

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية و  
الكهربائية و المعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 10

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. هائل الطالب

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : [www.albaath-univ.edu.sy](http://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 ( كتابية مختزلة ) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.  
مثال على ذلك:

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

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

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

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون 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 (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
38-11	د.م. بسيم عمران	دراسة وتصميم نظام تنبؤ بخرج منظومة طاقة شمسية في محافظة حمص بالاعتماد على القياسات وتقنيات تعلم الآلة
64-39	د.م. علي زيد أحمد حجي العيسى	دراسة وتقييم أداء نظام النفاذ المتعدد <i>DFI-FBMC</i> في الجيل الخامس للاتصالات الخلوية
90-65	د. غسان ابراهيم د. رامي موسى بتول الساطي	تحليل أداء المولد التحريضي مضاعف التغذية أثناء هبوط التوتر في الشبكة
130-91	د. هيثم وردة ياسين دعبول	دراسة تحليلية لتحديد الإجهادات في شريحة معدنية في عملية السحب العميق في قالب بزواوية ميل ابتدائية





# دراسة وتصميم نظام تنبؤ بخرج منظومة طاقة شمسية في محافظة حمص بالاعتماد على القياسات وتقنيات تعلم الآلة

د.م. بسيم عمران

أستاذ مساعد في قسم هندسة التحكم الآلي والحواسيب

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

## الملخص

يعد التنبؤ بالسلوك المستقبلي لمحطات الطاقة البديلة من أهم التحديات التي تواجه اعتماد هذه الاستراتيجية، حيث تعتبر أنظمة توليد الطاقة البديلة المعتمدة على الألواح الشمسية الأكثر انتشاراً في المجتمع السوري في الظروف الراهنة، والتي بدورها تعتمد بشكل رئيسي على متغيرات المناخ التي لا تأخذ بعين الاعتبار في أنظمة التنبؤ. يهدف هذا البحث الى تصميم نظام تنبؤ مستقبلي لنظام توليد طاقة بديلة يعتمد على تقنية الألواح الشمسية باستخدام تقنيات تعلم الآلة. تم استخدام نموذج الشبكة العصبونية العميقة (DNN) للتنبؤ بخرج الطاقة لمحطة توليد طاقة بديلة حقيقية تقع في محافظة حمص. في هذا البحث تم تصميم شبكة عصبونية عميقة وتنفيذها باستخدام ثلاث قواعد بيانات، قاعدة البيانات الأولى عبارة عن قاعدة بيانات عالمية متواجدة على منصة kaggle وتم استخدامها لتدريب الشبكة العصبونية العميقة، قاعدة البيانات الثانية أيضاً قاعدة بيانات عالمية متواجدة على ذات المنصة، أما قاعدة البيانات الثالثة فهي عبارة عن قاعدة بيانات تم تجميعها

دراسة وتصميم نظام تنبؤ بخرج منظومة طاقة شمسية في محافظة حمص بالاعتماد على القياسات وتقنيات تعلم الآلة

من موقع العمل وتم استخدامها للتحقق من دقة النموذج المصمم واختبار المنظومة. تظهر النتائج انه يمكن الاعتماد على متغيرات المناخ وخرج المنظومة وتقنيات التعلم الآلي للتنبؤ المستقبلي بمخرجات نظام طاقة بديلة معتمد على الألواح الشمسية مع خطأ اقل من 8%.

## الكلمات المفتاحية

أنظمة الطاقة البديلة، الألواح الشمسية، تقنيات تعلم الآلة، الشبكات العصبونية العميقة، متغيرات المناخ.

## Study and design of a prediction system for an alternative energy system based on machine learning techniques in Homs governorate

**Dr .BASSIM OUMRAN**

**Assistant Professor in the Department of Automation and Computer Enginerring**

**Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – AL BAATH University**

### Abstract

Predicting the future behavior of alternative energy plants is one of the most important challenges facing the adoption of this strategy, as alternative energy generation systems based on

solar panels are considered the most prevalent in the Syrian society in the current conditions, which in turn depend mainly on climate variables that are not taken into account in the systems Forecasting. This research aims to design a future prediction system for an alternative energy generation system based on solar panel technology using machine learning techniques. The deep neural network (DNN) model was used to predict the power output of a real alternative power plant located in Homs Governorate. In this research, a deep neural network was designed and implemented using three databases, the first database is a global database located on the kaggle platform and was used to train the deep neural network, the second database is also a global database located on the same platform, and the third database is It is a database collected from the job site and used to verify the accuracy of the designed model and test the system. The results show that it is possible to rely on climate variables, system output and machine learning techniques to predict the future outputs of an alternative energy system based on solar panels with an error of less than 8%.

### **Keywords**

Alternative energy systems, solar panels, machine learning techniques, deep neural networks, climate variables.

## 1. المقدمة

يعد الإقبال المتزايد على أنظمة الطاقة البديلة المتجددة من القضايا المهمة التي يتعامل معها المجتمع السوري في عام 2021، ومن المتوقع أن يزداد الاعتماد على الطاقة المتجددة بشكل كبير خلال الأعوام التالية وذلك لتقليل استخدام الوقود الأحفوري وترشيد استخدامه، ومن المتوقع أن تمثل الطاقة الشمسية الكهروضوئية والرياح أهم مصادر الطاقة البديلة المتجددة [5].

تعتمد معظم أنظمة الطاقة المتجددة على الظروف الجوية لتوليد الطاقة الكهربائية، ويعد الإشعاع الشمسي العامل الرئيسي الذي يتحكم في خرج أنظمة الطاقة الشمسية بالإضافة إلى متغيرات أخرى مثل درجة حرارة الهواء والرطوبة وسرعة الرياح وغيرها والتي تؤثر أيضا على أداء المنظومة [12].

قامت العديد من الدراسات السابقة بالتنبؤ بالمتغيرات المتعلقة بأنظمة الطاقة البديلة باستخدام تقنيات تعلم الآلة. في [3] تم استخدام الشبكات العصبونية متعددة الطبقات والبرمجة الجينية للتنبؤ بالإشعاع الشمسي في أنظمة الطاقة الشمسية وتم مقارنة أداء المنظومة باستخدام كلٍ من التقنيتين. في [6] تم استخدام تقنيات تعلم الآلة والانحدار للتنبؤ بخرج الطاقة لمنظومة الطاقة الشمسية. في [9] تم تصميم شبكة عصبونية تعتمد على تغييرات الأحوال المناخية للتنبؤ بخرج الطاقة لمنظومة طاقة شمسية. في [10] تم استخدام الشبكات العصبونية التلافيفية للتنبؤ بدرجة حرارة وسرعة الرياح ودراسة تأثيرها على أنظمة الطاقة الشمسية. في [4] تم استخدام تقنية SVM للتنبؤ بمتغيرات الأحوال الجوية وذلك بالاعتماد على بيانات

وكالة الأرصاد الجوية اليابانية. في [13] يتم تقديم دراسة مرجعية شاملة لتقنيات التعلم الآلي للتنبؤ بخرج أنظمة الطاقة الشمسية.

تعد الشبكات العصبونية من أكثر تقنيات التعلم الآلي استخداما للتنبؤ في أنظمة الطاقة المتجددة البديلة بشكل عام [9].

في هذه الدراسة تم تصميم نظام تنبؤ بخرج الطاقة لمنظومة طاقة شمسية حقيقية في محافظة حمص بالاعتماد على الشبكات العصبونية العميقة، الفكرة الأساسية في هذه الدراسة هي تقييم أداء منظومة الطاقة الشمسية في الموقع المدروس في محافظة حمص وذلك بالاعتماد على بيانات الطقس والشبكات العصبونية العميقة، حيث تم استخدام ثلاث مجموعات من البيانات لتصميم نظام التنبؤ ، قاعدة البيانات الأولى عبارة عن قاعدة بيانات عالمية متواجدة على منصة kaggle وتم استخدامها لتدريب الشبكة العصبونية العميقة، قاعدة البيانات الثانية أيضا قاعدة بيانات عالمية متواجدة على ذات المنصة، أما قاعدة البيانات الثالثة فهي عبارة عن قاعدة بيانات تم تجميعها من موقع العمل في محافظة حمص وتم استخدامها للتحقق من دقة النموذج المصمم وتقييم أداء المنظومة.

## 2. هدف البحث

يهدف هذا البحث الى دراسة وتصميم نظام تنبؤ بخرج الطاقة لمنظومة طاقة شمسية في محافظة حمص بالاعتماد على تقنيات التعلم الآلي وقياسات بيانات الطقس مثل درجة حرارة الهواء والرطوبة وسرعة الرياح وغيرها من متغيرات هامة.

## 3. الدراسات السابقة

قام الباحثون في المرجع [8] باستخدام الشبكات العصبونية العادية ANN للتنبؤ بخرج منظومة طاقة شمسية، تم تصميم شبكة عصبونية مؤلفة من 5 عصبونات في طبقة الدخل، وعصبون واحد في طبقة الخرج والذي يعبر عن خرج الطاقة المتنبئ به، كما تم استخدام 30 عصبون في الطبقة الخفية. قام الباحثون في المرجع [4] باستخدام الشبكات العصبونية Elmann ANN، والذي يتميز بتغذية أمامية عكسية من طبقة الخرج الى طبقة الدخل، في هذه الدراسة تم تصميم شبكة عصبونية مؤلفة من ثلاث طبقات، طبقة الدخل وتتكون من عصبون واحد، وطبقة الخرج المكونة أيضا من عصبون واحد، والطبقة الخفية المكونة من 5 عصبونات. في المرجع [7] تم استخدام الشبكات العصبونية الديناميكية NAR لتنبؤ بخرج الطاقة لمنظومة كهروضوئية هجينة، قام الباحثون بتصميم شبكتين عصبونيتين للتنبؤ بمتغيرات الطقس وهي الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء كما تم تصميم شبكة عصبونية ANN والتي تأخذ خرج الشبكتين العصبونيتين في المرحلة السابقة كمدخل لها، ويمثل خرج هذه الطبقة خرج المنظومة أي الطاقة المتنبئ بها. في المرجع [11] تم استخدام كل من الشبكات العصبونية العادية والخوارزميات الجينية بنموذج هجين للتنبؤ بخرج منظومة الطاقة الشمسية، ولكن تجدر الإشارة الى انه في هذه الدراسة تم استخدام قواعد بيانات مختلفة عن القواعد المستخدمة في هذا البحث.

#### 4. المواد وطرق البحث

يقع النظام الشمسي الذي تم تحليله في محافظة حمص ويغطي مساحة إجمالية قدرها 120 م<sup>2</sup>، ويتألف من 30 وحدة سيليكونية باستطاعة 465 واط للوح الواحد وبزاوية ميلان 30 درجة، وباستطاعة اسمية 13950 واط، واستطاعة فعلية 9765 واط.

#### 5. تجميع ومعالجة البيانات

تم إجراء هذا البحث خلال شهري الربيع وشهور الصيف من عام 2021 في الفترة الزمنية الممتدة من بداية شهر أذار الى بداية شهر آب، وتم تجميع البيانات باستخدام حساس LP-PYRA02 لقياس متوسط الإشعاع الشمسي خلال الساعة الواحدة، وحساس PT100 لقياس كل من درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة الألواح. بالإضافة الى ذلك تم استخدام متغيرين إضافيين وهما الساعة التي تم عندها التقاط البيانات خلال اليوم بمجال من 0 الى 23 والساعة خلال العام بمجال من 0 الى 8759، وذلك بغرض دراسة تأثير موقع الشمس على كمية الإشعاع الشمسي. وبذلك يكون دخل المنظومة مكون من 6 مداخل كما هو موضح بالجدول 1. ونظراً لكون البيانات قد تم تجميعها من حساسات فانه غالباً ما تحتوي البيانات المجمعّة على بيانات مفقودة وذلك نتيجة لعدم وجود إشعاع شمسي خلال ساعات الليل، وبما أنه لا يوجد إنتاج طاقة من المنظومة خلال ساعات الليل فان

فقدان هذه البيانات لا يشكل مشكلة للبحث، لذلك تم إزالة جميع السجلات التي تحتوي على بيانات مفقودة.

الجدول 1: دخل النموذج المصمم

DATE	اليوم الذي تم فيه التقاط البيانات
HOUR_DAY	الساعة خلال اليوم التي تم فيها التقاط البيانات
HOUR_YEAR	الساعة خلال العام التي تم فيها التقاط البيانات
AMBIENT_TEMPERATURE	درجة حرارة الهواء
MODULE_TEMPERATURE	درجة حرارة الألواح
IRRADIATION	الإشعاع الشمسي

## 6. نماذج الشبكات العصبونية العميقة المقترح تصميمها

النموذج المقترح تصميمه من قبل الباحث في هذا البحث هو عبارة عن شبكة عصبونية عميقة مكونة من عدة طبقات مترابطة بشكل كامل وكل طبقة مكونة من عدة خلايا عصبونية، الطبقة الأولى وهي طبقة الدخل والمكونة من ستة خلايا بعدد متغيرات الدخل للمنظومة والموجودة في قواعد البيانات وهي الإشعاع الشمسي

، درجة حرارة الهواء ، درجة حرارة الألواح ، الساعة خلال اليوم، الساعة خلال العام، واليوم الذي تم فيه التقاط البيانات، والطبقة الأخيرة عبارة عن عصبون واحد وهو خرج الطاقة المراد التنبؤ به، ويعتبر كل من طبقة الدخل وطبقة الخرج ذات عدد ثابت من الخلايا العصبونية ، بينما يوجد بين هاتين الطبقتين عدد من الطبقات المخفية ويعتبر عدد هذه الطبقات وعدد الخلايا في كل منها متغير، والذي نسعى لتحسينه للحصول على اقل خطأ وفضل أداء.

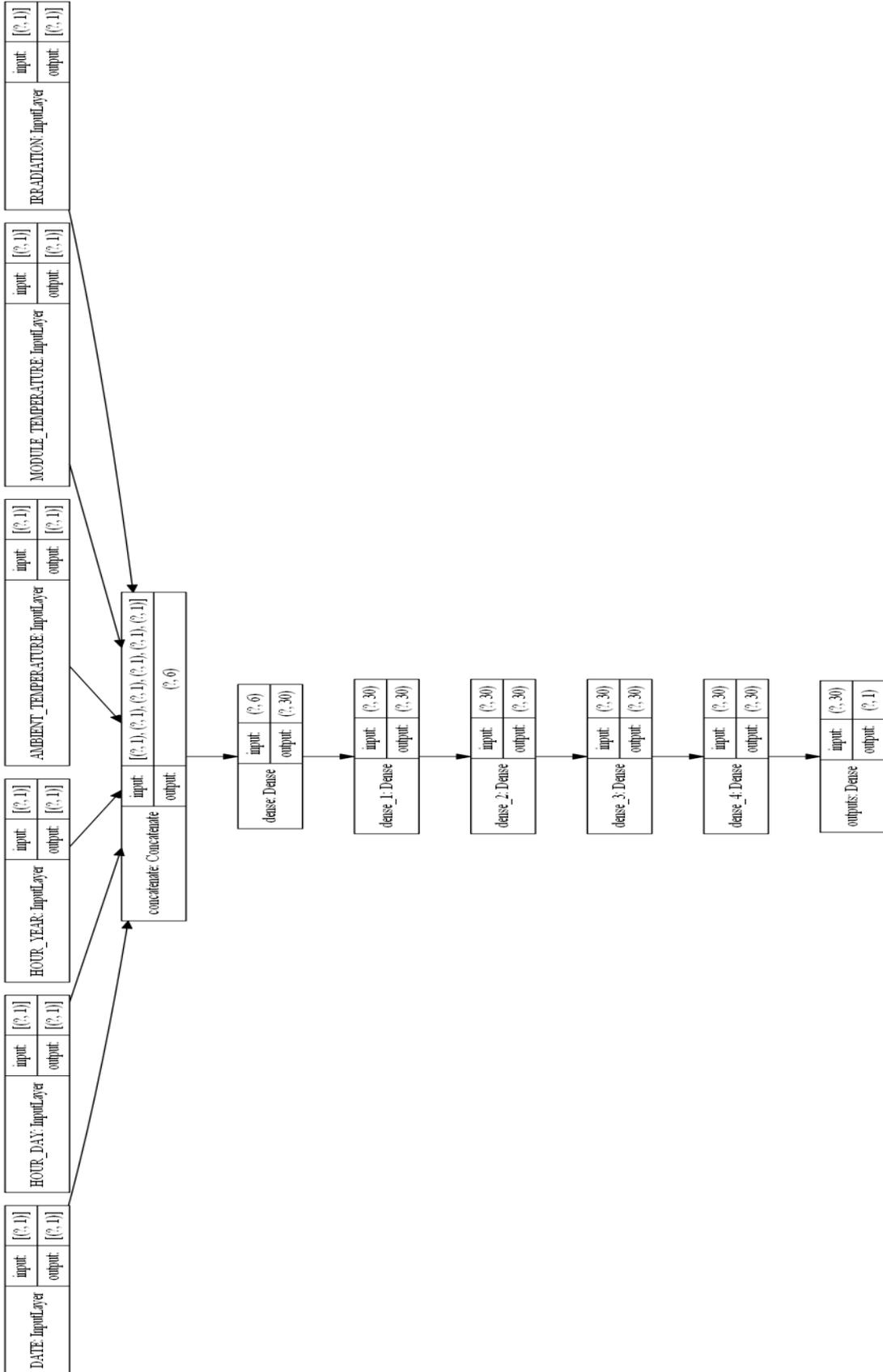
تستخدم الخلايا العصبونية في الطبقات المخفية تابع التنشيط ReLU وتستخدم لتدريب منهجية التعلم الدفعي Batch learning في حين تم اختيار خوارزمية الأمثلة Adam للتدريب. ولتصميم بنية الشبكة العصبونية تم إنشاء عدة نماذج واختبارها لاختيار النموذج الأفضل بينها ومقارنته مع الدراسات السابقة، النموذج الأول وهو عبارة عن شبكة عصبونية عميقة مكونة من خمس طبقات خفية وكل طبقة خفية مكونة من 30 عصبون والطبقات الخفية متصلة فيما بينها بشكل كامل كما هو موضح في الشكل 1، وتم اختيار عدد العصبونات في الطبقات الخفية بناءً على نتائج الدراسات السابقة والتي تم فيها إثبات أن الشبكة العصبونية العادية ذات الطبقة الخفية الواحدة المكونة من 30 عصبون تحقق أفضل النتائج.

النموذج الثاني تم فيه توزيع الدخل على الطبقات الخفية في الشبكة العصبونية المصممة، ونظراً لكون معامل متوسط الإشعاع الشمسي يعد اهم البارامترات المدخلة للشبكة، لذلك تم إدخاله للشبكة العصبونية أولاً وذلك لتتم معالجته أولاً وتميرها لطبقة خفية مكونة من 30 عصبون، ومن ثم يتم إدخال درجة حرارة الألواح وتجميعها مع خرج الطبقة الخفية الأخيرة، ومن ثم يتم تمرير خرج طبقة

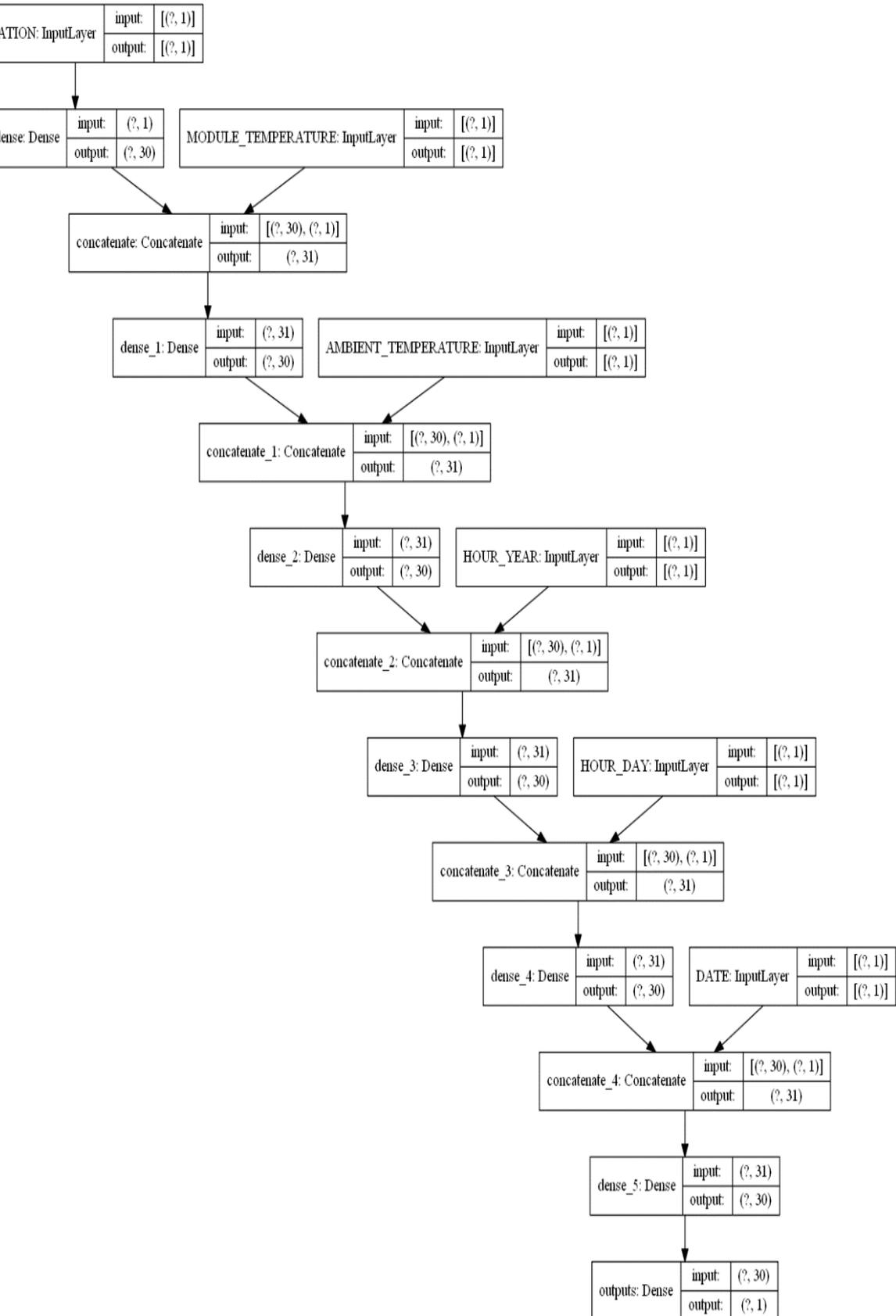
دراسة وتصميم نظام تنبؤ بخرج منظومة طاقة شمسية في محافظة حمص بالاعتماد على القياسات  
وتقنيات تعلم الآلة

---

التجميع الى طبقة خفية ليتم معالجتها بواسطة 30 عصبون، وكذلك الأمر بالنسبة  
للإدخالات الأخرى كما هو موضّح الشكل 2.

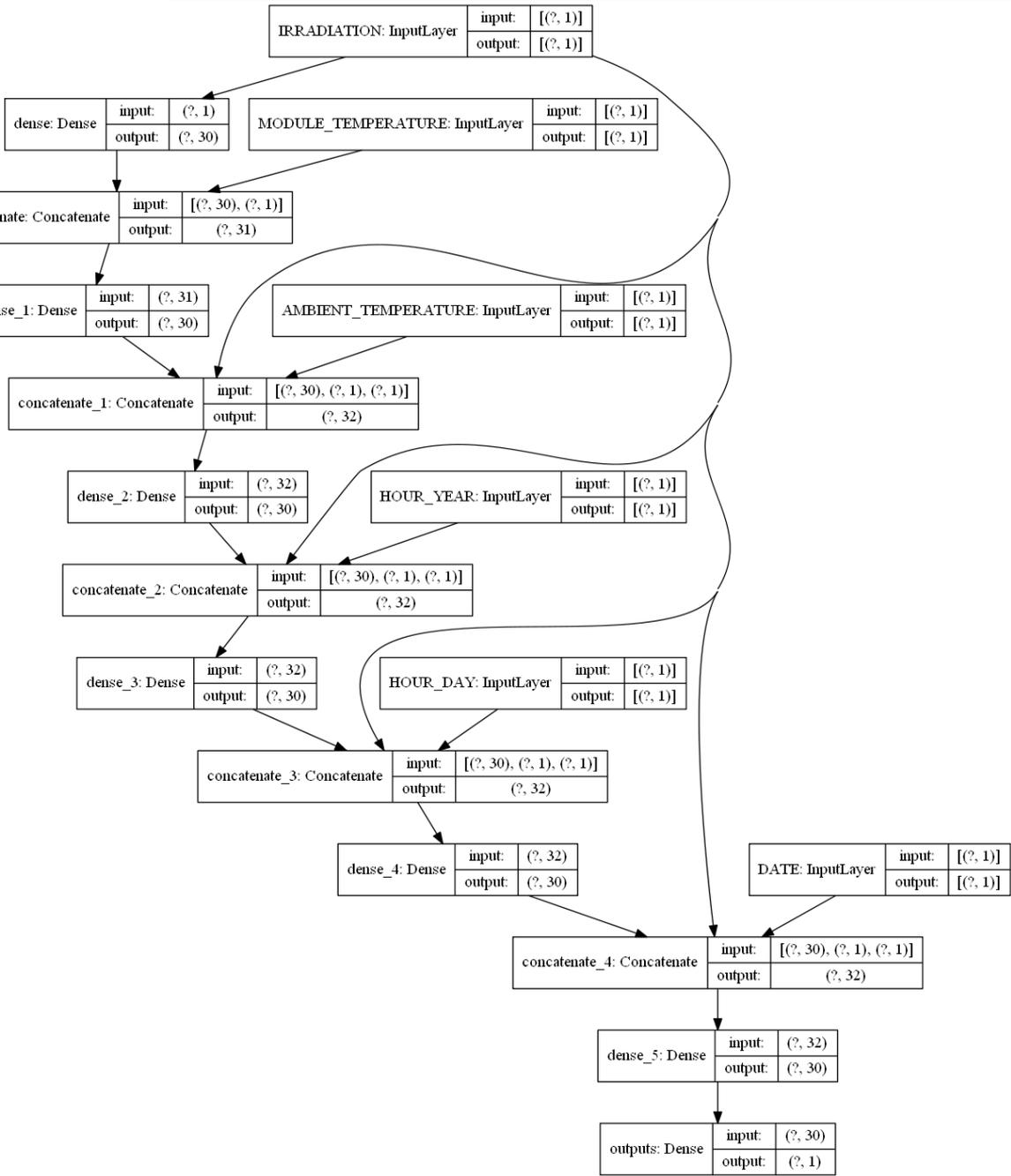


الشكل 1 النموذج الأول للشبكة العصبونية المصممة



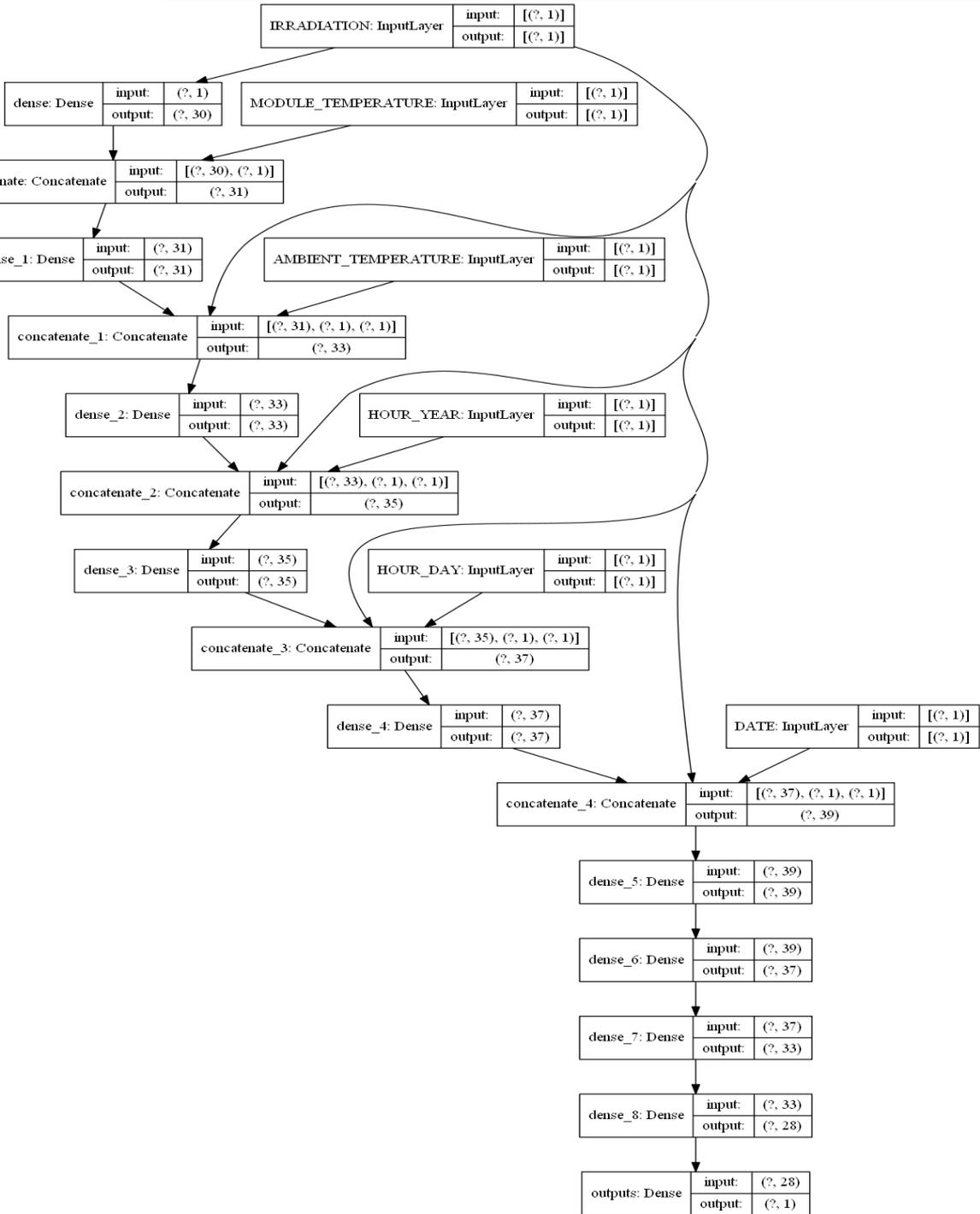
### الشكل 2 النموذج الثاني للشبكة العصبونية المصممة

النموذج الثالث عبارة عن تطوير للنموذج الثاني ولكن نظراً لأهمية بارامتر شدة الإشعاع الشمسي تم اقتراح تمريره الى كافة الطبقات الخفية وذلك بهدف زيادة معالجة أهم البارامترات، في حين أنه في طبقة التجميع تم تجميع خرج المرحلة السابقة المكون من 30 خرج مع الدخل الجديد بالإضافة الى بارامتر شدة الإشعاع الشمسي، وبذلك يكون خرج طبقة التجميع 32 خرج والتي يتم تمريرها الى الطبقة الخفية المكونة من 30 عصبوناً لتتم معالجتها كما هو موضّح الشكل 3.



الشكل 3 النموذج الثالث للشبكة العصبونية المصممة

إن خرج طبقة التجميع في النموذج الثالث عبارة عن 32 عصبوناً والتي يتم تمريرها الى 30 عصبوناً في الطبقة الخفية في كل مرحلة، وهذا ما يؤدي الى تقليل أداء المعالجة نظراً لتقليل العصبونات في كل مرحلة ومن ثم زيادتها، لذلك تم اقتراح تعديل تصميم النموذج الثالث كما هو موضّح الشكل 4.



الشكل 4 النموذج الرابع للشبكة العصبونية المصممة

## 7. تدريب واختبار النماذج الأربعة المصممة

تم في هذا البحث استخدام ثلاث مجموعات من البيانات لتصميم نظام التنبؤ، قاعدة البيانات الأولى عبارة عن قاعدة بيانات عالمية متواجدة على منصة kaggle وتم استخدامها لتدريب الشبكة العصبونية العميقة، قاعدة البيانات الثانية أيضاً قاعدة بيانات عالمية متواجدة على ذات المنصة وتم استخدامها لاختبار الشبكة العصبونية العميقة، أما قاعدة البيانات الثالثة فهي عبارة عن قاعدة بيانات تم تجميعها من موقع العمل في محافظة حمص وتم استخدامها للتحقق من دقة النموذج المصمم وتقييم أداء المنظومة. ولكل من قواعد البيانات الثلاث ذات الهيكلية حيث تحتوي قاعدة البيانات على 6 بارامترات وهي شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الألواح ودرجة حرارة الهواء وتعد هذه البارامترات أهم مداخل المنظومة، ومن ثم اليوم الذي تم فيه التقاط البيانات والساعة خلال اليوم والساعة خلال العام.

تم تدريب واختبار النماذج الأربعة بالاعتماد على قواعد البيانات الثلاث المذكورة سابقاً، وباستخدام البارامترات الست المذكورة سابقاً أيضاً.

### 7. محددات الخطأ المستخدمة لتقييم أداء العمل

تستخدم ثلاثة مقاييس خطأ لتقييم أداء نموذج الشبكة العصبونية العميقة المصممة عند التنبؤ بخرج الطاقة:

1. متوسط انحياز الخطأ (MBE: mean bias error)

$$MBE = \sum_{i=1}^N \frac{X_i - Y_i}{N} \quad \dots (1)$$

2. جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE: root mean square error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}}$$

3. جذر متوسط مربع الخطأ الطبيعي (NRMSE: normalised root mean

square error

... (3)

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}}}{Y_{max}}$$

حيث أن:

$X_i$ : القيمة التي تم التنبؤ بها (خرج النموذج المصمم)

$Y_i$ : القيمة الحقيقية (المأخوذة من المنظومة)

$N$ : عدد العينات وهو عدد الساعات التي تم خلالها التقاط البيانات

$Y_{max}$ : هي أكبر قيمة لمجموعة البيانات ( $45^\circ\text{C}$  لدرجة الحرارة،  $450 \text{ W/M}^2$

للإشعاع الشمسي و

$9765 \text{ W}$  للإنتاج الكهروضوئية)

## 8. مقارنة النتائج

تمت مقارنة تنبؤات الطاقة الكهروضوئية التي تم الحصول عليها من نموذج

الشبكة العصبونية العميقة المصممة في إطار سيناريوهات التدريب والاختبار مع

القياسات الكهروضوئية الحقيقية المأخوذة من المنظومة. وتمت مقارنة محددات

تقييم الخطأ باستخدام كلٍ من المتوسط الحسابي  $\mu$  والانحراف المعياري  $\sigma$ .

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$$

حيث أن:

$\mu$ : المتوسط الحسابي

$\sigma$ : الانحراف المعياري

$x_i$ : عينات البيانات

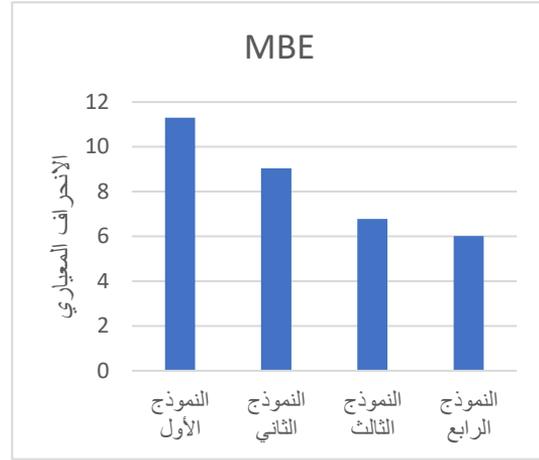
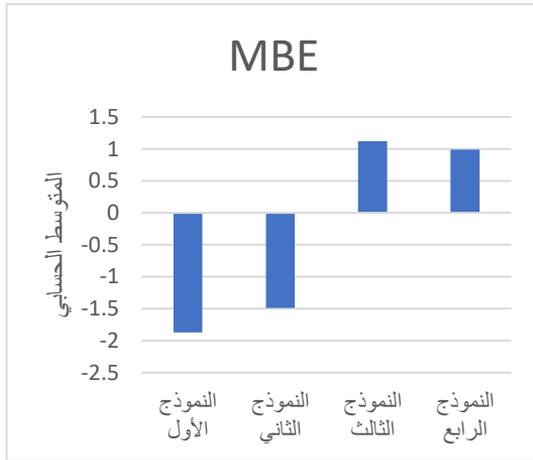
$N$ : عدد العينات

يوضح الجدول 2 مقارنة نتائج كل من النماذج الأربعة المصممة

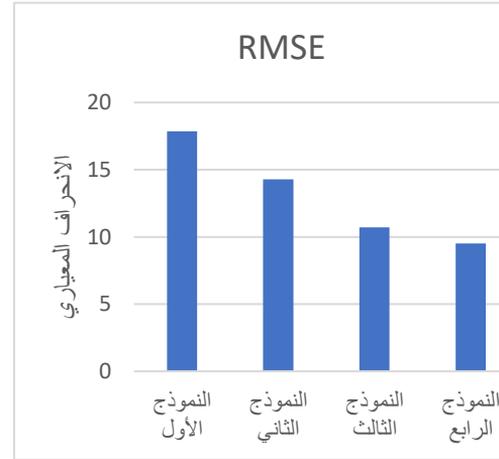
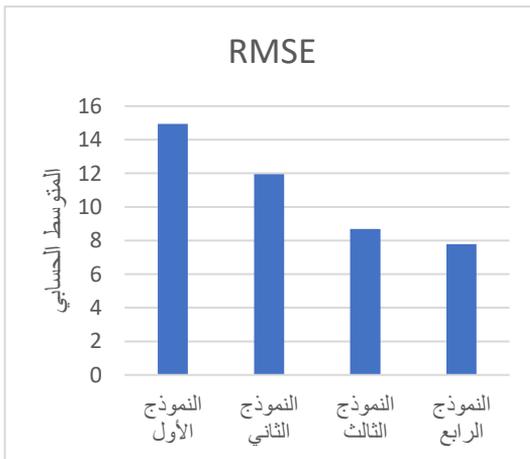
النموذج	MBE		RMSE		NRMSE [%]	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
الأول	-1.87	11.3	14.94	17.86	1.76	2.1
الثاني	-1.49	9.04	11.95	14.28	1.41	1.68
الثالث	1.12	6.78	8.69	10.71	1.05	1.26
الرابع	0.99	6.02	7.79	9.52	0.94	1.12

الجدول 2 نتائج اختبار النماذج الأربعة

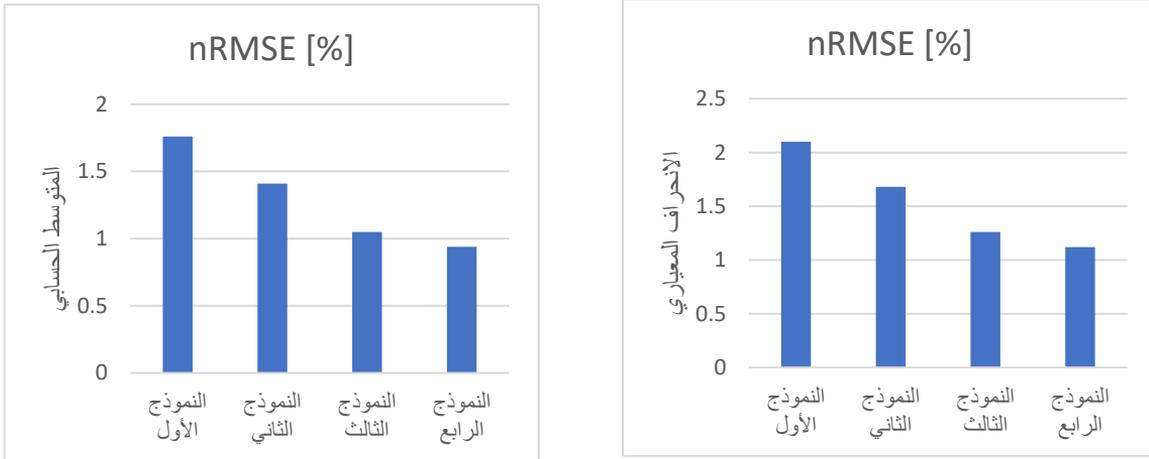
يشير MBE و RMSE إلى مقدار متوسط الخطأ حيث يصف MBE اتجاه انحياز الخطأ وترتبط قيمة بحجم عينة البحث، ولكنهما لا يقدمان معلومات نسبة متوسط الفرق وهذا ما يقدمه NRMSE. تكون قيمة MBE سلبية عندما تكون قيم التنبؤات أقل قيمة من القيم الحقيقية وهو ما نلاحظه في كل من النموذج الأول والثاني. توضح الأشكال (5,6,7) مقارنة النتائج المذكورة في الجدول 2



الشكل 5 مقارنة قيم MBE



الشكل 6 مقارنة قيم RMSE



الشكل 7 مقارنة قيم  $nRMSE$

من مقارنة النتائج السابقة نلاحظ أن النموذج الرابع يحقق اقل نسبة خطأ ويتفوق على النماذج الثلاث الأخرى، حيث يحقق النموذج الرابع خطأ بمعدل 780w تقريباً وهو ما يعادل 8% ويقابل  $NRMSE=1.12\%$ ، في حين يحقق النموذج الثالث خطأ بمعدل 880w وهو ما يعادل 9% ويقابل  $NRMSE=1.26\%$ ، أما النموذج الثاني يحقق خطأ بمعدل 1170 w وهو ما يعادل 12% ويقابل  $NRMSE=1.68\%$ ، وأخيراً النموذج الأول يحقق نسبة خطأ بمعدل 1460w وهو ما يعادل 15% ويقابل  $NRMSE=1.12\%$ .

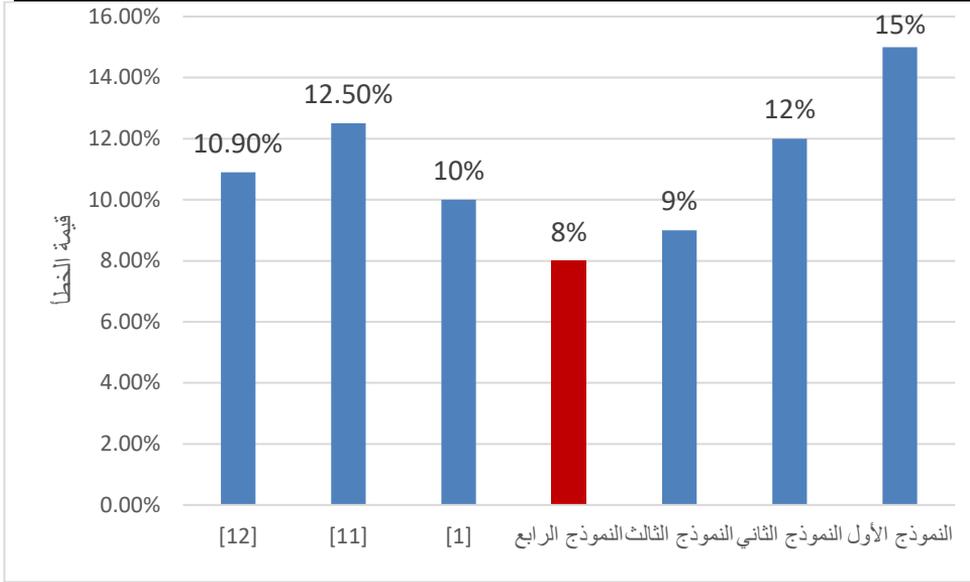
يوضح الجدول (3) مقارنة قيم الخطأ للنماذج المدروسة مع الدراسات المرجعية. حيث حققت الدراسة في المرجع [8] خطأ بمعدل اقل من 10% كقيمة عظمى وهو ما يقابل خطأ بنسبة 25kw باستخدام الشبكات العصبونية العادية ANN، في حين حققت الدراسة المرجعية في المرجع [4] خطأ بمعدل 12.5% كقيمة دنيا باستخدام

الشبكات العصبونية Elmann ANN، وفي المرجع [7] تم تحقيق خطأ بمعدل 10.9% كأدنى قيمة وذلك باستخدام الشبكات العصبونية العادية ANN كما هو موضح بالشكل (8)، في المرجع [11] تم استخدام كلا من الشبكات العصبونية العادية والخوارزميات الجينية بنموذج هجين حيث حققت الشبكات العصبونية العادية خطأ بنسبة 142kw والنموذج الهجين 104kw ولكن تجدر الإشارة الى انه في هذه الدراسة تم استخدام قواعد بيانات مختلفة عن القواعد المستخدمة في هذا البحث.

	النموذج الأول	النموذج الثاني	النموذج الثالث	النموذج الرابع	[1]	[11]	[12]
الخطأ	15%	12%	9%	8%	10%	12.5%	10.9%

الجدول 3 مقارنة قيمة الخطأ للنماذج المدروسة مع الدراسات السابقة

دراسة وتصميم نظام تنبؤ بخرج منظومة طاقة شمسية في محافظة حمص بالاعتماد على القياسات وتقنيات تعلم الآلة



الشكل 8 مقارنة قيم الخطأ

## 9. الخلاصة والاستنتاجات

في هذا البحث تم استخدام ثلاث قواعد بيانات لتدريب واختبار والتحقق من النموذج المصمم، وكما تم تصميم أربع نماذج للشبكة العصبونية العميقة، وأثبتت النتائج أن النموذج الرابع يحقق أفضل نسبة خطأ بالمقارنة مع النماذج الأخرى، وكما أوضحت مقارنة النتائج مع الدراسات السابقة أن تقنيات التعلم الآلي وبالتحديد الشبكات العصبونية العميقة تحقق أداء أفضل من الشبكات العصبونية العادية والتقنيات الأخرى وتحقق اقل نسبة خطأ ممكنة.

تم التوصل من خلال هذا البحث الى النتائج التالية:

1. إن النموذج الرابع المصمم أعطى أفضل نتائج من حيث نسبة الخطأ مقارنة مع النماذج الثلاث المصممة وأهم الدراسات المرجعية الموجودة في هذا المجال.
2. إن استخدام تقنيات تعلم الآلة وبالتحديد الشبكات العصبونية العميقة تحقق أداء أفضل من الشبكات العصبونية العادية.

## 10. التوصيات المستقبلية

بالرغم من التقدم الكبير في مجال الأنظمة البديلة إلا انه ما يزال هناك مجال متاح للأبحاث المستقبلية، حيث يمكن أن تركز الأبحاث المستقبلية على البارامترات الأخرى التي لم تأخذ بعين الاعتبار ودراسة تأثيرها على أنظمة الطاقة البديلة، حيث يمكن دراسة تأثير الرياح على تبريد الواح الطاقة وتأثير هطول الأمطار على أداء المنظومة بالإضافة الى تأثير تراكم الأوساخ والغبار على الألواح، كما انه يمكن دراسة أداء ودقة التنبؤ عند استخدام تقنيات أخرى مختلفة من تقنيات التعلم الآلي مثل تقنيات التجميع ودمجها مع الشبكات العصبونية العميقة.

## 11. المراجع

1. Alharthi, Y.Z.; Siddiki, M.K.; Chaudhry, G.M. Resource assessment and techno-economic analysis of a grid-connected solar PV-wind hybrid system for different locations in Saudi Arabia. *Sustainability* 2018, 10, 3690.
2. Antonanzas, J.; Osorio, N.; Escobar, R.; Urraca, R.; Martinez-de-Pison, F.J.; Antonanzas-Torres, F. Review of photovoltaic power forecasting. *Solar Energy* 2016, 136, 78–111, doi:10.1016/j.solener.2016.06.069.
3. De Paiva, G.M.; Pimentel, S.P.; Alvarenga, B.P.; Marra, E.G.; Mussetta, M.; Leva, S. Multiple site intraday solar irradiance

- forecasting by machine learning algorithms: MGGP and MLP neural networks. *Energies* 2020, 13, doi:10.3390/en13113005.
4. Giorgi, M.G.D.; Congedo, P.M.; Malvoni, M. Photovoltaic power forecasting using statistical methods: Impact of weather data. *IET Sci. Meas. Technol.* 2014, 8, 90–97, doi:10.1049/iet-smt.2013.0135.
  5. IEA. *Global Energy Review 2020*; IEA: Paris, France, 2020. Available online: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020> (accessed on October 22, 2020).
  6. Junior, J.G.d.S.F.; Oozeki, T.; Ohtake, H.; Shimose, K.-i.; Takashima, T.; Ogimoto, K. Forecasting regional photovoltaic power generation—A comparison of strategies to obtain one-day-ahead data. *Energy Proc.* 2014, 57, 1337–1345, doi:10.1016/j.egypro.2014.10.124.
  7. Leva, S.; Dolara, A.; Grimaccia, F.; Mussetta, M.; Ogliari, E. Analysis and validation of 24 hours ahead neural network forecasting of photovoltaic output power. *Math. Comput. Simul.* 2017, 131, 88–100, doi:10.1016/j.matcom.2015.05.010.
  8. López Gómez, J., Ogando Martínez, A., Troncoso Pastoriza, F., Febrero Garrido, L., Granada Álvarez, E., & Orosa García, J. A. (2020). Photovoltaic Power Prediction Using Artificial Neural

- Networks and Numerical Weather Data. *Sustainability*, 12(24), 10295.
9. López Gómez, J.; Troncoso Pastoriza, F.; Granada Álvarez, E.; Eguía Oller, P. Comparison between geostatistical interpolation and numerical weather model predictions for meteorological conditions mapping. *Infrastructures* 2020, 5, 15.
10. Mehrkanoon, S. Deep shared representation learning for weather elements forecasting. *Knowledge-Based Syst.* 2019, 179, 120–128, doi:10.1016/j.knosys.2019.05.009.
11. Pedro, H.T.C.; Coimbra, C.F.M. Assessment of forecasting techniques for solar power production with no exogenous inputs. *Solar Energy* 2012, 86, 2017–2028, doi:10.1016/j.solener.2012.04.004.
12. Richardson, W.; Krishnaswami, H.; Vega, R.; Cervantes, M. A low cost, Edge computing, all-sky imager for cloud tracking and intra-hour irradiance forecasting. *Sustainability* 2017, 9, 482.
13. Wang, F.; Mi, Z.; Su, S.; Zhao, H. Short-term solar irradiance forecasting model based on artificial neural network using statistical feature parameters. *Energies* 2012, 5, 1355–1370.

## دراسة وتقييم أداء نظام النفاذ المتعدد

### DFT-FBMC في الجيل الخامس للاتصالات الخلوية

طالب الماجستير: أحمد حجي العيسى

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية - جامعة حلب

إشراف الدكتور: علي زيد

#### ملخص البحث

تحتاج شبكات الجيل الخامس لتلبية احتياجات العديد من الخدمات ذات المتطلبات المختلفة، مما يفرض مرونة عالية على الشكل الموجي المستخدم في الطبقة الفيزيائية بحيث يقابل العديد من التحديات ويحقق متطلبات متنوعة ومتوافقة مع احتياجات الخدمات، يهدف البحث إلى تقديم دراسة نظرية عن تقنية النفاذ المتعدد وتشكيل الموجة DFT-FBMC من خلال إجراء دراسة نظرية مرجعية وتجريبية عبر المحاكاة البرمجية باستخدام برمجية MATLAB تهدف إلى تقييم أداء نظام DFT-FBMC ومقارنته مع نظام OFDM والتركيز على دراسة معدل الخطأ في البت، والكثافة الطيفية مع تغيير نوع المرشح المستخدم في نظام DFT-FBMC. بينت نتائج الدراسة التجريبية أن أداء نظام DFT-FBMC أفضل من نظام OFDM من حيث معدل الخطأ في البت ومن أجل .PAPR.

الكلمات المفتاحية نفاذ متعدد، تقسيم زمن، تقسيم تردد، إرسال متعدد الحوامل، بنك المرشحات، معدل الخطأ في البت، نسبة الإشارة إلى الضجيج، مرشح PHYDYAS، مرشح Hermite

# Study and evaluation of the performance of DFT-FBMC in 5G of cellular communications

## Abstract

Fifth generation networks need to meet the needs of many services with different requirements, which imposes high flexibility on the waveform used in the physical layer so that it meets many challenges and achieves various requirements compatible with the needs of services, the research aims to provide a theoretical study on the technology of multiple access and waveform DFT -FBMC by conducting a theoretical and experimental study via software simulation using MATLAB software aimed at evaluating the performance of the DFT-FBMC system and comparing it with the OFDM system and focusing on studying the bit-error rate, spectral density with changing the type of filter used in the DFT-FBMC system. The results of the pilot study showed that the performance of DFT-FBMC system is better than OFDM system in terms of bit error rate and for PAPR.

**Keywords** multiple access, time division, frequency division, multicarrier transmission, filter bank, bit error rate, signal-to-noise ratio, PHYDYAS filter, Hermite filter

## 1- مقدمة

يتطلب تشارك مستخدمي شبكة ما بالخدمات المتاحة لهم نفاذ عدد كبير ومتغير منهم إلى موارد الشبكة على نحو آني ومتزامن. يقتضي هذا النفاذ الآني توفر آليات مناسبة لتنسيق ولوج المشتركين إلى الشبكة، والأولويات التي يخضعون لها، بحيث يتم تزويد أكبر عدد ممكن منهم بالخدمات، مع إشغال أقل ما يمكن من موارد ومقدرات الشبكة. تستخدم موارد الشبكة الخلوية (التردد - الزمن - الطاقة) لعدة أغراض الأول هو تأمين اتصال مزدوج الاتجاه (Duplexing) والثاني هو تنسيق استخدام المشتركين ضمن الشبكة لهذه الموارد (Multiple Access).

## 2- هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة طرق النفاذ المتعدد بشكل عام والمستخدم في أنظمة الاتصالات الخليوية بشكل خاص.

1. دراسة مرجعية لأنظمة النفاذ المتعدد المعتمدة على الحوامل المتعددة المتعامدة.
2. دراسة مرجعية لأنظمة النفاذ المستخدمة في الجيل الرابع والخامس والتي تعتمد على أنظمة التعديل والإرسال متعدد الحوامل (OFDMA - DFT-FBMC).
3. تقييم أداء DFT-FBMC ومقارنته مع بقية الأنظمة

## 3- أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في إجراء دراسة مرجعية ومقارنة بين أنظمة النفاذ المختلفة وكيفية تطورها ومواكبتها لأنظمة الاتصالات الخليوية بدءاً من النفاذ المتعدد بتقسيم التردد المستخدم في الجيل الأول وصولاً إلى طرق تشكيل الموجة والنفاذ المتعدد بالحوامل

الترددية المتعامدة المستخدمة في الجيلين الرابع والخامس. ومن ثم تسليط الضوء على تقنيات النفاذ في الجيل الخامس وبالأخص FBMC وإجراء محاكاة وتقييم أداء لنظام DFT-FBMC والذي يتخلص من بعض سلبيات FBMC ويجمع معها ميزات SC-FDMA.

#### 4- مواد وطرق البحث

تم البحث من خلال إجراء دراسة نظرية مرجعية لأنظمة النفاذ المتعدد مع التركيز على آلية عمل كل منها ومن ثم دراسة تقنيات النفاذ التي تعتمد على الحوامل المتعددة المتعامدة. لينتقل البحث بعدها لإجراء محاكاة ضمن بيئة برمجية MATLAB من أجل تقييم وتحليل أداء نظام DFT-FBMC و مقارنته مع OFDM.

#### 5- تقنيات النفاذ المتعدد المعتمدة على الحوامل المتعددة

استعرضنا في الفقرات السابقة تقنيات النفاذ المتعدد المستخدمة في الأجيال الأولى والثاني والثالث من أنظمة الاتصالات الخليوية، ونبين في الفقرات الآتية تقنيات النفاذ المتعدد المستخدمة في الأجيال الرابع والخامس.

#### 5-1- التضميم بالتقسيم الترددي المتعامد OFDM

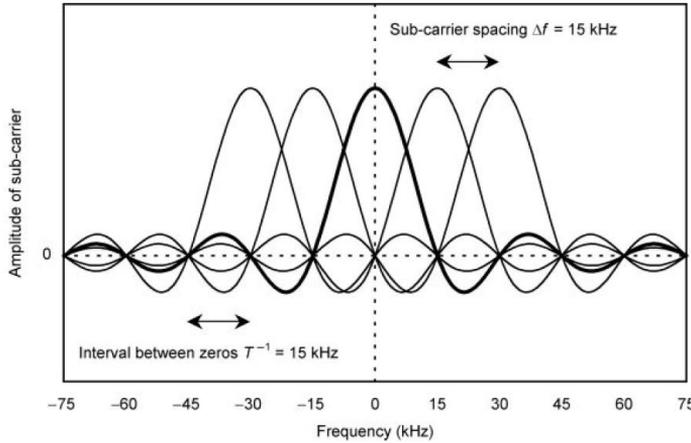
تعتمد أنظمة LTE للنفاذ المتعدد طريقة الحوامل المتعددة المتعامدة. حيث تستخدم تقنية OFDMA على الوصلة الهابطة نظراً لفعاليتها الطيفية العالية وتقنية SC-FDMA على الوصلة الصاعدة لانخفاض نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة PAPR مقارنة بـ OFDMA.

تقوم الـ OFDM بتوزيع الإشارة عريضة الحزمة على عدة حوامل فرعية ضيقة الحزمة، تكون هذه الحوامل متقاربة بمسافة فصل أصغرية بحيث تبقى متعامدة فيما بينها في

المجال الترددي، فبدلاً من إرسال المعطيات بدققة واحدة يقوم مرسل OFDM بإرسال المعطيات على شكل دفعات جزئية ترسل كل منها على حامل فرعي مختلف، مما يؤدي إلى فعالية طيفية عالية مقارنة بـ FDMA وتداخل أقل مقارنة بـ CDMA. يمكن تخصيص مجموعات مختلفة من الحوامل للإرسال إلى عدة مستخدمين. [8]

إذا تم الإرسال بـ OFDM مع المحافظة على معدل النقل نفسه عند الإرسال بحامل وحيد عريض الحزمة، عندئذ يكون معدل النقل بالنسبة لكل حامل فرعي أقل وهذا يؤدي إلى زيادة مدة الرمز مما يقلل من معدل الخطأ ويقلل التداخل بين الرموز ISI الناتج عن تأخير تعدد المسارات.

الشكل (1) يبين الحوامل المتعامدة في OFDM حيث تبدو التعامدية من خلال تقاطع قمة الحامل الفرعي مع أصفار من الحوامل الفرعية المجاورة.



الشكل (1): الحوامل المتعامدة في OFDM

يمكن تلخيص مزايا OFDM بالنقاط التالية:

- تحد الـ OFDM من الطبيعة الانتقائية في التردد للقناة اللاسلكية عريضة الحزمة، حيث تحولها إلى عدة قنوات فرعية ضيقة الحزمة ذات استجابة مستوية Flat fading sub channel. يبسط ذلك من عملية تسوية القناة مما يخفض من تعقيد المستقبل.
- يخضع كل حامل فرعي إلى تخميد مستقل عن بقية الحوامل مما يعطي تنوع في التردد Frequency Diversity.
- فعالية طيفية عالية بفضل استخدام مسافة فصل أصغرية بين الحوامل مع الحفاظ على التعامد دون وجود مجالات الحماية بين الحوامل كما هو الحال في FDMA المستخدمة في GSM.
- تحل مشكلة تعدد المسارات التي تؤدي للتداخل في الرمز ISI التي تعاني منها تقنية WCDMA، وذلك بفضل استخدام البادئة الدوارة والإرسال بمدة رمز كبيرة نسبياً ( $66.7\mu s$ ) مقارنة مع مدة الرمز ( $3.69\mu s$ ) في GSM ومدة رمز ( $0.26\mu s$ ) في WCDMA.
- مرونة تخصيص الموارد وجدولتها.

وتعاني الـ OFDM من بعض السلبيات وهي:

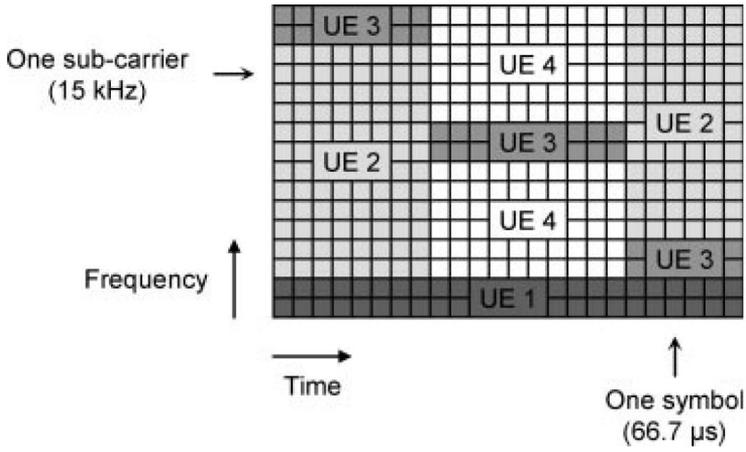
- الحساسية لأخطاء التزامن في التردد مما يؤدي إلى التداخل بين الحوامل الفرعية. [9]
- نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة الوسطى PAPR مرتفعة. [9]

من أجل كل حامل فرعي مخصص للمستخدم يقوم المستقبل قبل فك التعديل بعملية تقدير حالة القناة والتسوية، حيث يقوم مرسل OFDM بإرسال رموز مرجعية ضمن

المعطيات المرسله تحمل معلومات عن حالة القناة، يستخدم المستقبل الرموز المرجعية لإزالة أثر القناة على الإشارة من تغيرات في المطال وانزياحات في الطور. عادة ما تكون تغيرات المطال وانزياحات الصفحة تابعة للتردد والزمن، لذلك لكي يتمكن المستقبل من تقدير القناة بشكل صحيح يقوم المرسل ببغثرة الرموز المرجعية عبر الزمن والتردد [6]

## 5-2- النفاذ المتعدد بالحوامل المتعامدة OFDMA

تقوم التقنية OFDMA المستخدمة في الوصلة الهابطة بتقسيم الزمن بين المستخدمين بالإضافة إلى التقسيم الترددي حيث تقوم المحطة القاعدية بالإرسال إلى عدة مستخدمين في لحظات زمنية مختلفة وترددات مختلفة بما يلبي حاجة كل خدمة. يبين الشكل (2) مثلاً على تقسيم الموارد باستخدام OFDMA فعلى سبيل المثال المستخدم UE1 يستقبل دفقة صوت VoIP وهذا يتطلب معدل نقل منخفض نسبياً وبالتالي بحاجة إلى عدد قليل من الحوامل الجزئية (2 SC) ولكنه يتطلب استمرارية في الإرسال لذلك يخصص له عدد كبير نسبياً من الحصص الزمنية (24 TS) من جهة أخرى نجد أن المستخدم UE2 يقوم بتحميل ملف وكونه لا يستقبل معطيات بالزمن الحقيقي ترسل المعطيات إليه على شكل رشقات بمعدل نقل مرتفع فيخصص له عدد أكبر من الحوامل الجزئية (12 SC) وعدد أقل من الحصص الزمنية (8 TS).



الشكل (2): تقسيم الموارد الزمنية والترددية في OFDMA

يمكن للمحطة القاعدية أيضاً أن تخصص الحوامل الجزئية والحصص الزمنية بالاعتماد على قوة الإشارة التي يستقبلها المستخدم على كل حامل جزئي خلال حصة زمنية معينة. فمثلاً المستخدم UE3 في الشكل (2) يتقبل دفقة VoIP ولكنه يعاني من الخفوت على بعض الحوامل الجزئية خلال فترات معينة، تستجيب المحطة القاعدية لمثل هذه الحالة بتخصيص الحوامل الجزئية التي تكون فيها الإشارة المستقبلية أقوى مقارنة ببقية الحوامل ويتم تغيير هذه الحوامل عبر الزمن بما يوافق تغيرات الخفوت مع التردد والزمن. وبنفس الأسلوب يتم إرسال المعطيات إلى المستخدم UE4 باستخدام كتلتين منفصلتين من الحوامل الجزئية يفصل بينهما كتلة من الحوامل الجزئية التي تعاني فيها الإشارة المستقبلية من الخفوت. [6]

### 5-3- النفاذ المتعدد بالتقسيم الترددي وحيد الحامل SC-FDMA

يعتبر ارتفاع النسبة PAPR أحد الصفات السلبية في OFDMA. والنسبة PAPR بالتعريف هي نسبة الاستطاعة العظمى لعينة من رمز OFDM إلى الاستطاعة الوسطى لهذا الرمز. وتنتج الذروة من جمع الإشارات المرسله على الحوامل الفرعية المختلفة

لإعطاء شكل موجي واحد بالمجال الزمني، ينتج عن جمع هذه الاستطاعات استطاعة مرتفعة في المجال الزمني أعلى بكثير من استطاعة الإشارة التي تحمل المعطيات. يتطلب الإرسال والإستقبال عند استخدام OFDMA مع النسبة المرتفعة لـ PAPR محول DAC عالي الدقة لدى المرسل ومحول ADC عالي الدقة لدى المستقبل، وإلا فإن إشارة المعطيات ستعاني من مشكلات التشوه. لذلك يعتبر الإرسال بنسبة PAPR منخفضة أمراً مرغوباً. [9]

أن مرسل SC-FDMA هو عبارة عن مرسل OFDMA مسبق بتحويل فورييه السريع FFT الذي يغير طريقة توزيع الرموز على الحوامل الفرعية المختلفة. حيث يقوم تحويل فورييه السريع بمزج الرموز مع بعضها ضمن عدة حوامل لتقليل النسبة PAPR مع الحفاظ على إمكانية استعادتها بتحويل فورييه السريع العكسي IFFT في طرف الاستقبال.

#### 5-4- طرق تشكيل الموجة والنفاذ المتعدد في الجيل الخامس

يتم تشكيل الموجة والنفاذ المتعدد في الجيل الخامس بعدة طرق أهمها:

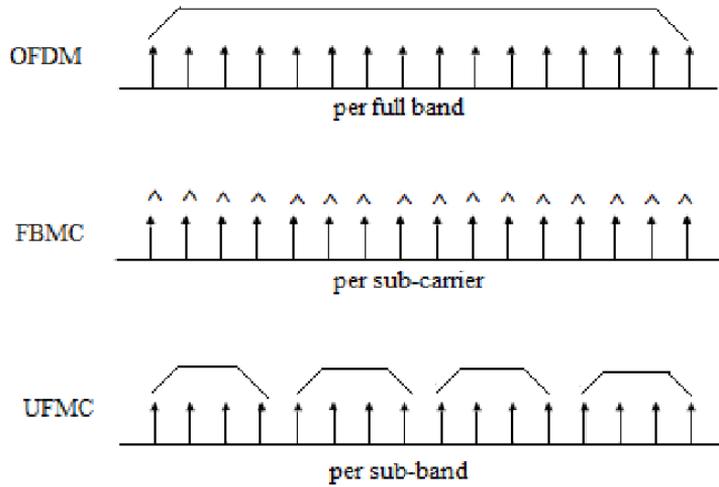
#### 5-4-1- تقنية الحوامل المتعددة المرشحة ببنك المرشحات FBMC

المبدأ الأساسي لتقنية FBMC هو تقسيم كتلة المعطيات الكبيرة إلى مجموعة من كتل المعطيات الصغيرة، وإرسالها عبر بنك من المرشحات المعدلة. يجري تصميم الشكل الأولي للمرشح بمعامل تداخل معين، ويتم اختيار هذا المعامل بحيث نحصل على نسبة قليلة جداً من تسرب القنوات المجاورة، وبذلك التقليل قدر الإمكان من التداخل بين القنوات المتجاورة. [13]

#### 5-4-2- تقنية الحوامل المتعددة المرشحة العامة UFMC

يمكن اعتبار تقنية UFMC حلاً وسطياً بين تقنيتي FBMC و CP-OFDM. ففي تقنية CP-OFDM يتم ترشيح كامل الرمز، وفي تقنية FBMC يتم ترشيح كل حامل جزئي من الرمز بمفرده. بينما في تقنية UFMC يتم تقسيم الحزمة الكلية (رمز المعطيات) إلى مجموعة من الحزم الجزئية وكل حزمة جزئية تحتوي على مجموعة من الحوامل الجزئية، ثم يتم ترشيح كل حزمة جزئية. هذه الإجرائية تقلل التعقيد مقارنة مع FBMC من جهة، وتزيد من الفعالية الطيفية مقارنة مع CP-OFDM من جهة أخرى. [14]

يبين الشكل (3) الفرق بين التقنيات (OFDM - FBMC - UFMC)



الشكل (3): الفرق بين التقنيات (OFDM - FBMC - UFMC)

#### 6- نظام DFT-FBMC

في البداية نقدم شرح عن نظام FBMC كونه يعتبر الأساس لنظام DFT-FBMC في نظام FBMC يتم إرسال مجموعة من الرموز عبر بنك من المرشحات التركيب كما هو الحال في نظام، OFDM لكن يكمن الفارق الأساسي في اختيار المرشح الأولي المستخدم

في بناء مرشحات التركيب والتحليل، والذي يسمح بتداخل كل قناة مع القنوات المجاورتين مباشرة لتلك القناة لذا لا يتم ارسال رموز QAM العقدية بشكل مباشر بل إنها بحاجة إلى معالجة مسبقة يتم فيها فصل الجزء الحقيقي عن الجزء التخيلي.

### المرشح الأولي

يعتمد الارسال الرقمي بشكل أساسي على نظرية نيكويست، والتي تنص على أن تكون الاستجابة النبضية المكافئة لمرشح الارسال ومرشح الاستقبال معدومة عند مضاعفات زمن الرمز، وهذا يترجم في المجال الترددي إلى شرط التناظر حول تردد القطع الذي يساوي بدوره نصف معدل إرسال الرموز. يتم فصل مرشح نيكويست العام إلى مرشحين، يستخدم الأول في الارسال ويستخدم الآخر في الاستقبال لتأمين مرشح توافق، لذا فإن شرط التناظر يتم تحقيقه عند مربعات ثوابت المرشح.

يعتبر المرشح الأولي هو العنصر الأساسي في نظام FBMC لأن كل من مرشحات التركيب والتحليل في المرسل والمستقبل هي عبارة نسخ مزاحة في التردد عنه، لذا فإن جودة نظام FBMC تعتمد بشكل أساسي على خصائص المرشح الأولي المستخدم، فهو يحدد الترابط بين الرموز من جهة ومتانة النظام في ظل وجود القنوات الانتقائية في التردد من جهة أخرى.

لا يوجد تعريف فريد لـ FBMC-QAM. فعند التضحية بالتموضع الترددي يصبح مخطط التشكيل أسوأ من OFDM من حيث انبعاثات OOB. وبالإمكان التضحية بالتعادم من أجل الحصول على تباعد زمني-تردد  $TF = 1$  وتموضع بالتردد والزمن (time-frequency localization).

### أنواع المرشحات:

المرشح **Hermite**: يستند مرشح نموذج أولي محتمل لـ FBMC-QAM على كثير

حدود هرميتي  $H_n(\cdot)$ , كما يلي: [7]

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{T_0}} e^{-2\pi(t/T_0)^2} \sum_{i=\{0,4,8,12,16,20\}} a_i H_i(2\sqrt{\pi}t/T_0) \dots (1)$$

التي يمكن فيها العثور على المعاملات لتكون:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1.412692577 & a_{12} &= -2.2611 \cdot 10^{-9} \\ a_4 &= -3.0145 \cdot 10^{-3} & a_{16} &= -4.4570 \cdot 10^{-15} \\ a_8 &= -8.8041 \cdot 10^{-6} & a_{20} &= 1.8633 \cdot 10^{-16} \end{aligned}$$

$$\text{Orthogonl: } T = T_0; F = 2/T_0 \rightarrow TF = 2$$

$$\text{Localization: } \sigma_t = 0.2015T_0; \sigma_f = 0.403T_0^{-1}$$

هذه النبضة الهرميتية لديها نفس الشكل في الزمن والتردد، مما يسمح لنا باستغلال التناظر. التناظر. علاوة على ذلك، فإنه يعتمد على نبضة غاوسية وبالتالي لديه تموضع مشترك جيد في الزمن والتردد  $\sigma_t \sigma_f = 1.02 \times 1/4 \pi$  تقريباً يكون جيد كما في الحد  $\sigma_t \sigma_f \geq 1/4 \pi \approx 0.08$

**المرشح PHYDYAS:** يستند مرشح واحد آخر يدعى مرشح ذو نموذج

PHYDYAS يعبر عنه بالشكل: [7]

$$p(t) = \begin{cases} \frac{1 + 2 \sum_{i=1}^{O-1} b_i \cos\left(\frac{2\pi t}{OT_0}\right)}{O\sqrt{T_0}} & \text{if } -\frac{OT_0}{2} < t \leq \frac{OT_0}{2} \dots (2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

يتم حساب المعاملات  $b_i$  بالاعتماد على عامل التراكم  $O$  (overlapping factor)

على سبيل المثال، بالنسبة لعامل تراكم  $O = 4$  لدينا:

$$b_1 = 0.97195983 \quad b_2 = \sqrt{2}/2 \quad b_3 = 1.412692577$$

$$\text{Orthogonl: } T = T_0; F = 2/T_0 \rightarrow TF = 2$$

$$\text{Localization: } \sigma_t = 0.2745T_0; \sigma_f = 0.328T_0^{-1}$$

مقارنةً بمرشح Hermite النموذجي، يتمتع عامل ترشيح PHYDYAS بتموضع ترددي

أفضل ولكن تموضع أسوأ بالنسبة للزمن. التموضع الزمني-الترددي المشترك  $\sigma_t \sigma_f =$

$1.13 \times 1/4 \pi$  هو أسوأ كذلك.

يبين الشكل (4) بنية نظام DFT-FBMC حيث يتم بناء هذا النظام على نظام FBMC مع إضافة ترميز مسبق للرموز قبل دخولها لمرسل FBMC ومن ثم يتم إجراء فك الترميز المعاكس على خرج مستقبل.

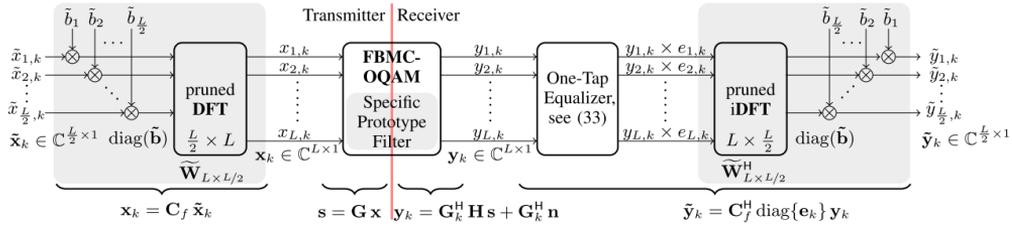
يتم في البداية نثر  $L/2$  رمز معطيات عقدي على  $L$  حامل ترددي فرعي، وبالتالي تعطى رموز FBMC في اللحظة  $k$  بالعلاقة:

$$x_k = C_f \tilde{x}_k \dots (3)$$

حيث:  $C_f$  مصفوفة النثر الترددية تعطى بالعلاقة:

$$C_f = W_{L \times \frac{L}{2}} \text{diag}\{\tilde{b}\} \dots (4)$$

حيث:  $W_{L \times \frac{L}{2}}$  مصفوفة تحويل فورييه المتقطع و  $\tilde{b}$  شعاع توزيع رموز المعطيات  $\tilde{x}_k$  أما في طرف الاستقبال فيتم استقبال الرموز من خرج مستقبل FBMC ومن ثم إجراء تسوية لكل قناة فرعية على حدة وبعدها يتم إجراء تحويل فورييه المتقطع العكس وعمليات التوزيع اللازمة.



الشكل (4): مخطط صندوق لنظام DFT-FBMC [15]

تجمع تقنية DFT-FBMC بين مزايا FBMC-OQAM و SC-FDMA. حيث تتمتع بنفس نسبة الاستطاعة العظمى إلى المتوسطة (PAPR) مثل SC-FDMA ولكنها لا تتطلب بادئة دورية (CP) ولديها إرسالات خارج النطاق (OBB) أقل بكثير.

## 7- النتائج ومناقشتها

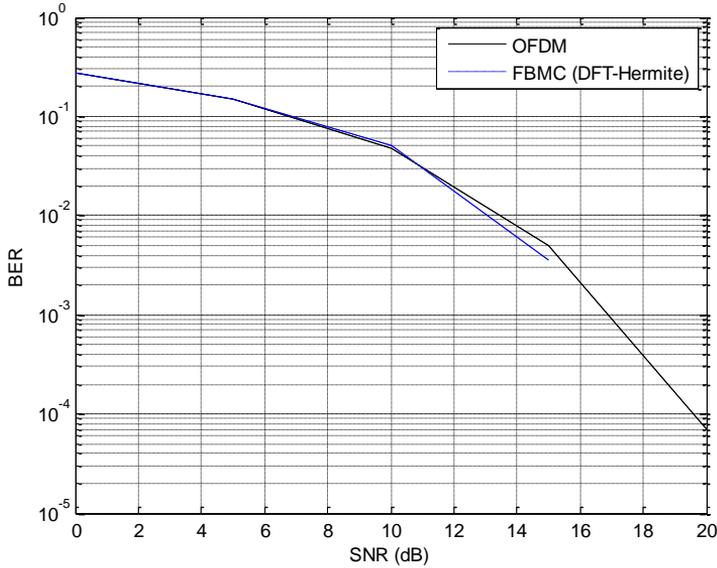
نقوم بمحاكاة نظام DFT-FBMC وتقييم أداءه بالمقارنة مع نظام OFDM. يتم تقييم الأداء من حيث عدة أمور مهمة وهي:

✓ معدل خطأ البت (BER) Bit Error Rate

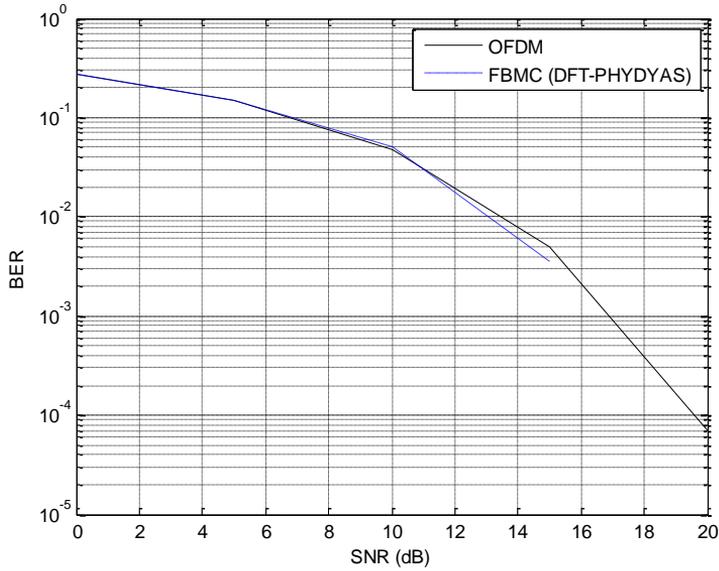
✓ الكثافة الطيفية (PDS) Power Spectral Density

### 7-1- محاكاة أداء معدل خطأ البت

نقوم في هذا الجزء من المحاكاة بمقارنة أداء FBMC باستخدام DFT مع نظام OFDM من حيث BER وذلك من أجل SNR متغيرة. سنقوم بتثبيت عدد الحوامل الترددية في المحاكاة إلى 256 حامل ترددي، كما سنقوم بتغيير سرعة الطرفية. نقوم بدايةً باعتبار الطرفية ثابتة، ونقوم الآن بإجراء المحاكاة من أجل المرشح Hermite باستخدام DFT الشكل (5) فنلاحظ أنه من أجل  $SNR > 15 \text{ dB}$  يكون معدل الخطأ معدوم تقريباً. ونفس النتائج نحصل عليها من أجل المرشح PHYDYAS الشكل (6).

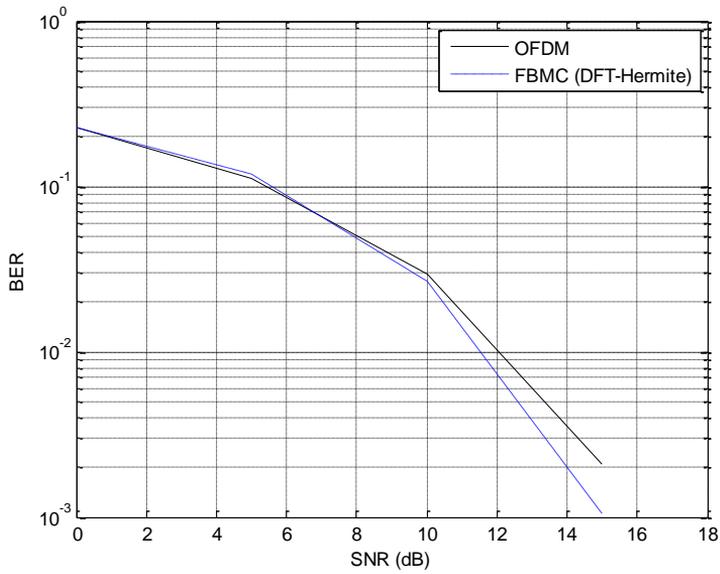


الشكل (5): معدل خطأ البت لنظام FBMC، مرشح Hermite-DFT.

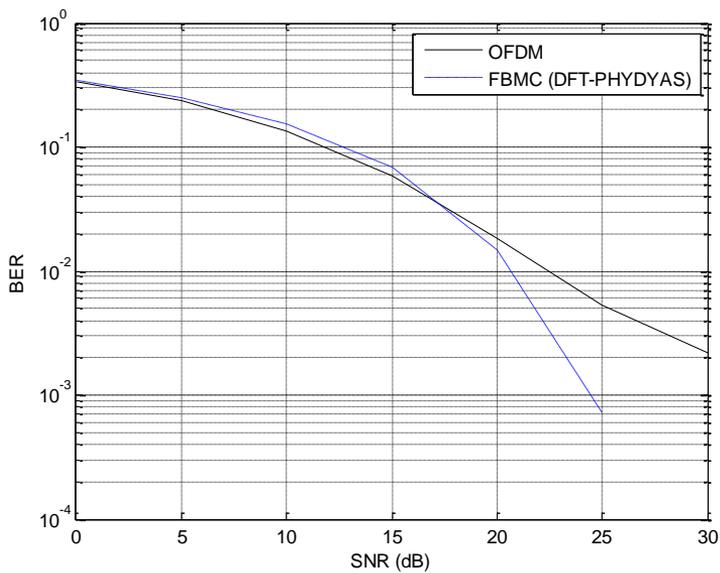


الشكل (6): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشّح PHYDYAS-DFT.

نقوم الآن بزيادة سرعة الطرفية إلى 50 Km/h، نلاحظ أن الأداء يتحسن ويصبح أفضل، فمن أجل Hermite-DFT الشكل (7) نجد أنّ الأداء أفضل بـ 1 dB من أجل  $BER = 2 \times 10^{-3}$ . أمّا من أجل PHYDYAS-DFT الشكل (8) فإنّ الأداء أفضل بأكثر من 5 dB من أجل  $BER = 10^{-3}$ .

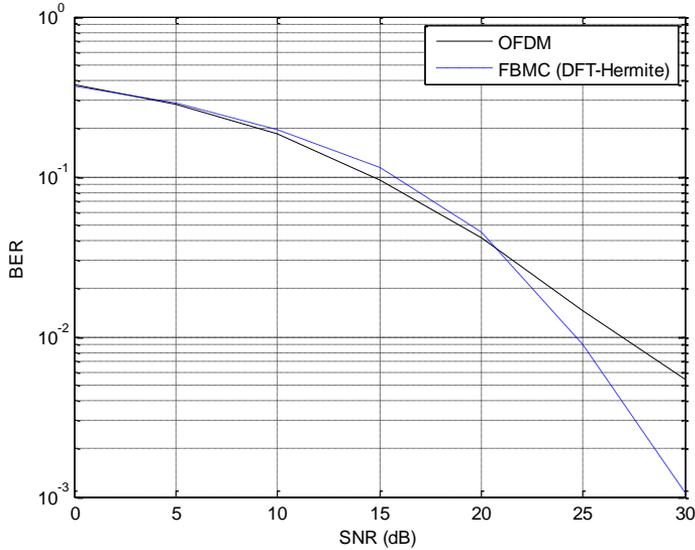


الشكل (7): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشّح Hermite-DFT، سرعة طرفيّة 50 .Km/h

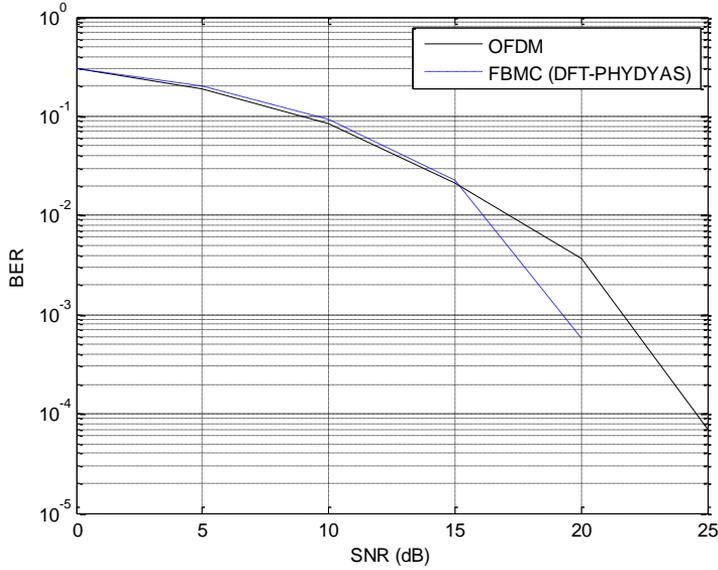


الشكل (8): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشّح PHYDYAS-DFT، سرعة طرفية 50 Km/h

نقوم برفع سرعة الطرفية إلى 100 Km/h، ونقوم بالمقارنة بين OFDM ونظام FBMC مع Hermite-DFT، PHYDYAS-DFT، نلاحظ أنّ Hermite-DFT يعطي أداء أفضل بـ 2 dB من أجل  $BER = 2 \times 10^{-3}$  ومن أجل PHYDYAS-DFT الشكل (9) فإنّ الأداء أفضل بـ 3 dB من أجل  $BER = 3 \times 10^{-3}$  وبالتالي نجد أنّ معدّل خطأ البت يصبح أفضل باستخدام DFT ضمن نظام FBMC.



الشكل (9): معدّل خطأ البت لنظام FBMC، مرشّح Hermite-DFT، سرعة طرفية 100 Km/h

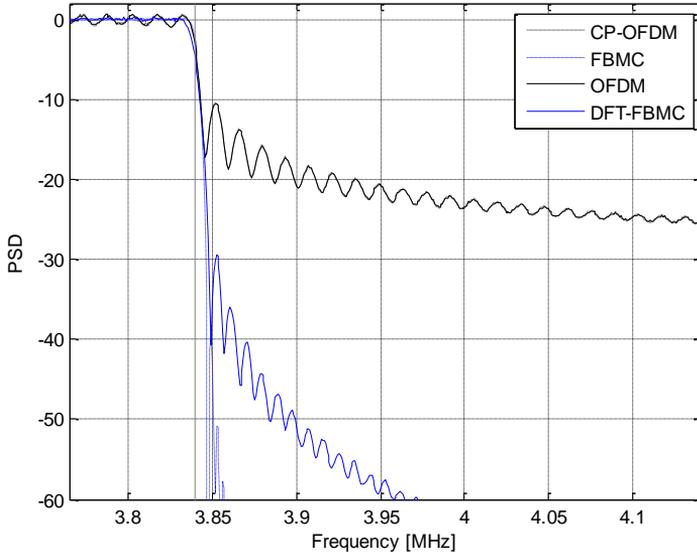


الشكل (10): معدل خطأ البت لنظام FBMC، مرشح PHYDYAS-DFT، سرعة طرفية 100 Km/h.

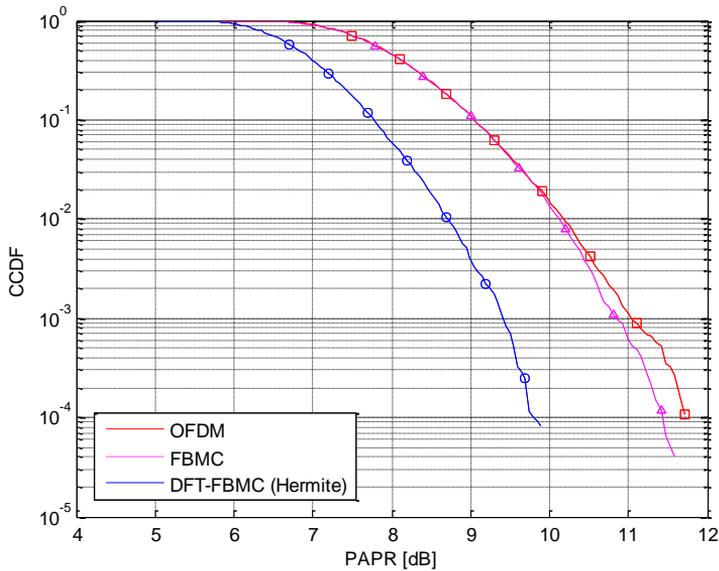
## 2-7- محاكاة الكثافة الطيفية

وجدنا في النتائج السابقة أن أفضل أداء لنظام FBMC كان باستخدام DFT، نقوم هنا بمحاكاة Power Spectrum Density (PSD) لنظام FBMC من أجل عدد حوامل 256 وتعديل 16-OQAM ومرشح Hermite، فنجد في الشكل (11) أن مستوى الترددات الجانبية في الطيف أقل بكثير من نظام OFDM ولكن عند استخدام DFT فإن مستوى الترددات الجانبية يصبح أعلى بقليل إلا أنه بجميع الأحوال أفضل بكثير من نظام OFDM. وبمقارنة مستوى PAPR بين نظامي OFDM و FBMC نجد أن مستوى PAPR من أجل FBMC أقل بـ 2 dB من أجل  $CCDF = 10^{-4}$  وذلك من أجل Hermite الشكل (12)، أما في حال استخدام PHYDYAS الشكل (13) فإن مستوى

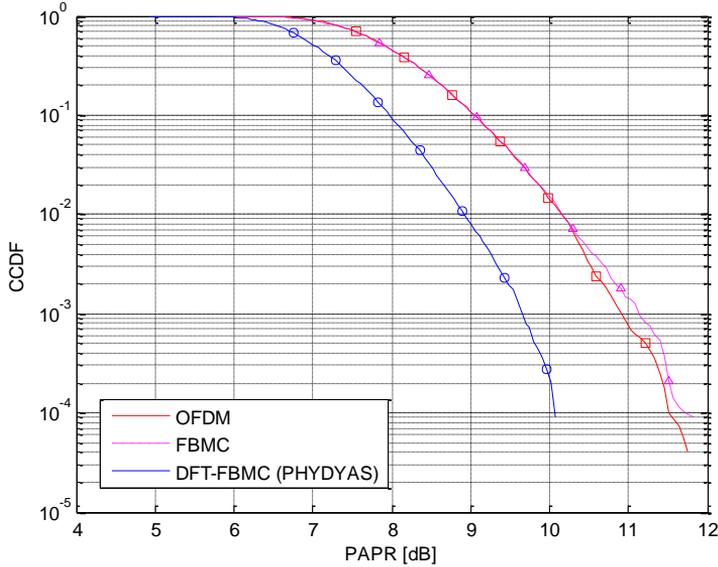
PAPR أعلى من حالة استخدام Hermite. وبالتالي فإن استخدام مرشح Hermite يعطي PAPR أقل من حالة استخدام PHYDYAS.



الشكل (11): مقارنة PSD بين نظام OFDM ونظام FBMC.



الشكل (12): مقارنة أداء PAPR من أجل FBMC و OFDM، مرشح Hermite.



الشكل (13): مقارنة أداء PAPR من أجل FBMC و OFDM، مرشح PHYDYAS

### 8- الاستنتاجات والتوصيات

- أداء نظام DFT-FBMC أفضل من أداء نظام OFDM من حيث معدل الخطأ في البت من أجل المرشحات PHYDYAS و Hermite.
- المحاكاة تبيّن أنّ أداء OFDM (من حيث معدل الخطأ في البت) يصل إلى مستويات  $BER = 10^{-4}$  وذلك من أجل  $SNR = 20 dB$ .
- ونلاحظ أنّ أداء DFT-FBMC من أجل  $SNR > 15 dB$  يكون معدّل الخطأ معدوم تقريباً وذلك من أجل طرفيات ثابتة.
- تظهر المحاكاة أنّ أداء DFT-FBMC (من حيث معدل الخطأ في البت) من أجل طرفيات متحركة بسرعة 50 Km/h. أفضل من أداء OFDM بـ 1 dB من أجل  $BER = 2 \times 10^{-3}$  من أجل Hermite-DFT. أمّا من أجل

PHYDYAS-DFT فإنّ الأداء أفضل بأكثر من 5 dB من أجل  $BER = 10^{-3}$ .

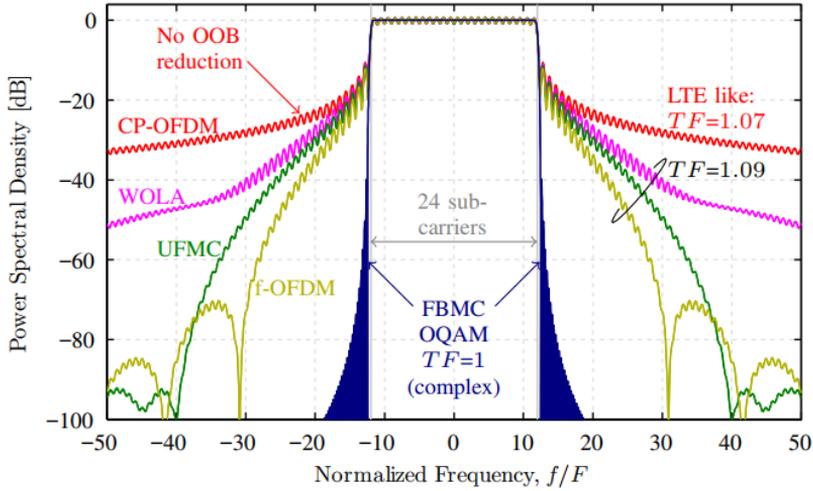
➤ من أجل سرعة الطرفية إلى 100 Km/h، وبالمقارنة بين OFDM ونظام FBMC مع Hermite-DFT، PHYDYAS-DFT، نلاحظ أنّ Hermite-DFT يعطي أداء أفضل بـ 2 dB من أجل  $BER = 2 \times 10^{-3}$ . ومن أجل PHYDYAS-DFT فإنّ الأداء أفضل بـ 3 dB من أجل  $BER = 3 \times 10^{-3}$ .

➤ معدّل خطأ البت يصبح أفضل باستخدام DFT ضمن نظام FBMC.

➤ من أجل محاكاة Power Spectrum Density (PSD) لنظام FBMC من أجل عدد حوامل 256 وتعديل 16-OQAM ومرشّح Hermite، فنجد في الشكل (11) أنّ مستوى الترددات الجانبية في الطيف أقل بكثير من نظام OFDM ولكن عند استخدام DFT فإنّ مستوى الترددات الجانبية يصبح أعلى بقليل إلا أنّه بجميع الأحوال أفضل بكثير من نظام OFDM.

➤ بمقارنة مستوى PAPR بين نظامي OFDM و FBMC نجد أنّ مستوى PAPR من أجل FBMC أقل بـ 2 dB من أجل  $CCDF = 10^{-4}$  وذلك من أجل Hermite، أمّا في حال استخدام PHYDYAS فإنّ مستوى PAPR أعلى من حالة استخدام Hermite.

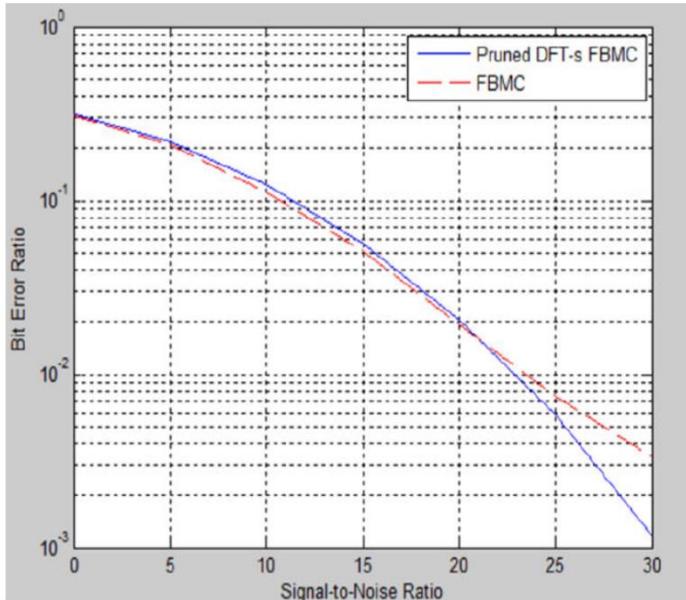
إنّ النتائج التي تم التوصل إليها تتسجم مع نتائج الدراسات السابقة حيث تبين الدراسة [7] تفوق نظام FBMC على نظام CP-OFDM من حيث الإشعاع خارج الحزمة كما هو مبين في الشكل (14) وعند استخدام DFT-FBMC فإنّ مستوى الحزم الجانبية يزداد قليلاً (الشكل 11) إلا أنه أفضل بكثير من OFDM كما أن الميزة المكتسبة تكون في نسبة الاستطاعة العظمى إلى الاستطاعة المتوسطة.



الشكل (14): مقارنة الكثافة الطيفية لنظامي OFDM و FBMC

كما تبين الدراسة [15] أن نظام DFT-FBMC يتفوق على FBMC من حيث BER من أجل SNR كبيرة ويتقارب منه من أجل القيم المنخفضة كما هو مبين في

الشكل (15).



الشكل (15): مقارنة الأداء لنظامي FBMC و DFT-FBMC.



## 9- المراجع

- [1] عرودكي، هشام. "نظم الاتصالات الخلوية: أسس ومبادئ"، الطبعة الأولى 2013 .
- [2] HAYKN S., MOHER M. "Modern Wireless Communication", International Edition, PEARSON Prentice Hall, 2005.
- [3] GARG V. "Wireless Communications and Networking", Elsevier, 2007.
- [4] RAPPAPORT T. "Wireless Communications Principles and Practice", 2ed, PEARSON Prentice Hall, 2002.
- [5] Vora L. J. "Evolution of mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless technology 5G", IJMTER, P281-290, 2015.
- [6] C. Cox, An Introduction To LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications, United Kingdom: WILEY, 2012.
- [7] Nissel R, Schwarz S, Rupp M. Filter bank multicarrier modulation schemes for future mobile communications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2017 May 31;35(8):1768-82.
- [8] Song, L. Shen, J. "Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE", USA, 2011.
- [9] Gangwar, A. Bhardwaj, M. "An Overview: Peak to Average Power Ratio in OFDM system and its Effect," International Journal of Communication and Computer Technologies, vol. 01, no. PAPR, pp. 22-25, 2012
- [10] W. Jiang and T. Kaiser, "From OFDM to FBMC: Principles and Comparisons", *Signal Processing for 5G: Algorithms and Implementations*. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 48-66, 2016.

- [11] H. Qinwei and A. Schmeink, A, "Comparison and evaluation between FBMC and OFDM systems". *9th International ITG Workshop on Smart Antennas*, pp. 3-5, March. 2015.
- [12] A. Sahin, I. Guvenc and H. Arslan, "A Survey on Multicarrier Communications: Prototype Filters, Lattice Structures, and Implementation Aspects", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, pp. 1312-1338, 2014
- [13] B. Farhang-Boroujeny, "OFDM versus filter bank multicarrier", *IEEE signal processing magazine*, vol, 28, no. 3, pp. 92-112.2011.
- [14] P. N. Rani and C. S. Rani, "UFMC: The 5G modulation technique", in *2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, 2016.
- [15] Lawrence A, George S. "Performance Analysis of Pruned DFT Spread FBMC" *International Journal of Engineering Science and Computing*. 2020 September Volume 10 Issue NO.9.
- [16] Ramakrishnan B, Kumar A, Chakravarty S, Masud M, Baz M. Analysis of FBMC Waveform for 5G Network Based Smart Hospitals. *Applied Sciences*. 2021 Jan;11(19):8895.
- [17] Taher MA, Kutheir KH. FBMC as 5G candidate for high speed mobility. *InIOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019 Jun 1 (Vol. 557, No. 1, p. 012040). IOP Publishing



## تحليل أداء المولد التحريضي مضاعف التغذية

### أثناء هبوط التوتر في الشبكة

طالب الدراسات العليا: بتول الساطي

كلية: الهمك - جامعة: البعث

الدكتور المشرف: غسان ابراهيم + د. رامي موسى

#### 1. الملخص:

يهدف هذا البحث إلى دراسة أداء المولد التحريضي مضاعف التغذية عند حدوث هبوط في التوتر المطبق على ثابت المولد وتحديد تأثيرات هذه الحالة على قيم المولد كتيارات الثابت والوار والغوم، وذلك من أجل نوعين من هبوط التوتر المتناظر وغير المتناظر. ومن خلال إجراء محاكاة باستخدام برنامج Matlab R2018b لنظام مكون من توربين ريحي ومولد تحريضي مضاعف تغذية، قمنا في هذا البحث بإجراء دراسة تحليلية للحصول على خصائص عمل الآلة في الحالة العارة وتحديد القيم التي تتعرض لزيادة وتغوات نتيجة هبوط التوتر. ووجد أن هذه الحالة تؤدي إلى زيادة في تيار الوار وتوتر مكثف الربط بين المبدلة من جهة الوار والمبدلة من جهة الثابت ومن خلال الواسة التحليلية تمت المقارنة بين أداء المولد عند حدوث نوعين من الاضطراب في الشبكة مما يشكل قاعدة للعمل على التخلص من هذه الآثار لتحسين أداء المولد في أنظمة الطاقة الريحية .

**كلمات مفتاحية:** المولد التحريضي مضاعف التغذية ، هبوط التوتر على ثابت المولد ،

تيارات الدوار الزائدة ، توتر الزائد لمكثف الربط .

# Performance Analysis of Doubly Fed Induction Generator under Voltage Dips

## Abstract:

This Paper aims to investigate Doubly Fed Induction Generator Performance under voltage dip and determine its effects on the parameters of DFIG such as stator current, rotor current, DC-Link voltage and Torque for both symmetric and asymmetric voltage dips.

Analysis study for DFIG is achieved by Matlab/Simulink R2018 b to obtain transient operation characteristics and investigate the parameters which increase and change under voltage dips. It is found that rotor current and dc-link voltage values increase. Results for both cases are compared which is a base to remove these effects and improve wind turbine based DFIG performance.

**Key words:** Doubly fed Induction Generator, Voltage Dips, rotor overcurrent, DC-Link overvoltages.

## 2.المقدمة

تعد توربينات الرياح المشتركة مع المولدات التحريضية مضاعفة التغذية المصادر الأساسية لتوليد الطاقة المتجددة حول العالم. تعد هذه المولدات حساسة لاضطرابات الشبكة لذلك يجب تحسين قدرة المولدات على إدارة نفسها بحيث تبقى موصولة مع الشبكة أثناء الأعطال. قديماً كان مستوى انتشار محطات الرياح محدوداً وصغيراً مقارنة مع المحطات التقليدية ولذلك كان يسمح بفصل التوربينات عن الشبكة أثناء هبوط التوتر لمنع التيارات الزائدة. ولكن حالياً تزايد انتشار طاقة الرياح في أنظمة الطاقة الكهربائية ولذلك فإن فصل التوربين بشكل مفاجئ يؤدي إلى مشاكل في السيطرة على توتر وتردد النظام الكهربائي وبالتالي يجب إيجاد آلية تمكن بقاء التوربين موصول مع الشبكة أثناء الحالات العابرة.

## 3.أهمية وأهداف البحث

إن تناقص توتر الشبكة بوجود نظام ريحي يحتوي على مولد تحريضي مضاعف التغذية يؤدي إلى زيادة في قيمة تيار الدوار للمولد وكذلك زيادة في توتر مكثف الربط بين المبدلتين في دارة عمل المولد مما يؤثر على أداء المولد التحريضي مضاعف التغذية في المنظومة الريحية .

ويهدف البحث إلى إجراء دراسة لأهم الطرق وفق ما يلي:

- 1.3.دراسة تحليلية لأداء المولد التحريضي عند حدوث هبوط توتر متناظر.
- 2.3.دراسة تحليلية لأداء المولد التحريضي عند حدوث هبوط توتر غير متناظر.
- 3.3.أخذ قراءات لقيم تيار الدوار وتوتر DC-Link في حالتي الاضطراب.

3.4. المقارنة بين نتائج كل من الاضطرابين على أداء المولد وبارامتراته.

#### 4. مواد وطرق البحث

إن هذا البحث يعتمد على المقارنة بين أداء المولد التحريضي مضاعف التغذية عند نوعين من الاضطرابات في الشبكة بالتالي سيتم أخذ النتائج ومقارنتها اعتماداً على برنامج Matlab R2018b.

#### 5. هبوط التوتر في الشبكة بوجود نظام ريحي

هو عبارة عن انخفاض صغير في قيمة التوتر يستغرق بضع ميلي ثواني وهو أمر شائع الحدوث في الشبكات الكهربائية. عادة، تحدث تأرجحات في توتر الشبكة حول القيمة الاسمية ضمن مجال  $\pm 10\%$  من تلك القيمة. وهبوط التوتر يحدث بشكل مفاجئ على طور واحد أو أكثر مع معاودة سريعة إلى قيمته الاسمية بعد فترة قصيرة من الزمن حوالي 10msec عند التردد 50 Hz [1].

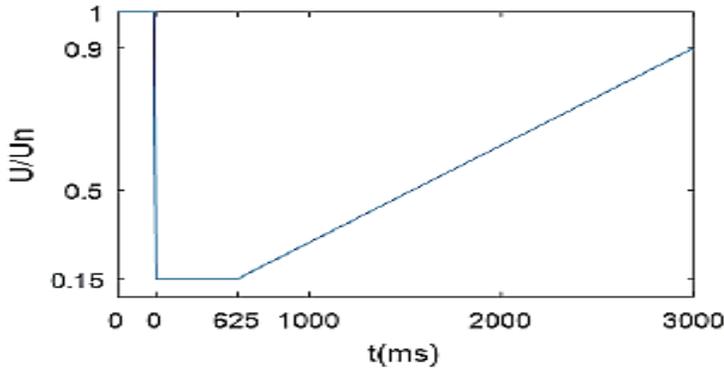
حديثاً تزايد الاهتمام بعملية إدارة توربينات الرياح والمولدات المرتبطة بها وذلك لضمان استمرارية الربط مع الشبكة وتجنب الانقطاعات المتكررة للتوربينات من خلال تصميم دارات تحكمية تعمل على خفض قيم التيارات والتوترات الزائدة الناتجة عن هبوطات التوتر وذلك بشكل يلئم الأكواد الخاصة بالشبكة التي تسمح ببقاء المولد موصول إلى الشبكة أثناء حدوث هبوط في قيمة التوتر بقيمة محددة ضمن هذا الكود.

قامت العديد من الدول بتحديث متطلبات كود الشبكة والتي تراعي إدارة أنظمة الرياح والمولدات فمثلاً الكود الالمانى حدد متطلباته وفقاً للتالي:

1. يجب ان تبقى توربينات الرياح موصولة لمدة 0.65 sec بعد حدوث العطل

2. توتر العطل المسموح 15% من التوتر الاسمي

3. يجب أن تتم استعادة التوتر بقيمة 90% من التوتر الاسمي في غضون 3sec بعد زوال العطل [2]



الشكل (1):متطلبات كود الشبكة الألماني

6.الموديل الرياضي والمعادلات الواصفة لنظام تحويل طاقة الرياح

1. توربين الرياح Wind Turbine :

(i) معادلة عزم الميكانيكي كتابع للهواء المتدفق عبر الشفرات:

$$T_t = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V^2 C_t$$

(ii) المعادلة الواصفة لمعامل الاستطاعة :

$$2C_p = K_1 (K_2/\lambda i - K_3\beta - K_4\beta^{K_5} - K_6)e^{K_7/K_i}$$

$$= R*W_t/Vv\lambda i = \frac{1}{1+K_8} , \lambda$$

حيث  $\lambda$ : السرعة المحيطية ،  $W_t$  السرعة الزاوية للتوربين ،

$Vv$ : سرعة الرياح  $m/s$  ،  $pC$ : معامل الاستطاعة

$C_t$ : معامل العزم ،  $\beta$ : زاوية الريشة وتختلف قيمها باختلاف نوع التوربين

$R$ : طول الشفرة (m) ،  $k_1, k_2, \dots, k_i$ : ثوابت تصميمية.

وتعمل على زيادة أو إضعاف القوة المطبقة على مساحة الريشة بواسطة

الرياح وكلما زادت قيمتها ضعفت مردودية التوربين

$\rho$ : كثافة الهواء  $Kg/m^3$

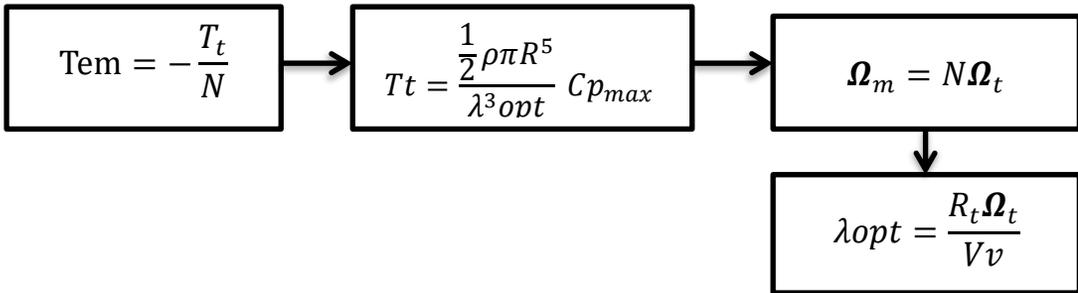
اعتمدت استراتيجية التحكم بالتوربين المستخدمة في النموذج (التحكم غير المباشر

بالسرعة) على تحديد النقطة التي من أجلها نحصل على الاستطاعة القصوى للتوربين

MPPT انطلاقاً من تأثير العزم المطبق على التوربين على قيمة  $\lambda$  بشكل غير مباشر

عن طريق تأثيره على السرعة  $\Omega_{mec}$  تم إيجاد  $C_t$ -opt وفق المخطط الصندوقي

التالي [1]:



2. المعادلات الخاصة بالمولد التحريضي مضاعف التغذية العلاقات التالية تمثل

معادلات الآلة التحريضية مضاعفة التغذية وفق الإحداثيات  $d, q$ . [1]

$$V_s = R_s i_s + \frac{d\Psi_s}{dt} + j\omega_s \Psi_s \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\Psi_s}{dt} - \omega_s \Psi_{qs} \quad 3 \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\Psi_s}{dt} + \omega_s \Psi_{ds} \quad 4 \end{array} \right.$$

$$V_r = R_r i_r + \frac{d\Psi_r}{dt} + j\omega_r \Psi_r \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d\Psi_r}{dt} - \omega_r \Psi_{qr} \quad 5 \\ V_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d\Psi_r}{dt} + \omega_r \Psi_{dr} \quad 6 \end{array} \right.$$

$$\Psi_s = L_s i_s + L_m i_r \quad \left\{ \begin{array}{l} \Psi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \quad 7 \\ \Psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \quad 8 \end{array} \right.$$

$$\Psi_r = L_r i_r + L_m i_s \quad \left\{ \begin{array}{l} \Psi_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds} \quad 9 \\ \Psi_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs} \quad 10 \end{array} \right.$$

حيث:  $V_{qs}, V_{ds}, V_s$ : توتر الثابت، توتر الثابت وفق المحور d، توتر الثابت وفق المحور q على الترتيب.

$V_{qr}, V_{dr}, V_r$ : توتر الدائر، توتر الدائر وفق المحور d، توتر الدائر وفق المحور q على الترتيب.

$I_{qs}, I_{ds}, I_s$ : تيار الثابت، تيار الثابت وفق المحور d، تيار الثابت وفق المحور q على الترتيب.

تيار الدائر ، تيار الدائر وفق المحور  $d$ ، تيار الدائر وفق المحور  $q$  على الترتيب.  $I_{qr}, I_{dr}, I_r$

مقاومة الدائر ومقاومة الثابت على الترتيب  $R_s, R_r$

تحريضية ملف الدائر وتحريضية ملف الثابت، تحريضية المغناطيسية على الترتيب.  $L_m, L_s, L_r$

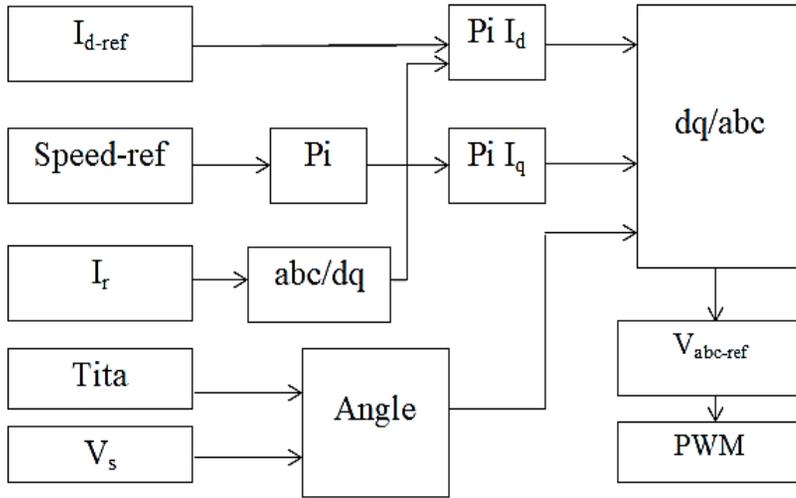
فيض الثابت، فيض الثابت وفق المحور  $d$ ، فيض الثابت وفق المحور  $q$  على الترتيب.  $\psi_{qs}, \psi_{ds}, \psi_s$

فيض الدائر، فيض الدائر وفق المحور  $d$ ، فيض الدائر وفق المحور  $q$  على الترتيب. فيض الثابت، فيض الثابت وفق المحور  $d$ ، فيض الثابت وفق المحور  $q$  على الترتيب.  $\psi_{qr}, \psi_{dr}, \psi_r$

السرعة التزامنية وسرعة الدائر على الترتيب.  $\omega_r, \omega_s$

### 3. مبدلة من جهة الدوار Rotor Side Converter

تم تصميم نظام تحكم بالمبدلة بحيث تؤخذ قيم مرجعية للمركبة المباشرة للتيار والسرعة لتشكيل حلقات تحكم بالتيار والسرعة ومن ثم إجراء تحويلات للإشارات الناتجة عن حلقات التحكم وفق الإحداثيات  $d, q$  ولنحصل أخيراً على إشارات توتر مرجعية  $abc$  تستخدم كنبضات لفتح القواطع الالكترونية للمبدلة من جهة الدوار [3] كما في المخطط الصندوقي في الشكل (2) حيث تمثل  $i_d$  و  $i_q$  المتحكمات التكاملية التناسبية المستخدمة لتنظيم تيارات العرضية والمباشرة للتيار، إضافة إلى متحكم بالسرعة



الشكل (2)-المخطط الصندوقي للتحكم بالمبدلة المربوطة مع الدوار

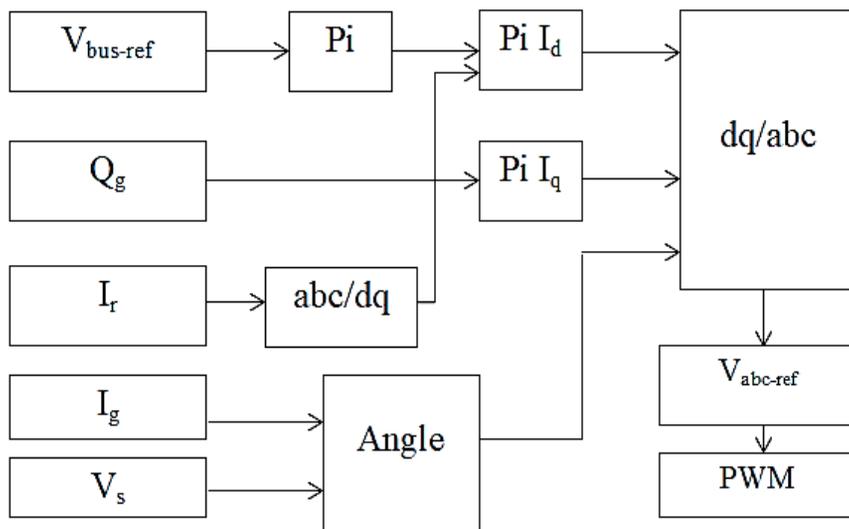
#### 4. التحكم بالمبدلة من جهة الشبكة (Grid side converter)

للتحكم بالكميات المقاسة من الشبكة (تيار الشبكة ، توتر الشبكة ، مع توتر (Vbus) تم استخدام التحكم الشعاعي بطريقة شعاع التوتر الموجه

( Grid Voltage Orientation Vector Control ) بحيث من خلال القيم

المرجعية  $V_{bus}, Q_g$  يتم إنشاء النبضات للتحكم بالقواطع الالكترونية .

عندئذ نقوم بإنشاء توترات abc مرجعية اعتماداً على الإحداثيات d,q ومن ثم تحول إلى الإحداثيات  $\alpha, \beta$  لنحصل أخيراً على التوترات المرجعية وفق المخطط الصندوقي في الشكل(3) ،يحتوي نظام التحكم على متحكمات PI للمركبات العرضية والمباشرة الخاصة بالتيار المتبادل مع الشبكة  $I_g$  ولحماية المبدلة المربوطة مع الدوار من الخروج عن التحكم تم إضافة حماية بسيطة مع دارة المبدلة المربوطة مع الدوار بحيث تقوم باحتواء النبضة الدورة الأولى من موجة تيار الدوار ذات القمة العالية أثناء حدوث اضطراب التوتر تتكون هذه الحماية من مقاومة مع قاطع الكتروني [3].



الشكل (3): المخطط الصندوقي للتحكم بالمبدلة المربوطة مع الشبكة

7. المحاكاة والنتائج : تم إجراء المحاكاة خلال زمن 4.4 sec لهبوط التوتر المتناظر و زمن 4.3 sec لهبوط التوتر غير المتناظر وفق البارامترات التالية وبسرعة رياح 8.5 m/sec

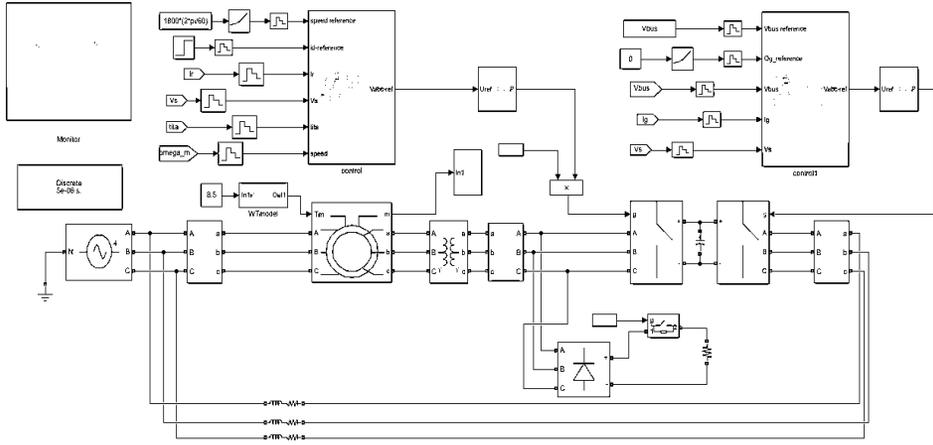
الواحدة	القيمة	البارامتر
$m$	42	قطر الشفرة
$m/s$	12.5	سرعة الرياح الاسمية
$r.p.m$	9 – 18	معدل تغير السرعة (min max turbine)
-----	7.2	Optimum tip speed ratio lopt
-----	0.44	معامل الاستطاعة الاعظمي $p-maxC$
$Kg/m^3$	1.1225	كثافة الهواء
-----	100	نسبة علبه السرعة

الجدول (1): بارامترات التوربين الريحي

الواحدة	القيمة	البارامتر
MW	2.0	الاستطاعة الاسمية للثابت Ps
N.M	12732	العزم الاسمي
V	690	توتر الثابت Vs
r.p.m	1500	السرعة الاسمية
-----	2	عدد الأقطاب
H	$2.5 * 10^{-3}$	التحريضية المغناطيسية
H	$87 * 10^{-6}$	التحريضية التسريية للدوار
H	$87 * 10^{-6}$	التحريضية التسريية للثابت
ohm	0.026	مقاومة الدوار
ohm	0.029	مقاومة الثابت

الجدول (2): بلامتات المولد التحريضي مضاعف التغذية

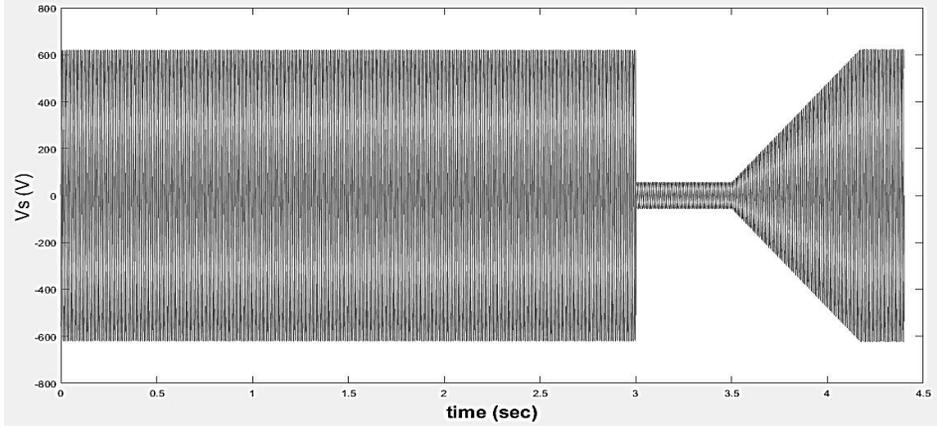
مخطط دائرة المحاكاة للنظام الريحي باستخدام برنامج Matlab



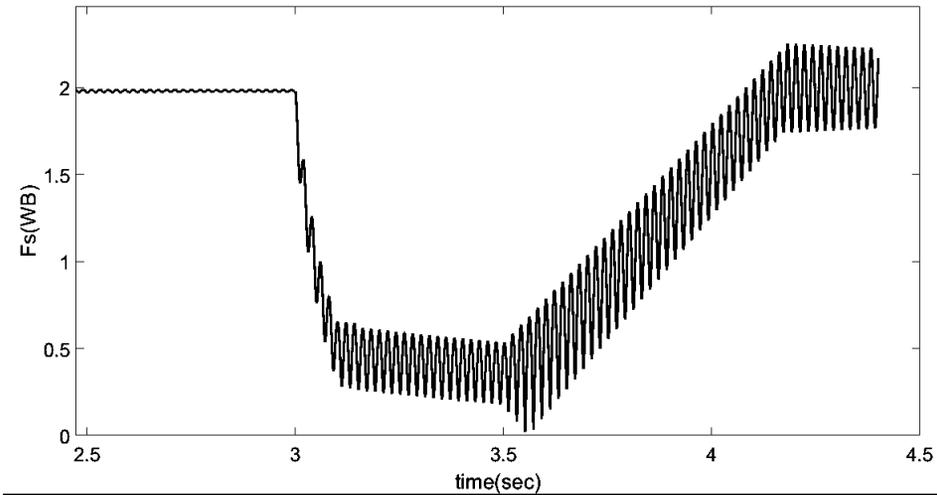
الشكل (4)- مخطط المحاكاة في برنامج Matlab

أ- محاكاة النظام بوجود هبوط توتر متناظر: عند حدوث هبوط في توتر الثابت عند اللحظة 3sec كما في الشكل (5-أ) يتناقص الفيض المغناطيسي ويستمر بالتناقص حتى بدء استعادة التوتر في اللحظة 3.5 sec كما في الشكل (5-ب) ليعود بالتدريج إلى حالة مستقرة جديدة. بالنسبة للعزم يتناقص عن الإشارة المرجعية المحددة بنظام MPPT لحظة بدء العطل إلى الصفر وتظهر تعرجات في إشارة العزم ونلاحظ بالمقابل تغير في إشارة السرعة مما يدل على فقدان التحكم بالسرعة أثناء حدوث الاضطراب، الشكل (5-ج). بالنسبة لتوتر المكثف نلاحظ ارتفاع في مطالبه لحظة بدء هبوط التوتر وتعاني الإشارة من تأرجحات أما تيار الدوار فعاني من قمة كبيرة لحظة بدء العطل تصل قيمته إلى 3000A تقريباً وتكون الإشارة مشوهة وتعاني من تعرجات الشكل (5-د). بالنسبة لتيار الثابت لحظة حدوث العطل يعاني من ارتفاع في القيمة بالإضافة إلى انقلاب تعاقب الأطوار مما يؤدي إلى انزياح بالطور بين موجة تيار وتوتر الثابت.

الشكل (5-e). العزم الكهرومغناطيسي يعاني من لحظة بدء هبوط التوتر  
نتيجة القيمة الزائدة لتيار الدوار في تلك اللحظة الشكل (5-f)

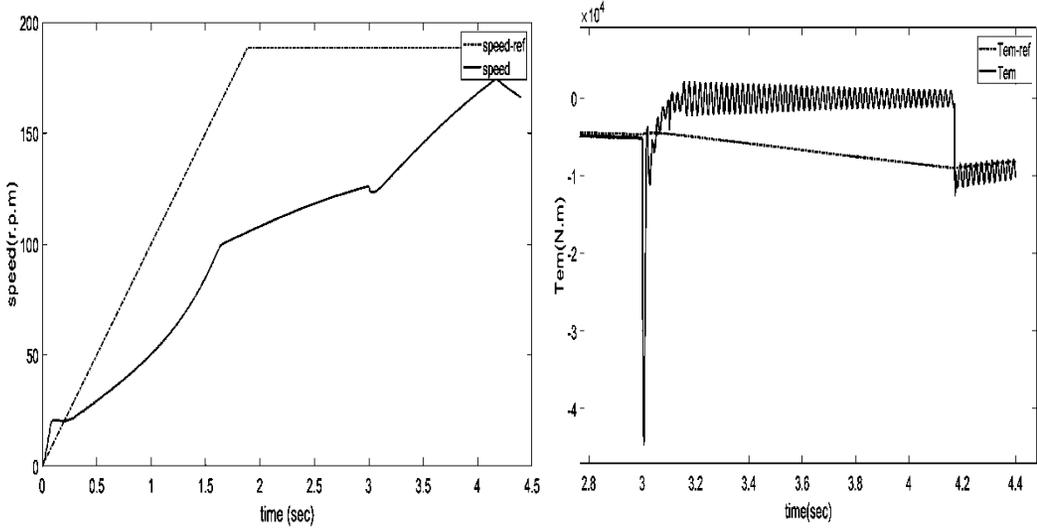


الشكل (5-a) منحنى توتر الثابت مع الزمن

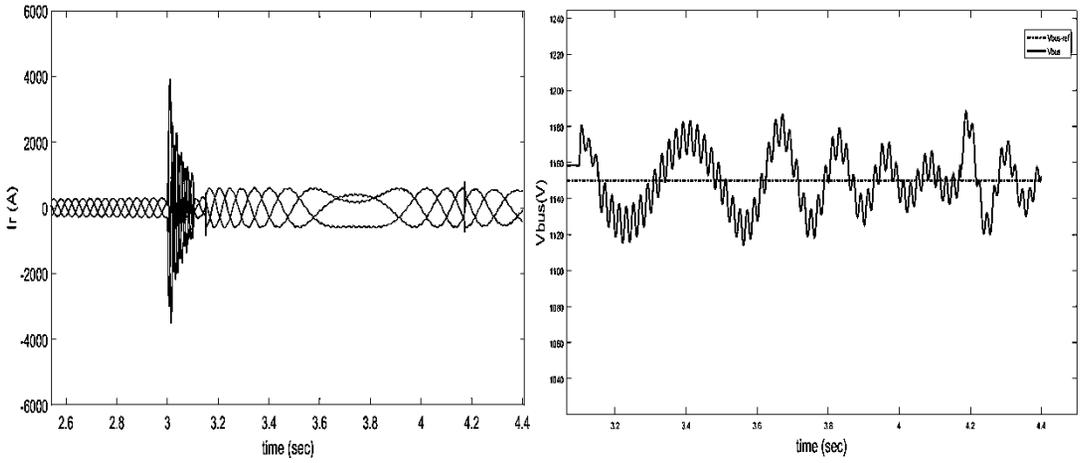


الشكل (5-b): منحنى الفيض المغناطيسي مع الزمن

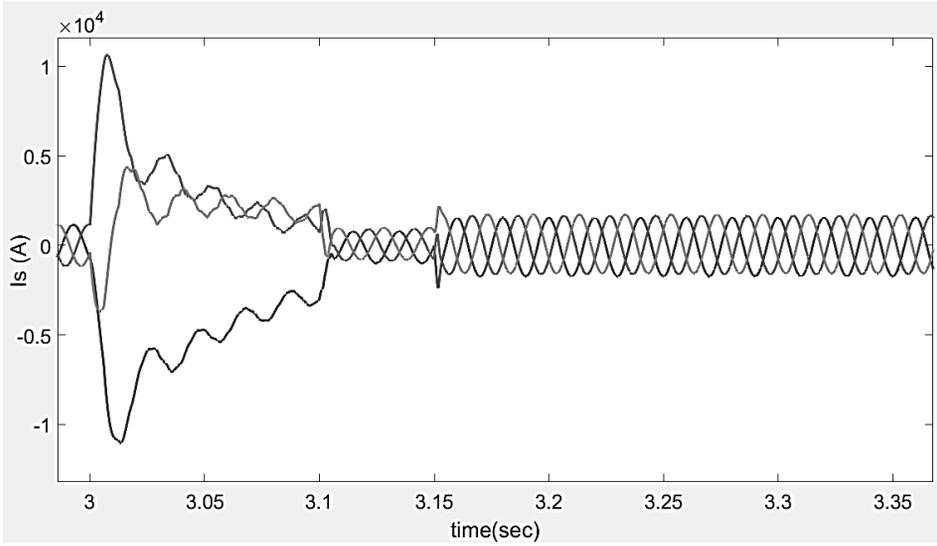
تحليل أداء المولد التحريضي مضاعف التغذية أثناء هبوط التوتر في الشبكة



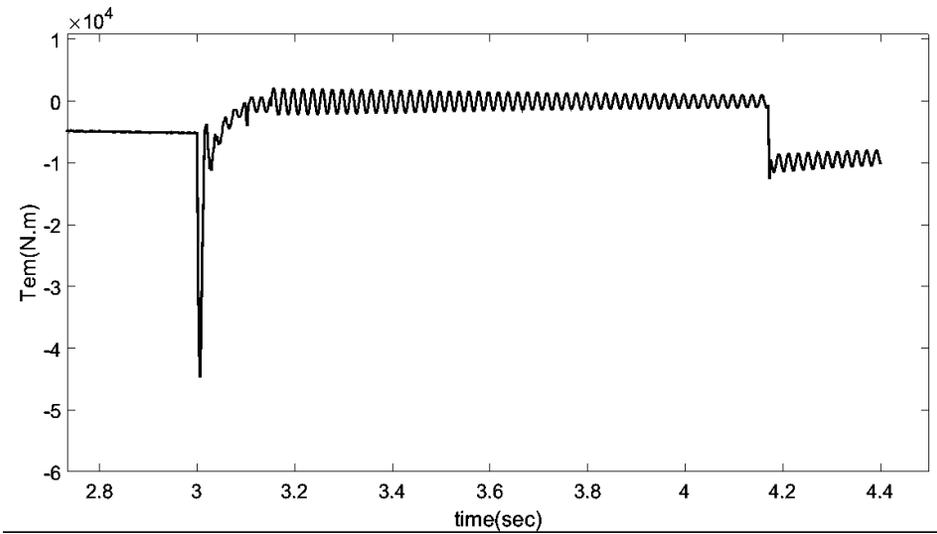
الشكل (5-3): منحنيات العزم والسرعة بالنسبة للزمن



الشكل (5-4): منحنى توتر DC-Link وتيار الدائر مع الزمن



الشكل (5-e): منحنى تيار الثابت مع الزمن

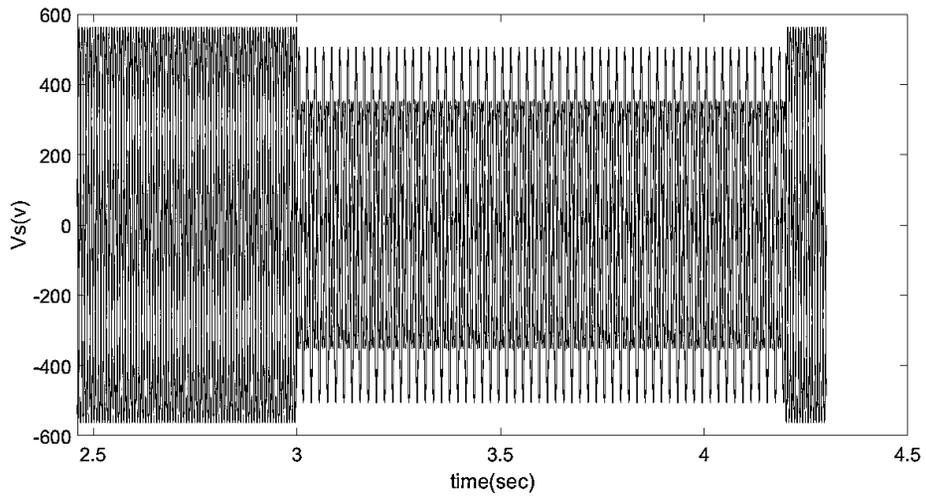


الشكل (5-f): منحنى العزم الكهرومغناطيسي مع الزمن

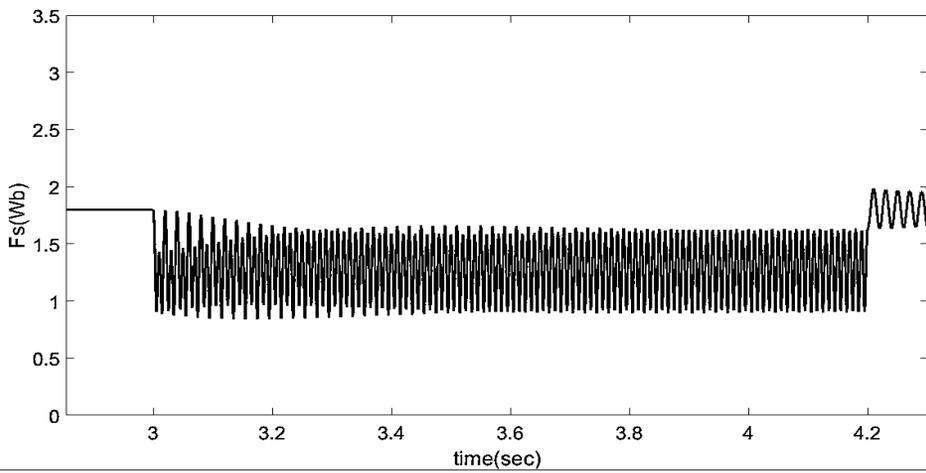
ب- محاكاة النظام بوجود هبوط توتر غير متناظر

يؤدي هبوط التوتر بشكل غير متناظر الشكل (a-6) إلى تناقص في الفيض المغناطيسي طيلة وجود العطل بعدها يبدأ بالتزايد مع بدء استعادة توتر الثابت الشكل (b-6) موجة تيار الثابت تكون غير متناظرة مما يؤدي إلى أن العزم يكون أقل من القيمة المطلوبة من MPPT. تيار الدوار يعاني من زيادة في مطاله أقل منها في حالة العطل المتناظر ونلاحظ أن موجة التيار تحتوي على تذبذبات ونلاحظ أن موجة تيار الدوار تكون متناظرة على عكس موجة تيار الثابت التي تكون غير متناظرة الشكل (b-6)، بالنسبة لتوتر المكثف نلاحظ ارتفاع مفاجئ في قيمته لحظة هبوط التوتر عن القيمة الاسمية تتجاوز 1180V في أول دورة ثم تكون على قيمة 1160 V وهي أيضاً أعلى من القيمة الاسمية كما أن الموجة تعاني من تذبذبات، الشكل (c-6). أما العزم يعاني من تذبذبات يتم فقدان التحكم به في هذه الحالة بسبب تناقص الفيض المغناطيسي مما يؤدي إلى ظهور تغيرات في إشارة السرعة الشكل (d-6)

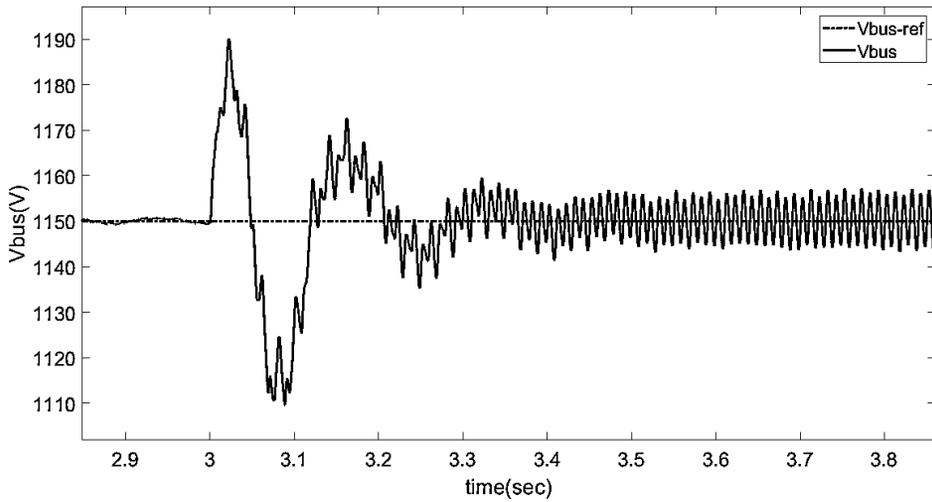
بالنسبة لتيار الدائر نلاحظ أن الموجة تحتوي على تذبذبات وتعاني من ارتفاع في المطال لحظة حدوث العطل 3sec ولكنها أقل قيمة بالمقارنة مع المطال في حالة العطل المتناظر الشكل (e-6). أما تيار الثابت فيكون ذو إشارة غير متوازنة بسبب عدم توازن إشارة التوتر الشكل (f-6).



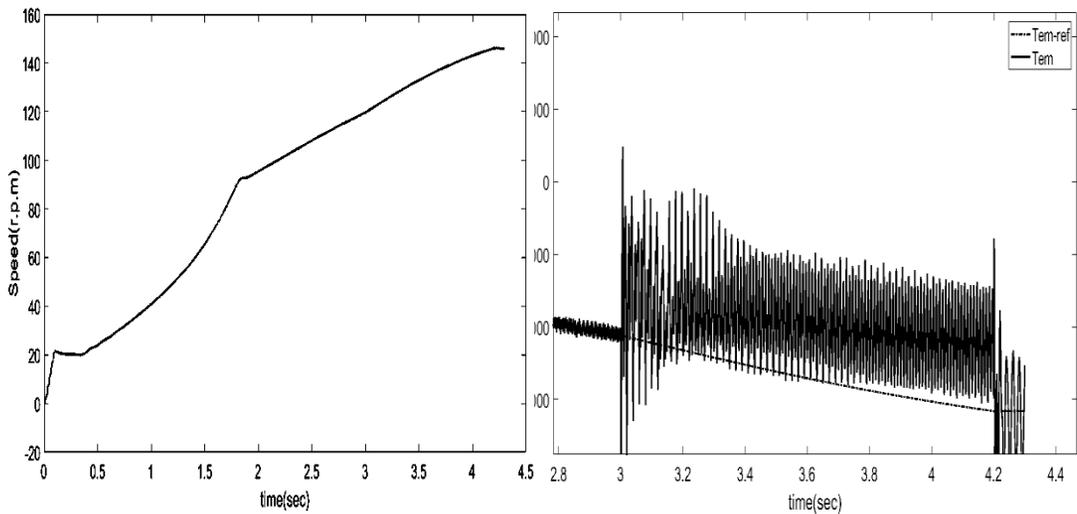
الشكل (6-a): منحنى توتر الثابت مع الزمن



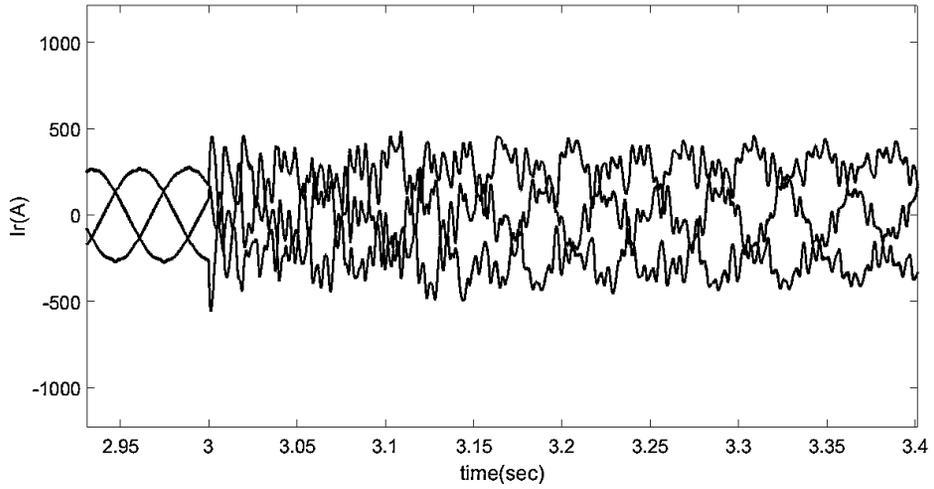
الشكل (6-b): منحنى فيض الثابت مع الزمن



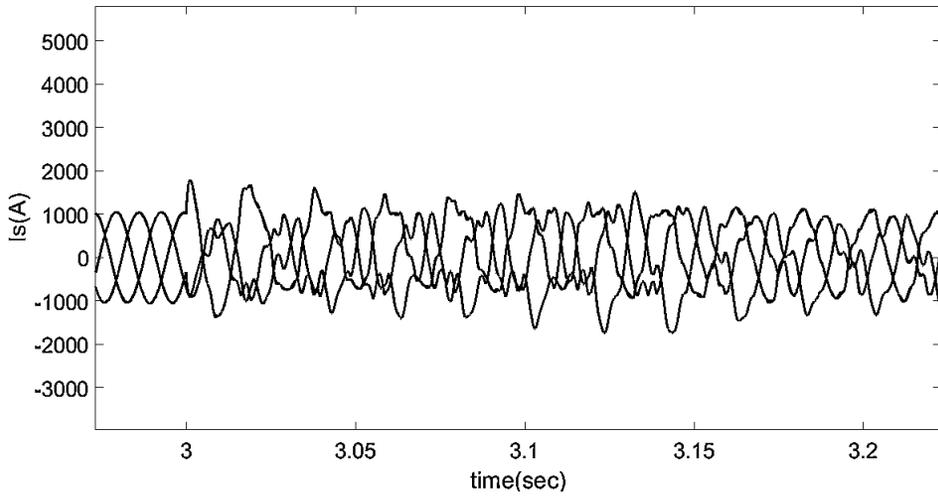
الشكل (6-c): منحنى توتر DC-Link مع الزمن



الشكل (6-d): منحنى العزم والسرعة مع الزمن



الشكل (6-e): منحنى تيار الدائر مع الزمن



الشكل (6-f): منحنى تيار الثابت مع الزمن

## 8. مناقشة النتائج

من خلال دراسة أداء المولد DFIG أثناء حدوث نوعين من هبوط التوتر على ثابت المولد تبين أن بارامترات الآلة (تيار الثابت والدائر وفيض الثابت والعزم وكذلك السرعة) تتأثر بنقصان التوتر بنوعيه على الثابت، نلاحظ أن كلا الحالتين تؤدي إلى نقصان العزم وظهور تذبذبات في إشارته بالإضافة إلى فقدان التحكم في السرعة، لوحظ أن العطل المتناظر يؤدي إلى مطالات أكبر في تيار الدائر لحظة حدوث العطل أكثر من العطل غير المتناظر، بالنسبة تيار الثابت ثلاثي الطور فيكون غير متوازن عند حدوث عطل غير متناظر أما في العطل المتناظر يعاني من انزياح في الطور مع موجة توتر الثابت لحظة انخفاض التوتر. بالإضافة إلى زيادة قيمة توتر DC-Link في حالتي العطل. نستنتج مما سبق ضرورة التخلص من المساوي السابقة للوصول إلى الأداء الموصى به حسب أكواد الشبكات الكهربائية والتي تضمن الموثوقية في العمل.

الجدول التالي يبين قيم مطال التيارات والتوترات الزائدة في كلا الحالتين :

البارامتر	هبوط توتر المتناظر	هبوط توتر غير المتناظر	الحالة المستقرة
تيار الدوار (A)	1920	500	400
توتر المكثف	1180	1185	1150

الجدول (3): نتائج محاكاة المولد

## 9.التوصيات والمقترحات

- 1.دراسة تحليلية للمولد أثناء هبوط التوتر في حالة العمل بسرعات فوق سرعة التواقت (Hypersynchronous) ومقارنته مع حالة العمل بسرعات تحت سرعة التواقت (Subsynchronous)
- 2.تحسين أداء المولد من خلال تقليل القيم الزائدة للتيارات والتوترات في المولد في هذه الحالات.

المراجع:

- [1] Abad G, Lo'pez J, Miguel A. 'guez R, Marroyo L , Iwanski G,2011. **Doubly Fed Induction Machine Modeling and Control for Wind Energy Generation**, IEEE Press,Wiley.
- [2]. Boyu Qin, Hengyi Li , Xingyue Zhou, Jing Li and Wansong Liu 2020. **Low-Voltage Ride-Through Techniques in DFIG-Based Wind Turbines: A Review**. [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci).
- p 1-25.
- [3] 2. Abu-Rub H, Malinowski M, Al-Haddad K,2014. **Power Electronics For Renewable Energy Systems ,Transportation And Industrial Applications ,IEEE ,Press,Wiley.**
- [4] Naderi S, Negnevitsky M,2019. **A Modified DC Chopper for Limiting the Fault Current and Controlling the DC-Link Voltage to Enhance Fault Ride-Through Capability of Doubly-Fed Induction-Generator-Based Wind Turbine**,IEEE.2019.
- [5] Jerin , Kaliannan P, Subramaniam U ,2017.**Improved fault ride through capability of DFIG based wind turbines using synchronous reference frame control based dynamic voltage restorer**. [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com). 2017.

- [6] Silveira, Sidelmo M,2017 .**Fault ride-through enhancement in DFIG with control of stator flux using minimised series voltage compensator.** The Institution of Engineering and Technology.
- [7] Kanasottu Anil Naika, Chandra Prakash Guptab ,2019.**Design and implementation of interval type-2 fuzzy logic-PI based adaptive controller type 2 FLC PI.** [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com).
- [8] Silveira S, Sidelmo M. Silva, 2017. **Fault ride-through enhancement in DFIG with control of stator flux using minimised series voltage compensator.** The Institution of Engineering and Technology.
- [9] Kanasottu Anil Naika, Chandra Prakash Guptab ,2019.**Design and implementation of interval type-2 fuzzy logic-PI based adaptive controller type 2 FLC PI.** , [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com).
- [10] G. Abad, Member, IEEE, M. A. Rodr´ıguez, Member,2017. **Direct Torque Control of Doubly Fed Induction Generator for Wind Energy Conversion System,** IEEE .2017
- [11] Naji W, Gomm B, Alharbi ,2017 .**Genetic Algorithm Optimisation of PID Controllers for a Multivariable Process,** iJES.

[12] Aguilar D, Luna A, Rolan A, Vazquez G,2010. **Modeling and Simulation of Synchronous Machine and its behaviour against Voltage Sags**.IEEE.

[13] Pingle T, Patil S,Student Member, Chopde S,2015.**Modelling and Vector Control of DFIG Using Multilevel Inverter**, IEEE International Conference on Technological Advancements in Power & Energy.

[14] Abad G, Lo'pez J, Miguel A. 'guez R, Marroyo L , Iwanski G,2011. **Doubly Fed Induction Machine Modeling and Control for Wind Energy Generation**, IEEE Press,Wiley.





## دراسة تحليلية لتحديد الإجهادات في شريحة معدنية في عملية السحب العميق في قالب بزواوية ميل ابتدائية

### Analytical Study to Determine Stresses in a Sheet Metal in Deep Drawing Process in Die with a Primary Slope Angle

ياسين دعبول د. هيثم وردة

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

#### ملخص:

يقدم هذا البحث منهجية رياضية لتحديد تغير الإجهادات القطرية والمحيطية ضمن الشريحة المعدنية (الخامة المعدنية دائرية الشكل) بالاتجاه القطري أي باتجاه نصف القطر الحالي عند سحب الشريحة في قالب سحب عميق تقليدي (سطح القالب وسطح القامط أفقيان تماما) وقالب سحب عميق مائل بزواوية  $\alpha$ . استخدم في البحث معادلات توازن القوى المطبقة على شريحة عنصرية في كل مناطق السحب بدءا من منطقة الشفة وهي المنطقة الخارجية من الشريحة المعدنية وصولا إلى المنطقة المركزية من الشريحة المعدنية (منطقة أسفل السنبك)، كما تم استخدام معادلات ثبات الحجم بين نقطتين في كل منطقة من مناطق السحب وكذلك استخدام معادلات اللدونة للمعدن. وتم تقديم مخطط للإجهادات القطرية والمحيطية عبر نصف القطر الحالي وذلك لكلا نوعي القالبين (التقليدي والمائل). ولوحظ انخفاض الإجهادات القطرية في منطقة الجدار وحافة السنبك وأسفل السنبك في حالة القالب المائل بزواوية 7.5 درجة بشكل أكبر منه في حالة القالب التقليدي مع

ثبات كافة الشروط الأخرى التقنية والتصميمية. ويدل مخطط الإجهادات القطرية في القالب المائل على حالة انسياب أفضل وأسهل للشريحة المعدنية من حالة القالب التقليدي، الأمر الذي يؤيد استخدام هذا النمط من القوالب مستقبلا كبديل للقالب التقليدي، وخصوصا بوجود أبحاث تجريبية متلاحقة بما يتعلق بهذا النمط الحديث من قوالب السحب العميق.

### الكلمات المفتاحية:

السحب العميق، القالب المائل، الإجهادات القطرية، الإجهادات المحيطة، النمذجة التحليلية، سهولة الانسياب

**Abstract:**

This study presents mathematical methodology to determine distribution of radial and circumferential stresses through current radius in circular sheet metal when it is drawn in traditional deep drawing die (the die and holder is horizontal) and angular deep drawing die (it has slope angle  $\alpha$ ). It is used forces equilibrium equations on small element in all drawing regions from flange region that is external region of sheet metal to central region of sheet metal (punch bottom region). It is used also volume constancy equations between two neighbor points in each region and used plasticity equations of material. In results, it is presented diagrams of radial and circumferential stresses through current radius for both die types (the traditional and angular die). It is observed that radial stresses decrease in wall, punch profile and punch bottom regions in angular die case with 7.5 degree slope angle comparing with traditional die at same design and technical conditions. It results batter and easier flow of sheet metal in angular die case than traditional die. Because of

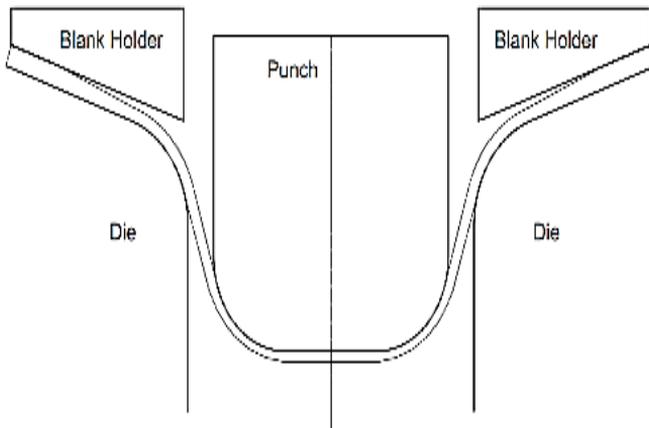
that, the angular dies are going to go be used instead of traditional dies, especially with procedure experiment after one in this range.

**Key Words:**

Deep drawing, angular die, radial stress, circumferential stress, analytical modeling, easy flow.

## مقدمة:

عملية السحب العميق هي عملية من عمليات التشكيل التي يستخدم فيها قالب السحب العميق الذي يتألف من كتلة القالب والقامط والسنبك والشريحة المعدنية ويوضح الشكل (1) نموذج بسيط لقالب سحب عميق تقليدي والذي يبين فيه عملية سحب شريحة معدنية مسطحة خلال فجوة القالب بواسطة السنبك لتشكل منتجا مجوفا على شكل كأس [1]. وخلال عملية السحب في هذا القالب يقوم القامط بمسك الشريحة المعدنية بقوة ضاغطة، وعندما تسحب الشريحة المعدنية قطريا نحو فجوة القالب تتعرض منطقة الشفة (المنطقة الخارجية من الشريحة المعدنية) إلى شد قطري وانضغاط محيطي، وهذا الأخير يسبب تجعدا للشفة إن كانت نسبة السحب عالية أو إن كانت نسبة قطر الكأس إلى سماكة الشريحة المعدنية عالية، ولذا يطبق القامط ضغطا كافيا على الشريحة لمنع التجعد، ويتطلب سحب الكأس بنسب سحب عالية قوى شد قطرية أكبر والذي يؤدي بدوره إلى نشوء إجهادات شد أعلى في الشريحة المعدنية، كما أنه يتطلب إجهاد شد أكبر عند التفاف الشريحة المعدنية على حافة القالب، وكذلك فإن قوى الاحتكاك بين الشريحة المعدنية وأجزاء القالب يؤدي أيضا إلى زيادة إجهاد الشد للشريحة المعدنية في منطقة الجدار، ولكن نظرا إلى أن المادة تملك إجهاد شد أقصى فإن هذا لا يسمح بنسب سحب



أكبر من 2.1 أو 2.2، وقد استخدمت عمليات بديلة للحصول على منتجات كأسية بنسب سحب عالية

مثل التشكيل الهيدروليكي والتشكيل الهيدروميكانيكي، إلا أن هذه العمليات بطيئة نسبياً وتصل فيها نسبة السحب العظمى إلى 3.5-4؛ وحيث أنه تزيد نسبة السحب في القوالب التقليدية من خلال السحب على عدة مراحل [7]. ولذلك سعى الباحثون لزيادة نسبة السحب وتخفيض قوى القمط من خلال إعطاء زاوية لكل من القامط وفتحة القالب ليصبح شكل القالب الجديد (القالب المائل) كما هو موضح بالشكل (2).

الشكل (1)

الشكل (2)

### أهمية البحث:

إن إنتاج المنتجات بجودة عالية وبأقل زمن وتكلفة بدون عيوب هو هدف أساسي في التصنيع ولذلك فقد اتجه الباحثون لتحديد البارامترات المثلى لعملية السحب.

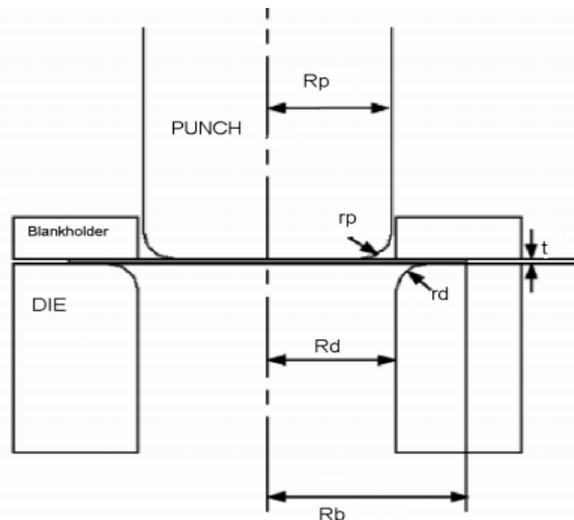
يوجد طريقتين لدراسة عملية السحب العميق وهما الطريقة التجريبية والطريقة التحليلية/العقدية، إذ تعيد الطريقة التجريبية في تحديد بارامترات العملية لإنتاج منتج خال من العيوب، أما الطريقة التحليلية فتستخدم في نمذجة تحليل العملية لتحديد قيم البارامترات في

كل مراحل التشكيل [3].

وإن تقصي حالة

الإجهادات (الأمر الذي

يجري حسابه تحليلياً) ربما



يفيد في التنبؤ باحتمال حدوث تمزق أو حتى تجعد في المنتج المسحوب باعتبار أن العملية التحليلية تراقب تغير الإجهادات في كل تزايد لشوط السنبك أو تخفيض لقطر الشفة.

كما يفيد النموذج التحليلي في التنبؤ بتغيرات السماكة، وبمقارنة النتائج مع التوزع الطبيعي للسماكة يمكن التنبؤ بالمؤشرات الضرورية لقلب السحب لزيادة نسبة السحب، خصوصا إذا تم تطوير النموذج التحليلي لتصل قيم المؤشرات النظرية قريبة من قيم المؤشرات الناتجة عن العملية التجريبية. إن عملية التحليل الرياضي للسحب العميق خطوة مهمة باعتبار أن العملية معقدة بسبب كون مناطق التشوه متعددة ومختلفة.

### الدراسة المرجعية:

#### أولا: الباحث D.M. Woo في عام 1964

كان هدف الباحث الحصول على نموذج تحليلي لعملية السحب العميق في قالب تقليدي والمادة المستخدمة النحاس الأصفر والفولاذ. واستنتج الباحث أن هناك توافق جيد بين الانفعالات المحيطية النظرية والتجريبية بالنسبة للنحاس الأصفر والفولاذ وإن الفروقات الصغيرة تظهر عند استدارة القالب. أما انفعال السماكة فهي في توافق جيد في بداية السحب أما في مراحل السحب اللاحقة فهو ليس كذلك على الرغم من تشابه أشكال المنحنيات ويكون ذلك الاختلاف أكبر في حالة الفولاذ. وعزا ذلك الباحث إلى تباين خواص المادة إلا أن هذه الفروقات لا تؤثر كثيرا على العلاقة بين حمل السنبك النظري والتجريبى [4].

#### ثانيا: الباحث Omer Secgin & Vedat Savas عام 2006

كان هدف الباحث زيادة نسبة السحب وتخفيض قوة القامط بإعطاء زواوية ميل للقالب والقامط تجريبيا واستخدم الباحث مادة الفولاذ DIN EN 10130-91 وتبين للباحثين أن أفضل زواوية هي 15 درجة كما لوحظ انخفاض لقيمة قوة القامط من 10362 N إلى 3002 N وكانت نسبة سحب بدون فشل 2.175 [5].

### ثالثا: الباحثان Muhammet bal , Cebeli Ozec عام 2008

وكان هدفهما البحث في تأثير زوايا القالب والقامط وأنصاف أقطار حافة القالب والسنبك على قابلية السحب تجريبيا. وكانت المادة المستعملة فولاذ منخفض الكربون DIN EN 10130-91 واستنتج الباحثان أنه تزداد قوة السنبك مع زيادة زواوية ميل القالب والقامط وكانت أفضل زواوية ميل 12.5 درجة وأفضل حافة عند نصف قطر 10 mm وقد تم التوصل النسبة سحب عالية 2.3 وكانت قوة السحب عند هذه القيم 41850 نيوتن [6].

### رابعا: الباحث Adnan I. O. Zaid عام 2016

يهدف الباحث إلى البحث في تأثيرات النسبة المئوية للخلوص القطري وأنصاف أقطار استدارة السنبك والقالب وتسجيل منحنيات (إزاحة السنبك-قوة السنبك) تحليليا في القالب التقليدي. المادة هي الفولاذ الكربوني والذي يحوي 0.22%C و 0.5%Mn وكانت سماكة الشريحة المعدنية المستخدمة 0.42 mm وقطرها 180 mm وكانت النسبة المئوية الأفضل للخلوص القطري هي 130% لأنها تجعل التجعد أقل ما يمكن. لوحظ أنه تتناقص قوة السحب العظمى بزيادة نصف قطر استدارة القالب لكن يزداد احتمال تشكل التجعد فكانت القيمة المثلى هي 6 mm أي ما يعادل  $15*t$  (حيث t سماكة الشريحة الابتدائية) [7].

مما سبق نستنتج أن الدراسات المرجعية لم تتطرق لدراسة الإجهادات وارتباطها تحليليا بنصف القطر الحالي للشريحة المعدنية ومن هنا ينبثق هدف البحث.

### هدف البحث:

تحديد العلاقة التي تربط بين نصف القطر الحالي (الموضع القطري لكل نقطة على الشريحة المعدنية عند كل مرحلة تخفيض لقطر الشفة) والإجهادات القطرية والمحيطية مع تغير زاوية ميل القالب.

### دراسة مناطق عملية السحب العميق للشريحة المعدنية

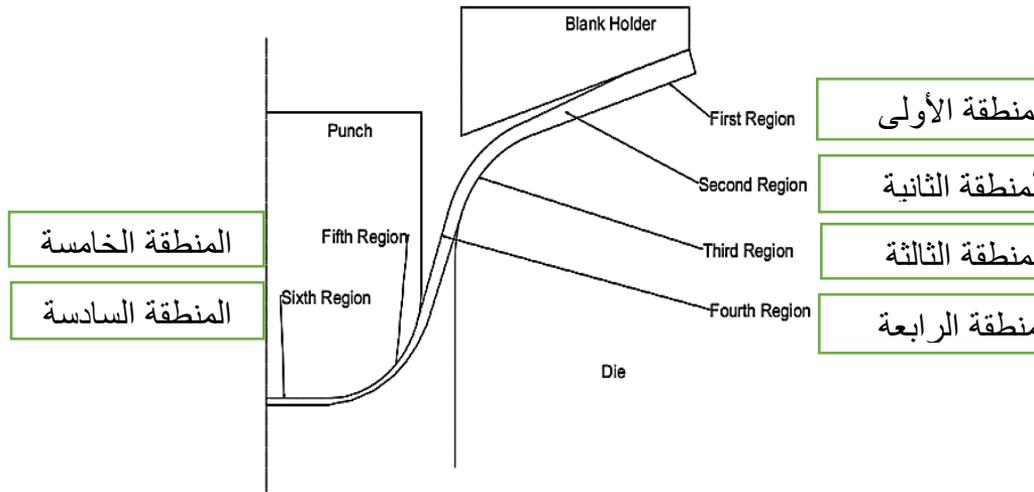
#### مناطق التشكيل في الشريحة المعدنية والعوامل المؤثرة فيها:

- بالنسبة لمتغيرات عملية السحب العميق فهي تنقسم إلى مجموعتين [8]:
- متغيرات تتعلق بالمادة (المتغيرات التقنية): وهي معامل الاحتكاك ومعامل التصلد الانفعالي وإجهاد الخضوع... الخ
  - متغيرات تتعلق بالقالب (متغيرات تصميمية): وهي قطر القالب وقطر السنك ونصف قطر استدارة القالب ونصف قطر استدارة السنك وقوة القامط وزاوية ميل القامط وفتحة القالب... إلخ.

ويتضمن بحثنا إجراء عملية تحليل للسحب العميق لشريحة معدنية عبر قالب يميل بزواوية أخذنا بعين الاعتبار أن الشريحة المعدنية تقسم إلى ستة مناطق [9] وهي:

- المنطقة الأولى: منطقة الشفة على تماس مع القامط
- المنطقة الثانية: منطقة الشفة ليست على تماس مع القامط
- المنطقة الثالثة: منطقة استدارة القالب
- المنطقة الرابعة: منطقة جدار القدر المسحوب
- المنطقة الخامسة: منطقة استدارة السنبك
- المنطقة السادسة: منطقة أسفل السنبك

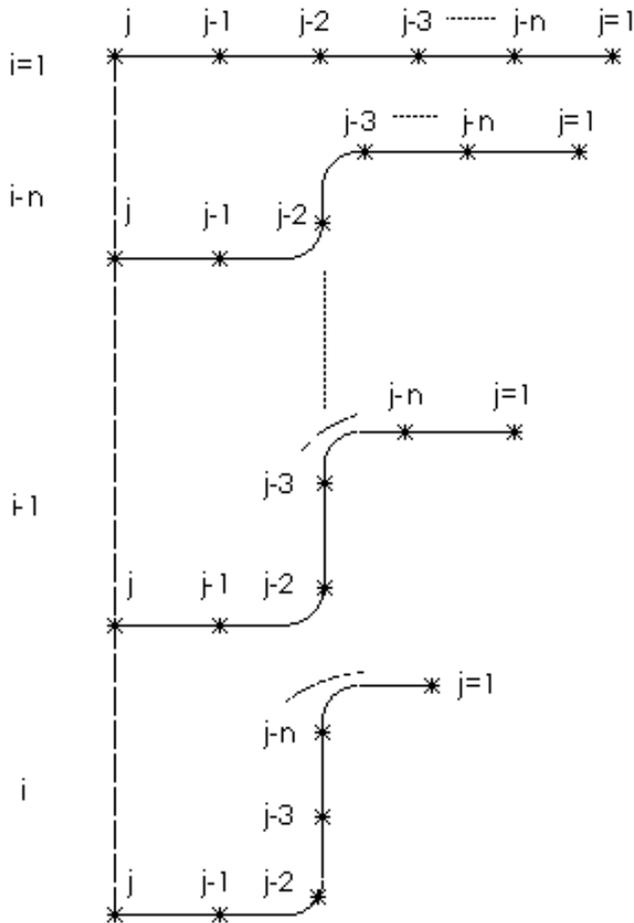
يبين الشكل (3) قالباً حديثاً تقسم فيه الشريحة المعدنية إلى مناطقها الستة.



الشكل (3)

يبدأ الحل في النموذج الرياضي انطلاقاً من منطقة الشفة أسفل القامط ويلبها منطقة الشفة التي لا تماس القامط ثم منطقة حافة القالب ثم منطقة الجدار ومن ثم حافة السنبك وأخيراً أسفل السنبك. ويتم تقسيم الشريحة المعدنية لعدد من النقاط  $z$

ومراحل التخفيض بقطر الشفة يرمز فيها لكل مرحلة انزياح قطري للشفة بالرمز  $i$  باعتبار أن الحل سيبدأ من منطقة الشفة. وتصبح النقاط  $j$  عند كل مرحلة انزياح  $i$  نقاط حساب للإجهادات كما أشار لمبدأ الحل هذا المرجع [4] و [9]. ويوضح الشكل (4) النقاط  $j, j-1, \dots, j-n$  عند مراحل  $i, i-1, \dots, i-n$ .



الشكل (4)

### التحليل الرياضي لعملية السحب للشريحة المعدنية:

إن الدراسة التحليلية الرياضية في هذا البحث تمت على أساس استخدام معادلات اللدونة المستخدمة في القالب التقليدي والتي تستخدم ذاتها في القالب المائل وهذه المعادلات كالتالي [4,9]:

يعطى إجهاد الخضوع في حالة القالب التقليدي بالعلاقة التالية:

$$\overline{\sigma_{i,j}} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_{ri,j} - \sigma_{\theta i,j})^2 + (\sigma_{\theta i,j} - \sigma_{ti,j})^2 + (\sigma_{ti,j} - \sigma_{ri,j})^2]}$$

حيث:  $\sigma_{ri,j}$ : الإجهاد القطري للنقطة  $z$  في المرحلة  $i$ ,  $\sigma_{\theta i,j}$ : الإجهاد المحيطي للنقطة  $z$  في المرحلة  $i$ ,  $\sigma_{ti,j}$ : إجهاد السماكة للنقطة  $z$  في المرحلة  $i$ .  
وتعطى الانفعالات اللدنة في حالة القالب التقليدي بالعلاقات التالية:

$$\varepsilon_{\theta i,j} = \ln \left( \frac{r_{i,j}}{R_j} \right) \quad (2)$$

$$\varepsilon_{ti,j} = \ln \left( \frac{t_{i,j}}{t_0} \right) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ri,j} = -\varepsilon_{\theta i,j} - \varepsilon_{ti,j} \quad (4)$$

$\varepsilon_{ri,j}$ : الانفعال القطري للنقطة  $z$  في مرحلة  $i$ .  $\varepsilon_{\theta i,j}$ : الانفعال المحيطي للنقطة  $z$  في مرحلة  $i$ ,  $\varepsilon_{ti,j}$ : الانفعال بالسماكة للنقطة  $z$  في مرحلة  $i$ ,  $t_{i,j}$ : السماكة عند النقطة  $z$  في مرحلة  $i$ ,  $t_0$ : السماكة الابتدائية.

$r_{i,j}$ : نصف القطر الحالي للنقطة المدروسة  $z$  عند مرحلة انزياح قطرية  $i$ ,  $R_j$ : نصف القطر الابتدائي للنقطة  $z$  (عند  $i=1$ ).

ويعطى الانفعال المكافئ المتزايد بالعلاقة التالية:

$$\overline{\Delta\varepsilon_{i,j}} = \sqrt{\frac{4}{3} [(\Delta\varepsilon_{\theta i,j} + \Delta\varepsilon_{t i,j})^2 - \Delta\varepsilon_{\theta i,j} \Delta\varepsilon_{t i,j}]} \quad (5)$$

حيث  $\Delta\varepsilon_{\theta}$  تزايد الانفعال المحيطي و  $\Delta\varepsilon_t$  تزايد انفعال السماكة.

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_{\theta i,j} &= \varepsilon_{\theta i,j} - \varepsilon_{\theta i-1,j} , \Delta\varepsilon_{t i,j} \\ &= \varepsilon_{t i,j} - \varepsilon_{t i-1,j} \end{aligned} \quad (6)$$

وتعطى علاقات انفعال - إجهاد:

$$\sigma_{\theta i,j} - \sigma_{r i,j} = \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_{i,j}}{\Delta\varepsilon_{i,j}} (2\Delta\varepsilon_{\theta i,j} + \Delta\varepsilon_{t i,j}) \quad (7)$$

$$\sigma_{t i,j} - \sigma_{r i,j} = \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}_{i,j}}{\Delta\varepsilon_{i,j}} (2\Delta\varepsilon_{t i,j} + \Delta\varepsilon_{\theta i,j}) \quad (8)$$

ويعطى الانفعال المكافئ الإجمالي بالعلاقة:

$$\varepsilon_{i,j} = \sum_{i=1}^i \Delta\varepsilon_{i,j} \quad (9)$$

أما العلاقة بين إجهاد الخضوع والانفعال المكافئ فتأخذ الشكل التالي [11]:

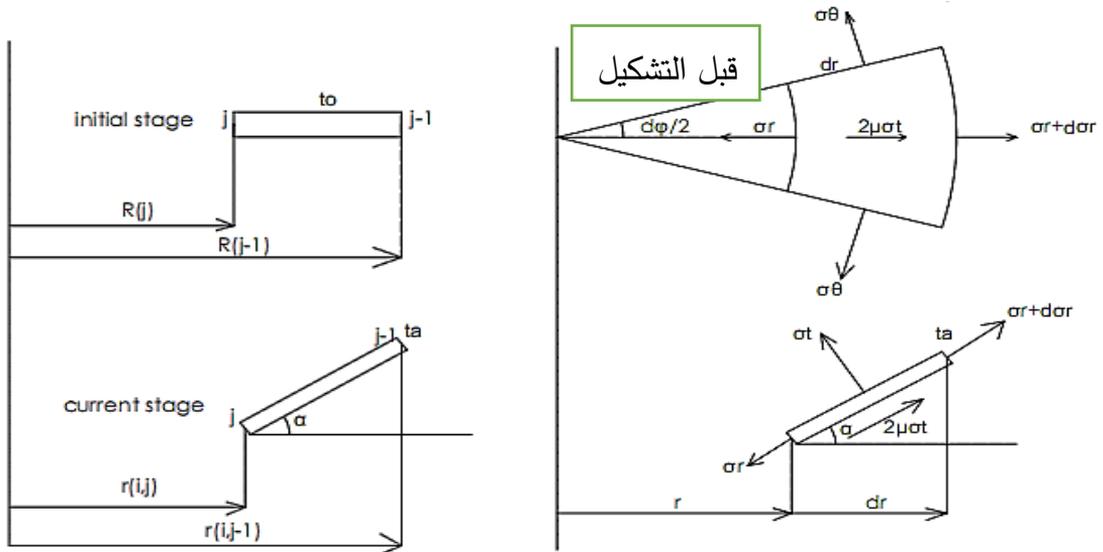
$$\sigma = \sigma_0 + E_t * \varepsilon \quad (10)$$

حيث  $\sigma_0$  إجهاد الخضوع الابتدائي،  $E_t$  معامل اللدونة،  $\varepsilon$  الانفعال الإجمالي.

وللحصول على قيم الإجهادات في كل منطقة من الشريحة المعدنية والتي هي هدف البحث تم التوجه إلى ربط معادلات اللدونة السابقة مع معادلات التوازن ومعادلات ثبات الحجم لكل منطقة من مناطق التشكيل عند عملية السحب وذلك بدءاً من المنطقة الأولى (منطقة الشفة) ولتحقيق ذلك تم تحديد معادلات التوازن وثبات الحجم لهذه المناطق كل على حدة كما يلي:

### المنطقة الأولى (منطقة الشفة الواقعة تحت القامط):

بأخذ شريحة عنصرية متناهية في الصغر بمسقطيها الأفقي والأمامي وواقعة في هذه المنطقة وموضح عليها الإجهادات المؤثرة وهي الإجهاد القطري  $\sigma_r$  والإجهاد المحيطي  $\sigma_\theta$  وإجهاد الاحتكاك  $\mu\sigma_t$  وإجهاد السماكة  $\sigma_t$  (الإجهاد الناتج عن ضغط القامط على الشريحة المعدنية) نحصل على الشكل (5)، ثم بأخذ نقطتين من هذه الشريحة لدراسة ثبات الحجم بين نقطتين متجاورتين قبل التشكيل وبعد التشكيل نحصل على الشكل (6).



بعد التشكيل

الشكل (5)

الشكل (6)

بأخذ توازن القوى بالاتجاه القطري (اتجاه  $\sigma_r$ ) الموضحة بالشكل (5) نحصل على معادلة التوازن التالية (بعد اختصار  $d\phi$  الداخلة في كل حدود المعادلة):

$$\sigma_r * t * r * d\phi + 2 * \sigma_\theta * \sin\left(\frac{d\phi}{2}\right) * t * dr + 2\mu * \sigma_t * \left(r + \frac{dr}{2}\right) * \left(\frac{dr}{\cos\alpha}\right) * d\phi - (\sigma_r + d\sigma_r) * (r + dr) * t * d\phi = 0 \quad (11)$$

إن الزاوية  $d\phi$  صغيرة لذلك يصبح  $\sin(d\phi/2) = d\phi/2$  ويمكن اختزال  $d\phi$  عندئذ من كافة حدود المعادلة السابقة وهذا ما يتكرر في المعادلات اللاحقة أيضا. ولإيجاد مساحة السطح الذي يؤثر عليه إجهاد الاحتكاك  $\mu * \sigma_t$  تم الاستعانة بقانون إقليدس لحساب مساحة السطح في المنتجات المستديرة [8].

بتهديب المعادلة السابقة نحصل على المعادلة التفاضلية لتغير الإجهادات مع تغير نصف القطر الحالي:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \left(\frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r}\right) * dr + \frac{2 * \mu * \sigma_t}{t * \cos\alpha} * dr \quad (12)$$

بكتابة المعادلة التفاضلية (12) على صيغة فرق منتهي وتحويلها إلى تكامل ثم بحل التكامل عدديا باستخدام صيغة Trapezoidal [4] يمكن الوصول للمعادلة بشكلها الجبري الممكن حله، حيث تصبح المعادلة السابقة (12) كما يلي:

$$\sigma r(i, j) = \sigma r(i, j - 1) + \frac{r(i, j) - r(i, j - 1)}{2} * \left[ \frac{\sigma \theta(i, j) - \sigma r(i, j)}{r(i, j)} + \frac{2 * \mu * \sigma t(i, j)}{ta(i) * \cos \alpha} + \frac{\sigma \theta(i, j - 1) - \sigma r(i, j - 1)}{r(i, j - 1)} + \frac{2 * \mu * \sigma t(i, j - 1)}{ta(i) * \cos \alpha} \right] \quad (13)$$

لتحديد نصف القطر الحالي كما هو موضح بالشكل (6) نعتمد على علاقة ثبات الحجم حيث أن الحجم بين نقطتين  $j-1$ ,  $j$  واقعتين في هذه المنطقة قبل التشكيل يحدد بالعلاقة:

$$Vb(i = 1) = 2 * \pi * (R(j - 1) - R(j)) * \left( \frac{R(j - 1) + R(j)}{2} \right) * t_o$$

أما الحجم بين نقطتين  $j-1$ ,  $j$  واقعتين في هذه المنطقة بعد التشكيل:

$$Va(i) = 2 * \pi * \frac{r(i, j - 1) - r(i, j)}{\cos \alpha} * \frac{r(i, j - 1) + r(i, j)}{2} * \frac{t(i, j - 1) + t(i, j)}{2}$$

بمساواة الحجم قبل وبعد التشكيل والإصلاح بهدف حساب نصف القطر الحالي لنقطة على الشريحة المعدنية يصبح:

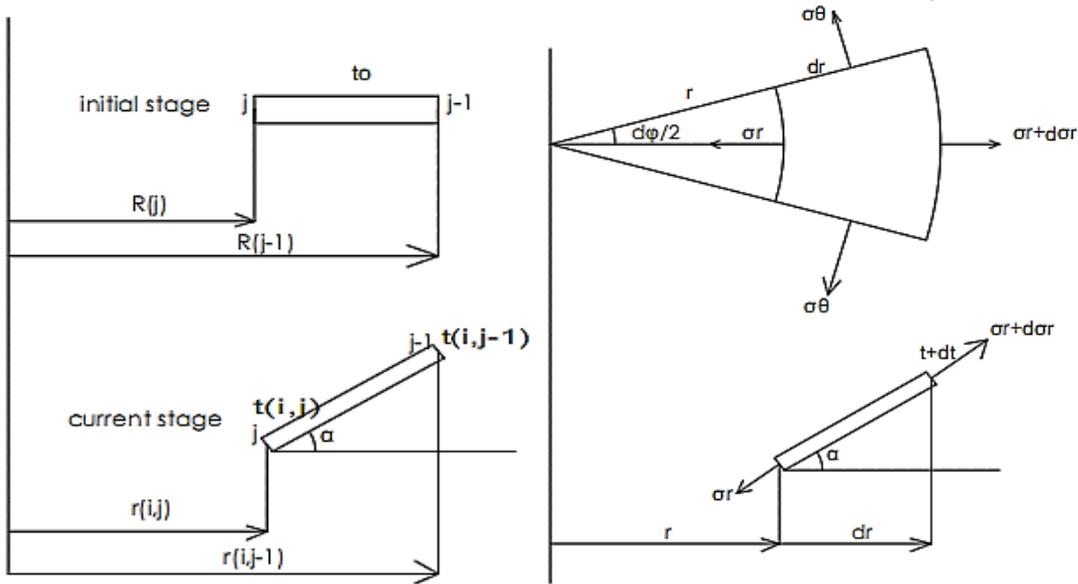
$$\begin{aligned} r^2(i, j - 1) - r^2(i, j) \\ = 2 * (R^2(j - 1) - R^2(j)) * \frac{t_o * \cos \alpha}{t(i, j - 1) + t(i, j)} \end{aligned}$$

أخيرا نحصل على نصف القطر الحالي لنقطة  $j$  عند مرحلة  $i$  كما في العلاقة التالية:

$$\begin{aligned} r(i, j) \\ = \sqrt{r^2(i, j - 1) - (R^2(j - 1) - R^2(j)) * \frac{t_o * \cos \alpha}{ta(i)}} \quad (14) \end{aligned}$$

**المنطقة الثانية (المنطقة الواقعة بين القامط وحافة القالب):**

بأخذ شريحة عنصرية متناهية في الصغر بمستطيقها الأفقي والأمامي وواقعة في هذه المنطقة وموضح عليها الإجهادات المؤثرة وهي الإجهاد القطري  $\sigma_r$  والإجهاد المحيطي  $\sigma_\theta$  نحصل على الشكل (7)، ثم بأخذ نقطتين من هذه الشريحة لدراسة ثبات الحجم بين نقطتين متجاورتين قبل التشكيل وبعد التشكيل نحصل على الشكل (8).



الشكل (7)

الشكل (8)

بأخذ توازن القوى بالاتجاه القطري (اتجاه  $\sigma_r$ ) الموضحة الشكل (7) نحصل على معادلة التوازن التالية:

$$\sigma_r * t * r * d\varphi + 2 * \sigma_\theta * \sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) * t * dr - (\sigma_r + d\sigma_r) * (r + dr) * (t + dt) * d\varphi = 0$$

بإصلاح وتهذيب المعادلة السابقة نحصل على المعادلة التفاضلية التالية:

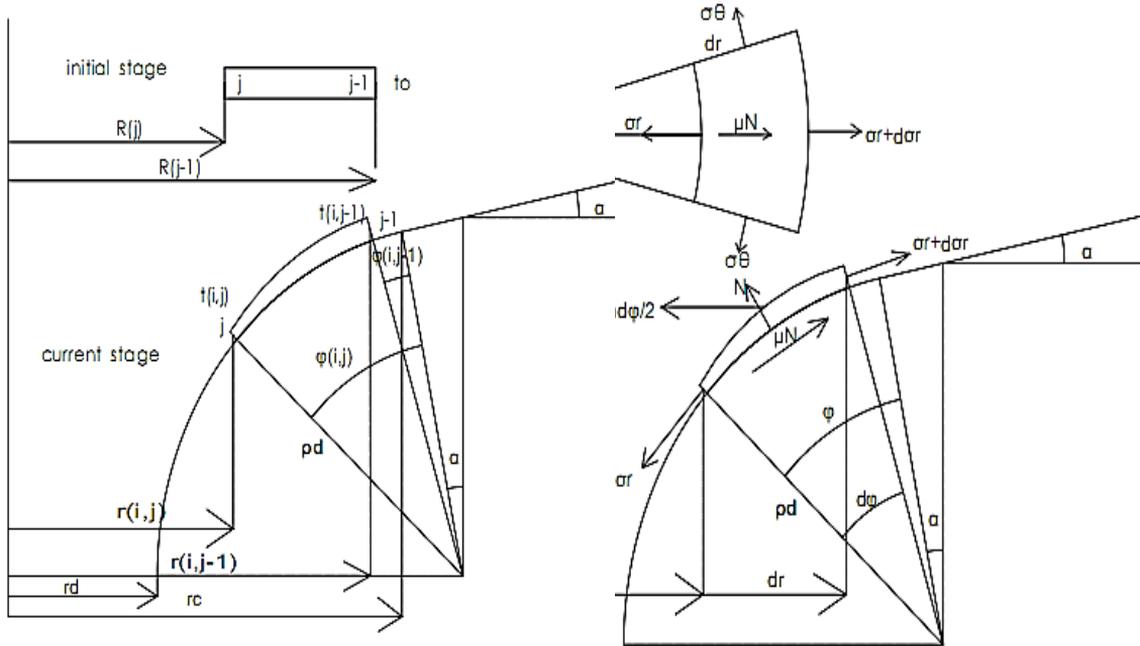
$$\begin{aligned} & d(\sigma_r * t) \\ &= \left(\frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r}\right) * t \\ & * dr \end{aligned} \quad (15)$$

بكتابة المعادلة التفاضلية (15) على صيغة فرق منتهي وتحويلها إلى تكامل ثم بحل التكامل عددياً باستخدام صيغة Trapezoidal [4] يمكن الوصول للمعادلة بشكلها الجبري الممكن حله في بيئة MATLAB. ومن الشكل (8) وبمساواة الحجم قبل التشكيل ( $i=1$ ) وبعد التشكيل ( $i$ ) بين نقطتين متتاليتين  $i-1, i$  نحصل على نصف القطر الحالي لنقطة  $i$  عند مرحلة  $i$  كما في العلاقة التالية:

$$r(i, j) = \sqrt{r^2(i, j - 1) - 2 * (R^2(j - 1) - R^2(j)) * \frac{to * \cos \alpha}{t(i, j - 1) + t(i, j)}} \quad (16)$$

### المنطقة الثالثة (منطقة حافة القالب):

بأخذ شريحة عنصرية متناهية في الصغر بمسقطيها الأفقي والأمامي وواقعة في هذه المنطقة وموضح عليها الإجهادات المؤثرة وهي الإجهاد القطري  $\sigma_r$  والإجهاد المحيبي  $\sigma_\theta$  وإجهاد الاحتكاك  $\mu N$  وإجهاد الضغط الناظمي  $N$  نحصل على الشكل (9)، ثم بأخذ نقطتين من هذه



الشريحة لدراسة ثبات الحجم بين

نقطتين متجاورتين قبل التشكيل وبعد التشكيل نحصل على الشكل (10).

الشكل (9)

الشكل (10)

بأخذ توازن القوى بالاتجاه القطري (اتجاه  $\sigma_r$ ) الموضحة في الشكل (9) نحصل على المعادلة التالية:

$$\sigma_r * r * d\varphi * t + 2 * \sigma_\theta * t * \rho_d * d\phi * \sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) * \cos(\alpha + \phi + d\phi) - \mu * N * r_m * d\varphi * \rho_d * d\phi - (\sigma_r + d\sigma_r) * (r + dr) * (t + dt) * d\varphi * \cos d\phi = 0 \quad (17)$$

ثم بأخذ توازن القوى بالاتجاه المعامد للإجهاد القطري الموضحة في الشكل (9) ذاته نحصل على:

$$N * d\varphi * r_m * \rho_d * d\phi * \cos\left(\frac{d\varphi}{2}\right) + 2 * \sigma_\theta * \sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) * t * \rho_d * d\phi * \sin(\alpha + \phi + d\phi) - (\sigma_r + d\sigma_r) * (t + dt) * (r + dr) * d\varphi * \sin d\phi = 0 \quad (18)$$

بتعويض المعادلة (18) في المعادلة (17) وبالتهذيب والإصلاح الرياضي نحصل على معادلة التوازن التالية:

$$(\sigma_r * t) = - \frac{\rho_d}{rc - \rho_d * \sin(\phi + \alpha) + \rho_d * \sin \alpha} * \{ \sigma_\theta * t [ \cos(\phi + \alpha) + \mu * \sin(\phi + \alpha) ] * d\phi - \sigma_r * t * \cos(\phi + \alpha) * d\phi \} + \mu * \sigma_r * t * d\phi \quad (19)$$

بكتابة المعادلة التفاضلية (19) على صيغة فرق منتهي وتحويلها إلى تكامل ثم بحل التكامل عددياً باستخدام صيغة Trapezoidal [4] يمكن الوصول للمعادلة بشكلها الجبري ويمكن حلها والتعامل معها في بيئة MATLAB.

ومن الشكل (10) تصبح معادلة ثبات الحجم بين نقطتين  $1-j, z$  في مرحلة  $\alpha$  كما يلي:

$$c1 * (\phi(i, j) - \phi(i, j - 1)) - c2 * (\phi(i, j) - \phi(i, j - 1)) * \cos\left(\frac{\phi(i, j) + \phi(i, j - 1)}{2}\right) - (\phi(i, j) - \phi(i, j - 1)) * \sin\left(\frac{\phi(i, j) + \phi(i, j - 1)}{2}\right) - c3 = 0 \quad (20)$$

حيث  $C1, C2, C3$  ثابت ويمكن استنتاج قيمها بعد تهذيب معادلات ثبات الحجم بين نقطتين متتاليتين في هذه المنطقة والتي تستنتج بنفس الطريقة المشار إليها في دراسة المنطقة الأولى ويتم التوصل إلى معادلاتها لتصبح:

$$c1 = \frac{rc + \rho_d * \sin\alpha}{\rho_d * \cos\alpha}$$

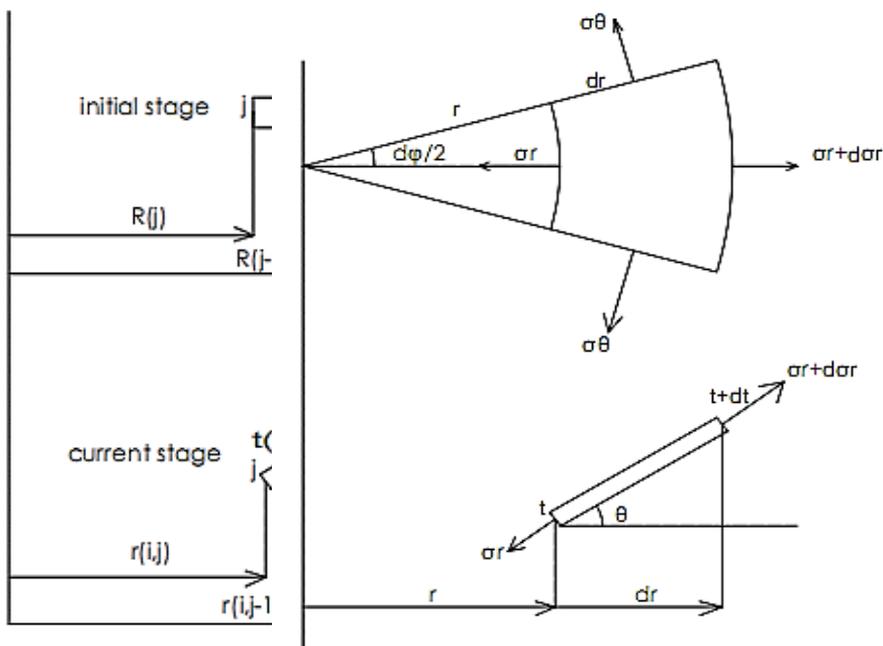
$$c2 = \tan\alpha$$

$$c3 = \frac{(R^2(j-1) - R^2(j)) * t_0}{\rho_d^2 * (t(i, j) + t(i, j - 1)) * \cos\alpha}$$

ويصبح المطلوب هو إيجاد الموضع الزاوي  $\phi_{i,j}$  من المعادلة (20) ويمكن إيجاده باستخدام طريقة من الطرق العددية (طريقة نيوتن-رافسون).

### المنطقة الرابعة (منطقة الجدار):

بأخذ شريحة عنصرية متناهية في الصغر بمسقطيها الأفقي والأمامي وواقعة في هذه المنطقة وموضح عليها الإجهادات المؤثرة وهي الإجهاد القطري  $\sigma_r$  والإجهاد المحيطي  $\sigma_\theta$  نحصل على الشكل (11)، ثم بأخذ نقطتين من هذه الشريحة لدراسة ثبات الحجم بين نقطتين متجاورتين قبل التشكيل وبعد التشكيل نحصل على الشكل (12).



الشكل (11)

الشكل (12)

تعطى معادلة التوازن في هذه المنطقة بالمعادلة التالية [9]:

$$d(\sigma_r * t) = \left( \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r} \right) * t * dr \quad (21)$$

باستخدام ثبات الحجم بين نقطتين متتاليتين  $j-1$ ,  $j$  قبل التشكيل ( $i=1$ ) وبعد

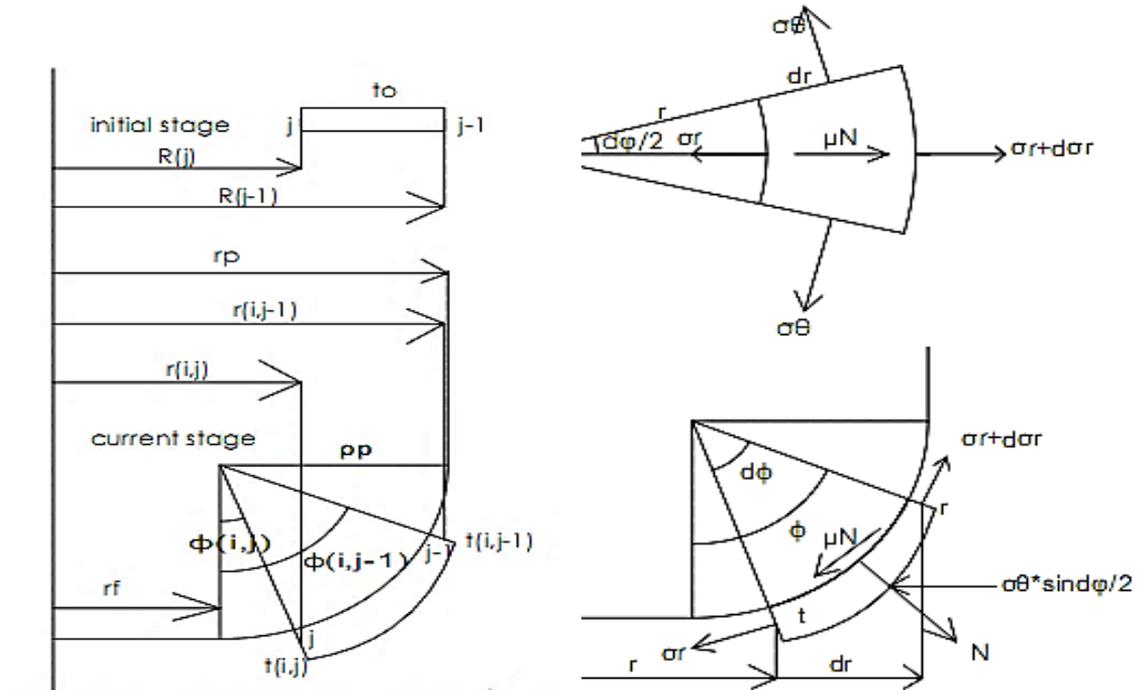
التشكيل ( $i$ ) نحصل على نصف القطر الحالي [9]:

$$r(i, j) = \sqrt{r^2(i, j-1) - 2 * (R^2(j-1) - R^2(j)) * \frac{t_0 * \cos\theta(i)}{t(i, j-1) + t(i, j)}} \quad (22)$$

بكتابة المعادلة التفاضلية (22) على صيغة فرق منتهي وتحويلها إلى تكامل ثم بحل التكامل عددياً باستخدام صيغة Trapezoidal [4] يمكن الوصول للمعادلة بشكلها الجبري الممكن حله في بيئة MATLAB.

### المنطقة الخامسة (منطقة حافة السنك):

بأخذ شريحة عنصرية متناهية في الصغر بمسقطيها الأفقي والأمامي وواقعة في هذه المنطقة وموضح عليها الإجهادات المؤثرة وهي الإجهاد القطري  $\sigma_r$  والإجهاد المحيطي  $\sigma_\theta$  وإجهاد الاحتكاك  $\mu N$  وإجهاد الضغط الناظمي  $N$  نحصل على الشكل (13)، ثم بأخذ نقطتين من هذه الشريحة لدراسة ثبات الحجم بين نقطتين متجاورتين قبل التشكيل وبعد التشكيل نحصل على الشكل (14).



الشكل (13)

الشكل (14)

تعطى معادلة التوازن في هذه المنطقة بالمعادلة التالية [4]:

$$d(\sigma r * t) = [\sigma \theta * t * (\cos \phi + \mu * \sin \phi) - \sigma r * t * \cos \phi] * \frac{\rho_p}{r_f + \rho_p * \sin \phi} * d\phi + \mu * \sigma r * t * d\phi \quad (23)$$

باستخدام ثبات الحجم بين نقطتين متتاليتين  $j-1$ ,  $j$  قبل التشكيل ( $i=1$ ) وبعد

التشكيل (i) نحصل على [9]:

$$c4 * (\phi(i, j - 1) - \phi(i, j)) - (\cos \phi(i, j - 1) - \cos \phi(i, j)) - c5 = 0 \quad (24)$$

حيث  $C4, C5$  ثوابت وتعطى بالعلاقات التالية [9]:

$$c4 = \frac{r_f}{\rho_p}$$

$$c5 = \frac{(R(j-1) - R(j)) * t_0}{\rho_p^2 * (t(i, j-1) + t(i, j))}$$

بكتابة المعادلة التفاضلية (23) على صيغة فرق منتهي وتحويلها إلى تكامل ثم

بحل التكامل عددياً باستخدام صيغة Trapezoidal [4] يمكن الوصول للمعادلة

بشكلها الجبري الممكن حله في بيئة MATLAB.

ويصبح المطلوب هو إيجاد الموضع الزاوي  $\phi_{i,j}$  من المعادلة (24) ويمكن إيجاد

باستخدام طريقة من الطرق العددية التكرارية (طريقة نيوتن-رافسون).

منهجية الحل:

يبدأ الحل من المنطقة الأولى (المنطقة الواقعة تحت القامط)، ومميزات هذه المنطقة أن إجهاد السماكة سالب وأن السماكة منتظمة من نقطة لأخرى وأن الإجهاد القطري للحافة الخارجية يساوي الصفر. فعند كل مرحلة من السحب توافق نصف قطر خارجي حالي  $r_a$  يمكن حساب الانفعال المحيطي وانفعال السماكة لنقاط هذه المنطقة من المعادلات (3)، (2) بعد افتراض قيمة للسماكة  $t_a$  يتم التحقق منها لاحقا في حسابات المنطقة ذاتها. بعد ذلك يتم حساب تزايد الانفعال المحيطي وانفعال السماكة من المعادلة (6) ثم حساب تزايد الانفعال المكافئ من المعادلة (5) ثم حساب الانفعال المكافئ الإجمالي من المعادلة (9). وبعد ذلك يتم حساب إجهاد الخضوع من المعادلة (10)، وبعد ذلك يتم حساب فرق الإجهادات المحيطية والقطرية من المعادلة (7) وفرق إجهادات السماكة والقطرية من المعادلة (8). ويمكن حساب الإجهاد القطري من المعادلة (13) وإعادة حساب الإجهاد المحيطي وإجهاد السماكة من المعادلات (8)، (7). ويعتبر شرط الفصل بين المنطقة الأولى والثانية هو إما أن يكون إجهاد السماكة أكبر أو مساو للصفر أو أن يكون نصف القطر الحالي المحسوب من معادلة ثبات الحجم (14) أصغر أو يساوي  $r_c$  والذي هو نصف قطر نقطة بداية حافة القالب. وللتحقق من السماكة المفروضة نتفحص المقدار التالي [4]:

$$\sum_{r_a}^{r_b} \sigma_t * 2\pi r * \Delta r$$

فإذا كان هذا المقدار متقارب مع قوة القمط المطبقة فإن الحل يعتبر محققا والسماكة المفروضة صحيحة ويمكن الانتقال للمنطقة الثانية. إن إجهاد السماكة يعتبر مساو للصفر في دراسة المناطق الثانية والثالثة والرابعة والخامسة والسادسة

كما أشير لذلك في المرجع [4]. وفي المنطقة الثانية (منطقة بين القامط والقالب) يبدأ الحل من افتراض قيمة للسماكة عند النقطة المدروسة وبحيث تساوي سماكة النقطة السابقة، ثم يكرر حساب انفعال السماكة والانفعال المحيطي ثم تزايداتها ثم تزايد الانفعال المكافئ ثم الانفعال المكافئ الإجمالي ثم حساب إجهاد الخضوع كما في المنطقة الأولى ومن ثم حساب الإجهاد القطري من المعادلة (8) ثم حساب الإجهاد المحيطي من المعادلة (7) ومن ثم حساب المقدار:

$$A = \sigma_r * t$$

ثم حساب المقدار  $B = \sigma_r * t$  من حل معادلة التوازن (15). ويقارن المقدار A مع المقدار B فإذا كان الفرق بين المقدارين أصغر أو يساوي 0.02 فالسماكة المفوضة صحيحة [4] ويمكن الانتقال لدراسة النقطة التالية، وصولاً لشرط الانتقال للمنطقة الثالثة وهو أن يصبح نصف القطر الحالي المحسوب بالمعادلة (16) أصغر أو يساوي 0.2. إن دراسة المنطقة الثالثة والرابعة والخامسة ماثلة تماماً لدراسة المنطقة الثانية مع معرفة شروط الانتقال التالية بين المنطقة والأخرى:

1. شرط الانتقال من المنطقة الثالثة (منطقة حافة القالب) إلى المنطقة الرابعة (منطقة الجدار) هو أن يكون الموضع الزاوي للنقطة المدروسة  $\phi_{i,j}$  أكبر أو يساوي الزاوية  $\theta$  والتي يتم افتراضها أولاً مساوية لقيمتها عند مرحلة الإزاحة القطرية السابقة والتحقق منها في نهاية دراسة المنطقة الخامسة (حافة السنك)، وحيث أنه يتم حساب المقدار B في هذه المنطقة (الثالثة) من حل معادلة التوازن (19)، ويتم حساب الموضع الزاوي  $\phi_{i,j}$  من معادلة ثبات الحجم في هذه المنطقة (20) بطريقة تكرارية (نيوتن رافسون).

2. شرط الانتقال من المنطقة الرابعة (منطقة الجدار) إلى المنطقة الخامسة (منطقة حافة السنك) أن يكون الموضع القطري للنقطة المدروسة أصغر من الموضع القطري لنقطة نهاية حافة السنك والذي يتم حسابه اعتمادا على قيمة الزاوية  $\theta$  المفروضة  $r_2 = r_f + \rho_p \sin \theta$  حيث  $r_f$  نصف قطر حافة السنك بدون إضافة نصف قطر حافة السنك. ويحسب المقدار B في هذه المنطقة (الرابعة) من حل معادلة التوازن (21) ويحسب نصف القطر الحالي للنقطة المدروسة من المعادلة (22).

3. شرط الانتقال من المنطقة الخامسة (حافة السنك) إلى السادسة (أسفل السنك) هو أن يكون الموضع القطري للنقطة المدروسة أصغر أو يساوي  $r_f$ . ويحسب المقدار B في هذه المنطقة (الخامسة) من حل معادلة التوازن (23) ويحسب الموضع الزاوي في هذه المنطقة من معادلة ثبات الحجم (24) بطريقة تكرارية (نيوتن رافسون مثلا).

يتم التحقق من قيمة الزاوية  $\theta$  المفروضة بحيث نتفحص المقدار  $|\epsilon_r - \epsilon_\theta|$  فإن كان متقارب من الصفر (أصغر من 0.000001) تكون قيمة الزاوية المفترضة صحيحة [9] وإلا تعاد الحسابات اعتمادا على قيمة جديدة للزاوية  $\theta$  يتم تعيينها اعتمادا على طريقة من طرق البحث التكرارية (طريقة bisection).

### المادة المدروسة والقالب:

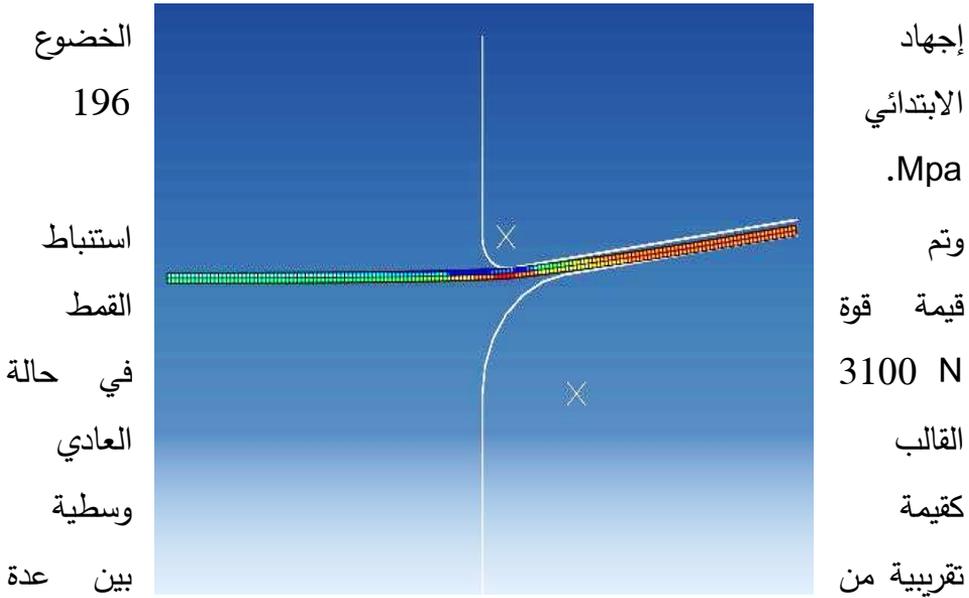
تم تحويل منهجية الحل المشروحة سابقا إلى برنامج في بيئة MATLAB وتم اعتماد المادة والمعطيات التالية [10,11]:

المادة المدروسة: فولاذ منخفض الكربون AISI 1008 سماكة 0.5 mm ونصف قطر الشريحة المعدنية 40 mm ومعامل احتكاك 0.05 ونصف قطر حافة

القالب والسنبك 6 mm وزوايا قالب 0 degree مع قوة قمت 3100 N وزاوية 7.5 degree مع قوة قمت 2325 N. ونمط التصاد bilinear وفيه:

إذا كان الانفعال المكافئ  $\geq 0.15$  يصبح  $E_t = 1530 \text{ Mpa}$

وإذا كان الانفعال المكافئ  $\leq 0.15$  يصبح  $E_t = 222 \text{ Mpa}$



قيم مطروحة في المرجع [11].

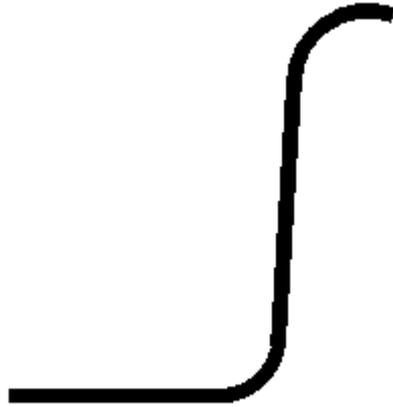
وتم استتباط قيمة قوة القمط 2325 N في حالة القالب المائل من طرح 775 N من 3100 N حيث أن 775 N هي القوة التقريبية اللازمة لإنشاء التشوه الصغير بالقامط (التشكيل بالقامط) كما يبين الشكل (15).

الشكل (15)

وبعد إدخال المعطيات السابقة إلى البرنامج المنشأ في بيئة MATLAB والذي يربط مناطق السحب للشريحة المعدنية من خلال العلاقات السابقة التي تم إيجادها يمكن الحصول على النتائج.

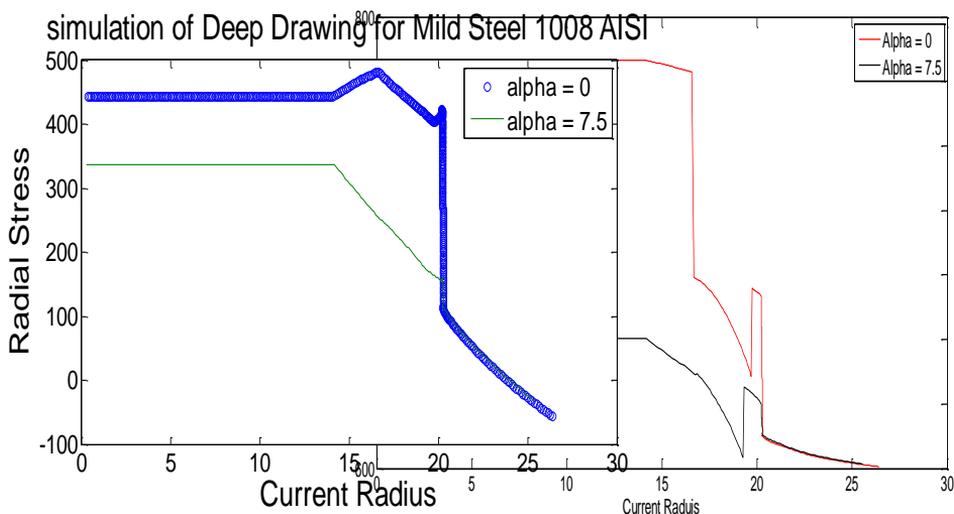
النتائج:

يبين الشكل (16) الشريحة المعدنية بعد السحب بشوط 29.5 mm.



الشكل (16)

بعد إدخال المعادلات الرياضية كما ذكر سابقا إلى بيئة MATLAB تم الحصول



على المخططات التالية:

الشكل (17)

الشكل (18)

يبين الشكل (17) مخطط توزيع الإجهادات المحيطة عبر نصف القطر الحالي للشريحة المعدنية، وكما نلاحظ أن الإجهاد المحيطي في القالب المائل ( زاوية الميل  $7.5^\circ$ ) يبدأ في منطقة الشفة حيث نصف قطر الشفة يساوي 26.5 mm من قيمة دنيا سالبة تصل إلى حوالي 590 MPa- ويتناقص تدريجيا باتجاه منطقة المركز في المنتج لتصبح قيمته 200 MPa-، ويرجع سبب قيمته السالبة إلى كونه إجهاد ضغط. يلاحظ من المخطط أنه بعد نصف القطر 20 mm يتناقص الاجهاد المحيطي تقريبا للقيمة 320 MPa- ثم يزداد الى القيمة 580 MPa- تقريبا ثم يتناقص الاجهاد الى القيمة 200 MPa- عند نصف قطر 14 mm وبعدها يثبت قيمة الاجهاد حتى مركز الشريحة المسحوبة

تحت السنك. أما في القالب التقليدي (زاوية الميل  $0^\circ$ ) فإن الاجهاد المحيطي يبدأ في منطقة الشفة من قيمة دنيا سالبة تصل إلى حوالي 600 MPa - ويتناقص تدريجياً إلى قيمة الصفر عند نصف قطر 17 mm تقريباً ثم يزداد الاجهاد بشكل كبير إلى قيمة 660 MPa عند نصف قطر 14 mm وهو بداية تقوس حافة السنك من أسفل السنك ثم تثبت هذه القية باتجاه منطقة المركز في المنتج وهو يعتبر إجهاد شد محيطي.

في حين يبين الشكل (18) مخطط توزع الإجهادات القطرية عبر نصف القطر الحالي للشريحة المعدنية. ويلاحظ من المخطط أن الإجهاد القطري في حالة القالب المائل (زاوية الميل  $7.5^\circ$ ) يبدأ من قيمة دنيا 50 MPa - عند منطقة الشفة (نصف قطر الشفة 26.5 mm) وهو إجهاد ضغط، ويزداد تدريجياً ليبلغ قيمة 0 MPa عند نصف قطر 22.5 mm ضمن منطقة حافة القالب ويستمر الإجهاد القطري بالتزايد التدريجي لنهاية منطقة حافة القالب (نصف قطر 20.55 mm) فيصبح قيمته 100 MPa (وهو إجهاد شد)، ثم يقفز بشكل صغير إلى 150 MPa في منطقة الجدار ثم يبدأ مرة أخرى بالتزايد التدريجي في منطقة حافة السنك باتجاه المركز ليبلغ قيمة 330 MPa عند نصف قطر 14 mm ويحافظ على هذه القيمة باتجاه منطقة المركز في المنتج. أما في القالب التقليدي (زاوية الميل  $0^\circ$ ) فإن قيم الإجهاد القطري في منطقة الشفة وحافة القالب مشابهة لقيم الإجهاد القطري في القالب المائل إلا أنه في منطقة الجدار تقفز قيم الإجهاد القطري بشكل مفاجئ من قيمة 100 MPa إلى قيمة 430 MPa ثم تعود لتتخفف إلى 415 MPa في بداية تقوس حافة السنك (وهي المنطقة الأكثر تعرضاً للاستطالة والتمزق في عملية السحب العميق) وتعود قيمة الإجهاد القطري لترتفع مرة أخرى ضمن منطقة حافة السنك باتجاه منطقة المركز لتصل إلى 480

MPa تقريبا عند نصف قطر 17 mm ومن ثم تعود وتنخفض بعد هذا الموضع إلى 450 MPa عند نصف قطر 14 mm وأخيرا تثبت هذه القيمة بعد هذا الموضع إلى مركز المنتج. كما يظهر الشكل (18) أنه في حالة القالب المائل لا يحدث ارتفاع وهبوط للإجهاد القطري عند بداية تقوس السنك كما هو الحال في حالة القالب التقليدي وإنما يحافظ على زيادته التدريجية بشكل أفضل مما يبين أنه في حالة القالب المائل لا تتعرض الشريحة المعدنية في هذا الموضع الحرج إلى تفاوتات بالإجهاد ويدل ذلك على انسيابها السهل الذي لم يتحقق في القالب التقليدي.

### الاستنتاجات:

نستنتج مما سبق ما يلي:

1. إن الإجهادات المحيطة في القالب المائل أقل بكثير منها في القالب التقليدي ويلاحظ الفرق في الإجهادات المحيطة في القالب المائل من القيمة العظمى إلى القيمة الدنيا هو بحدود 390 MPa أما في القالب التقليدي فإن فرق إجهادات الضغط المحيطة هي بحدود 600 MPa و فرق إجهادات الشد المحيطة هي بحدود 660 MPa وهذا يوضح أن عملية السحب في القالب المائل أفضل بكثير من القالب التقليدي.

2. يلاحظ من مخطط الإجهادات القطرية أن الإجهادات القطرية في القالب المائل أقل منها في القالب التقليدي حيث تبلغ أكبر قيمة للإجهاد القطري في القالب المائل 330 MPa تقريبا في حين تبلغ أكبر قيمة للإجهاد القطري في القالب التقليدي 490 MPa تقريبا مما يعني أن الفرق بينهما بحدود 160 MPa وهي قيمة كبيرة إلى حد ما. وهذا يدل على أن عملية السحب في القالب المائل أفضل

بكثير من عملية السحب في القالب التقليدي إذ يفسر ذلك سهولة انسياب الشريحة المعدنية أثناء عملية السحب في القالب المائل.

3. يتبين أن الإجهاد القطري متدرج في حالة القالب المائل بشكل أكبر من حالة القالب التقليدي ويتبين ذلك بوضوح في منطقة حافة السنبك.

4. يتبين أن في حالة القالب العادي يتزايد الإجهاد المحيطي أكثر عند التوجه باتجاه المركز ليتحول إلى إجهاد شد كبير، في حين أنه في حالة القالب المائل لا تزال قيمه ضمن القيم السالبة مما يدل على استمرار حالة الانضغاط المحيطة وسبب ذلك غالبا هو تأثير القامط عند نزوله والذي أدى لانضغاط محيطي في المركز وسهولة انسياب الشريحة المعدنية.

#### التوصيات:

1. يمكن مستقبلا تطوير النموذج التحليلي بحيث يتضمن نماذج تصلد أخرى للمادة المعدنية وبحيث يأخذ بعين الاعتبار تأثير الثني وزوال الثني (bending and unbending).
2. كما يمكن تطوير النموذج التحليلي ليأخذ بعين الاعتبار تأثير تباين خواص المادة المعدنية المدروسة وخصوصا بالنسبة لمادة الفولاذ.
3. ويوصى أيضا اعتبار دراسة التجعد والتمزق في النموذج التحليلي.

## المراجع

- [1] Dixit Prakash M., and Dixit Uday S., 2008– Modeling of metal forming and machining process by finite element and soft computing methods. Springer, London, pp.590.
- [2] Vedat Savaş and Ömer Seçgin, 2009– An experimental investigation of forming load and side– wall thickness obtained by a new deep drawing die. *Springer*, pp.6.
- [3] Najmeddin Arab and Abotaleb Javadimanesh, 2013– Theoretical and Experimental Analysis of Deep Drawing Cylindrical Cup. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 336–342.
- [4] WOO D.M., 1964– Analysis of the cup–drawing process. *Journal mechanical engineering science*, 6(2) , 116–131.
- [5] Vedat Savas and Omer Secgin, 2006– A new type of deep drawing die design and experimental results. *ELSEVIER*, 1330–1333.
- [6] ÖZEC C., and BAL M., 2008– The effect of die/blank holder and punch radiuses on limit drawing ratio in angular deep–drawing dies. *Springer*, 1077–1083.
- [7] ZAID A., 2016 – Deep drawing mechanism, parameters, defects and recent results: state of the art. *IOP Science*, 1–10.

- [8] VUKOTA BOLJANOVIC, Ph.D, 2014- SHEET METAL FORMING PROCESSES AND DIE DESIGN. United States of America, pp.279.
- [9] Hossam Hamdy Gharib, 2004-ANALYSIS OF THE CUP DRAWING PROCESS AND OPTIMIZATION OF THE BLANK HOLDER FORCE. *The American University in Cairo*, pp.146.
- [10] Dr. Karem M. Younis and Jalil J. Shukur, 2014- Effect of Blank Holder Inclination Angle on Deep Drawing of Round Mild Steel Cup with Flange. *University of Technology/ Baghdad*, 1764-1775.
- [11] Dr. ABDUL KAREEM FLAIH HASSAN and ALI HASOON ABDULHADI, 2014 - Finite Element Simulation of Deep Drawing Parameters Effects on Cup Wall Thickness. *University of Basrah / Basrah / Iraq*, 1-13.

