. – Definition and classification of Power System Stability IEEE Trans. PAS – 19, n° 2,, mai 2004.

[20] SEMI. 2000. Standard SEMI F47–0200, Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity.

[21] U.S. Department of Energy (DOE). 2002. National Transmission Grid Study. May. Washington, DC.

[22] C.C.A. Rajan, M.R. Mohan and K. Manivannan ‘‘Neural–based tabu search method for solving unit commitment problem’’IEE Proceedings–Generation, transmission and Distribution, India, July 2003, pp.469–474.

[23] C.P. Chang, C.W. Liu and C.C. Liu, Unit commitment by Lagrangian relaxation and genetic algorithms, IEEE Trans Power Syst 15 (2000) (2), pp. 707–714.

[24] T. Senjyu, H. Yamashiro, K. Uezato, T. Funabashi, A unit commitment problem by using genetic algorithm based on unit characteristic classification, IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting 1 (2002) 58–63.