

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 9

1446 هـ . 2024 م

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

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

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
32-11	د. عبد المعين أحمد الرفاعي	طريقة جديدة للتحليل العددي لمصفوفة الهوانيات السلكية ذات العدد الكبير من المشعات
58-33	عبد الهادي الفوال د عبد الكريم السالم د. أسل الخضر	تطوير رنانة مشطية ثنائية النمط باستخدام خطوط النقل ثلاثية النواقل
84-59	د هيثم الرضوان د. حسن البستاني علاء رافع حبيب	استخدام المنطق العانم لتصميم نموذج عام لتحسين حساب الوثوقية في النظم والتجهيزات الإلكترونية عموماً ونظم الاتصالات تحديداً
128-85	م. محمد ديب د. ناصر أبو صالح	إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام نماذج التعلّم العميق المعتمدة على الانتباه لتحسين التنبؤ بالتقييمات
150-129	م. مهند تقلا م. نور عبشي	محاكاة تأثير طريقة توضع الحاجز المادي في أنظمة الري تحت السطحي لري محصول البطاطا

طريقة جديدة للتحليل العددي لمصفوفة الهوائيات السلكية ذات العدد الكبير من المشعات

د. م عبد المعين أحمد الرفاعي

أستاذ مساعد - كلية الهندسة - قسم الاتصالات - الجامعة الوطنية الخاصة

الملخص:

ترتبط النمذجة العددية لمصفوفة الهوائيات السلكية الكبيرة الحجم بالحاجة لاحتساب التأثير المتبادل بين المشعات في المصفوفة، الذي يؤدي إلى تغير كبير في ممانعة الدخل وفي المخطط الإشعاعي للمشع في المصفوفة مقارنةً بالمشع المعزول. تعتبر طريقة المعادلات التكاملية الطريقة الأكثر دقة للتحليل العددي للمشع السلكي، لكن إمكانيات هذه الطريقة مقيدة وبشكل كبير بالأبعاد الموجية الكبيرة للمشع أو لمصفوفة ذات عدد كبير من المشعات. تم في هذه المقالة استعراض طريقتين للتغلب على تلك القيود. تم في تلك الطريقتين تجزئة المصفوفة إلى عدد من الأجزاء المتماثلة. تراعي الطريقة المعروفة وبشكل تقريبي التأثير المتبادل بين المشعات. تسمح الطريقة المقترحة إضافة لما سبق باحتساب تأثير أثر الحافة بين أجزاء المصفوفة. أدى احتساب تأثير أثر الحافة في الطريقة المقترحة إلى دقة كبيرة في تحديد ممانعة دخل مشعات المصفوفة وهذا ما تفتقده الطريقة المعروفة.

الكلمات المفتاحية: الهوائي المصفوفي، مخطط الإشعاع، الريح، طريقة المعادلات التكاملية، أثر الحافة.

A new method for numerical analysis of wire antenna arrays with a large number of radiators

Dr. Eng. Abdoulmouen Ahmed Alrifai

Associate Professor - College of Engineering - Department of Communications – Al-Wataniya Private University

Abstract

Numerical modeling of a large-scale wire antenna array is associated with the need to account for the mutual influence between radiators in the array, which leads to a significant change in the input impedance and in the radiation pattern of the radiator in the array compared to the isolated radiator. The method of integral equations is considered the most accurate method for numerical analysis of a wire radiator, but the capabilities of this method are greatly limited by the large wave dimensions of the radiator or an array with a large number of radiators. This article discusses two methods to overcome these limitations. In these two methods, the array is divided into a number of identical parts. The well-known method roughly takes into account the mutual influence between the radiators. In addition to the above, the proposed method allows calculating the effect of the edge effect between parts of the array. Calculating the effect of the edge effect in the proposed method led to great accuracy in determining the input impedance of the array radiators, which is what the known method lacks.

Keywords: array antenna, radiation pattern, gain, integral equations method, edge effect.

1- مقدمة

تستخدم طريقة المعادلات التكاملية لحساب خصائص إشعاع الهوائيات المصفوفة السلكية ذات العدد الكبير من المشعات (العناصر). تستخدم معادلة بوكليينكتون كمعادلة تكاملية للتيار في النواقل الرفيعة، تم عند تحويل هذه المعادلة التكاملية إلى جملة من المعادلات الجبرية الخطية استخدام طريقة العزوم، حيث تستخدم التوابع النبضية كتوابع أساس ووزن [1,2,3,4,12]. إن امكانيات هذه الطريقة مقيدة بشكل كبير عند الأطوال الموجية الكبيرة لنواقل الهوائي [3,4].

تم في هذا البحث عرض طريقتين للتغلب على تلك القيود، الطريقة المعروفة التي تأخذ وبشكل تقريبي التأثير المتبادل للمشعات في المصفوفة [3,4,5,11]. حيث تتلخص هذه الطريقة في استخدام طريقة المعادلات التكاملية على جزء المصفوفة، حيث يتم تحريض المشع المركزي للجزء وبواسطة طريقة المعادلات التكاملية يتم تحديد ممانعة دخله ومخططه الإشعاعي. ثم يتم تحليل المصفوفة باستخدام نظرية ضارب المخطط الإشعاعي، حيث يعتبر المخطط الإشعاعي لعنصر المصفوفة هو المخطط الإشعاعي لجزء المصفوفة الذي تم تحديده سابقاً.

تقترح الطريقة المقترحة التي تحتسب تأثير الحافة (التأثير الكهرطيسي للحواف على بارامترات الهوائي "حيود الحواف") تقسيم المصفوفة إلى جزأين متماثلين. ويتم بطريقة المعادلات التكاملية تحديد توزيع التيار في مشعات أحد الجزأين وأيضاً حقله على الجزء الثاني (السلبى). وعن طريق هذا الحقل الغريب بالنسبة للجزء الثاني وحقل تحريض الجزء الثاني، يتم تحديد توزيع التيار في مشعات الجزء الثاني. وعن طريق توزيع التيار في مشعات المصفوفة الذي تم تحديده في الخطوتين السابقتين يتم تحديد خصائص

وبارامترات المصفوفة. سوف يتم تحليل كلتا الطريقتين على مثال مصفوفة من المشعات الديبولية [6,7].

2- الدراسات المرجعية:

على مدى السنوات القليلة الماضية تم نشر الكثير من الدراسات والمقالات حول إمكانية التحليل العددي للهوائيات ذات العدد الكبير من المشعات، حيث تم في البحث [3] تقديم تصميم مقترح لهوائي سلبي ثنائي المخروط يتميز بالبساطة في التصميم ويتمتع بأفضل الخصائص الكهربائية. كما تم عرض دراسة تأثير البارامترات الهندسية المختلفة للهوائي على خواصه الكهربائية. تم إجراء عمليات محاكاة عديدة لمخطط الإشعاع، وممانعة الدخل، ونسبة الموجة الدائمة (SWR) للهوائي المقترح كعنصر واحد وأيضاً عند استخدامه كمشع ضمن مجموعة حلقة من هذه المشعات. تم إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة المعادلة التكاملية، حيث تم استخدام معادلة بوكلينجتون التكاملية. وعند حلها تم استخدام التتابع النبضية كتتابع أساس ووزن، تم استخدام برنامج المحاكاة MMANA. بينت النتائج أن الهوائي المقترح يعمل على مدى ترددي عريض للغاية (30-1450) MHz وفق معيار عدم تجاوز SWR القيمة 2 في خط تغذية ذو ممانعة موجية محددة. لوحظ أيضاً أن التأثير المتبادل بين الهوائيات ثنائية المخروط داخل مصفوفة الهوائي الحلقي يؤدي إلى تشويه مخطط إشعاع كل مشع في المستويين E و H وإلى تدهور في الموافقة. كما تم في البحث [4] تقديم نتائج المحاكاة العددية للهوائيات المصفوفة القوسية الشكل المكونة من مشعات ياغي. تمت دراسة المحددات الحاكمة للتأثير المتبادل بين المشعات على مخطط إشعاع وعلى توجيهية المصفوفة وعلى ممانعة دخل المشعات وذلك عند استخدام توزيعات مطالية وطورية مختلفة

لتحريض المشعات. تم في التحليل استخدام طريقة المعادلات المتكاملة. تم في البحث [5] اقتراح طريقة تحسين فعالة لإلغاء تأثيرات الحافة في مصفوفة الهوائي ذات النطاق العريض للغاية. يتم تحليل تأثير تأثيرات الحافة على نسبة الموجة الواقة للجهد (VSWR). ويهدف إلغاء تأثيرات الحافة داخل نطاق تشغيل النطاق فائق العرض، تم إنشاء مسألة تحسين غير محدبة لتأسيس مصفوفة ديبلوية، حيث يلبي ربح المصفوفة عند زوايا المسح والترددات المدروسة أقصى قدر من VSWR. يتم تحويل المشكلة غير المحدبة إلى مشكلة تحسين محدبة تكرارية عن طريق استخدام طريقة تكرارية، ويتم حل إثارات المطال والطور بكفاءة بواسطة خوارزمية التحسين المحدبة. من خلال المقارنة مع طريقة المطال الموحدة التقليدية وإثارة الطور التقدمي. تُظهر نتائج المحاكاة والقياس للنطاق فائق العرض أن الطريقة المقترحة يمكن أن تحسن ربح المصفوفة بشكل طفيف في معظم الترددات، في حين يتم إلغاء VSWRs إلى 3 على 10:1 عرض النطاق الترددي عند المسح حتى 45 درجة. كما تم في البحث [8] اقتراح علاقات جديدة للممانعة الذاتية باستخدام طريقة العزوم مع إجراء موافقة النقاط وتوابع الأساس الثابتة والخطية المقطعية في تكوينات مختلفة، مما يسمح بتوفير وقت الحوسبة لحل الهوائيات السلكية ذات الأشكال الهندسية المعقدة. العلاقات الجديدة لها تعقيد مع أخطاء نظرية محددة بشكل جيد. وتمت مقارنتها مع التكامل العددي التكميلي. تم الحصول على دقة تتراوح بين 7 و16 رقمًا اعتمادًا على تابع الأساس المختار والتجزئة المستخدمة. الى جانب ذلك، تم تقييم وقت الحوسبة المتضمن في حساب حدود الممانعة الذاتية ومقارنتها بالوقت الذي يتطلبه حل التكامل التريبيعي التكميلي لنفس المشكلة. تتميز العلاقات بزمن تشغيل يتراوح بين 50 إلى 200 مرة أسرع من التكامل الرقمي التكميلي. أما في البحث [9] فقد تم فحص مصفوفة الهوائيات ذات المقاييس الكبيرة لتطبيقات مختلفة بما في ذلك تقنية 5G. للحصول على معدل بيانات أفضل أو وصلة موثوقة، تم استخدام عدد كبير

من مصفوفات الهوائي لتوفير أرباح تعدد إرسال كبيرة بالإضافة إلى أرباح مصفوفة ذات اتجاهية عالية. تم في هذا البحث استخدام تقنية تنفيذ بسيطة ولكنها فعالة لاستخدام المصفوفات الجزئية لتحسين المصفوفات الموحدة كبيرة الحجم. يمكن من خلال تكرار المصفوفة الجزئية الصغيرة عدة مرات تصميم مصفوفات كبيرة. يؤدي هذا التأثير الناتج عن استخدام مصفوفة صغيرة إلى تبسيط تصميم مصفوفة أكبر مما يسمح للمصمم بالتركيز على المصفوفة الجزئية الأصغر قبل تجميع المصفوفات الأكبر. لذلك، من خلال دراسة المصفوفات الجزئية، يمكن توقع الأداء وخصائص الإشعاع للمصفوفات الكبيرة. تم تحليل معامل المصفوفة لمصفوفة جزئية مستوية مكونة من 2×2 (4 مشعات) باستخدام برنامج Matlab ومن ثم تم تشكيل مصفوفة كبيرة عن طريق وضع تكوينات مختلفة للمصفوفة الجزئية 2×2 في ترتيبات مستطيلة حتى الوصول إلى مصفوفة مستوية 8×8 وبعد ذلك تم التحقق من صحة النتائج من خلال نتائج محاكاة برنامج CST. وبهذه الطريقة يتم تحليل معاملات المصفوفة، والتوجيهات، وHPBWs، والفصوص الجانبية للمصفوفات الكبيرة المبنية وربطها بالمصفوفة الفرعية الصغيرة. كما تم في [10]، الحساب التحليلي لتوزيع التيار لمصفوفة الهوائي عند وجود اقتران متبادل عن طريق حل معادلة بوكلينجتون التكاملية. تم استخدام التوابع النبضية وغاليرغن للحل العددي لمعادلة بوكلينجتون التكاملية. يمكن هذا البحث، تحقيق توزيع التيار السطحي لمصفوفة هوائيات في وضع الاستقبال، مع أي بنية عشوائية وذات أعداد مختلفة من المشعات. حاول الباحثون في جميع الأعمال السابقة، حل معادلة بوكلينجتون المتكاملة لهوائي ديبولي واحد في وضع الإرسال. من الصعب إلى حد ما التعامل مع معادلة بوكلينجتون بسبب التقرد ووجود قمة حادة لقيمة صغيرة من نصف قطر السلك. من أجل حساب توزيع التيار السطحي، بالنسبة للأسلاك الرفيعة، يتم استخراج جزء التقرد من النواة بالتكامل المذكور. وبالتالي، تتحلل النواة إلى أجزاء مفردة وغير مفردة. يُفترض في هذه

الحالة وجود تأثير اقتران متبادل بين العناصر بين عناصر المصفوفة والاقتران الذاتي لكل عنصر. تم اختبار صحة المنهجية المقترحة من خلال نتائج المحاكاة العددية. تم تقييم دقة الطريقة المقترحة من خلال خوارزمية تصنيف الإشارات المتعددة (MUSIC) لسيناريوهات مختلفة لتقدير اتجاه الوصول (DOA).

3- هدف البحث:

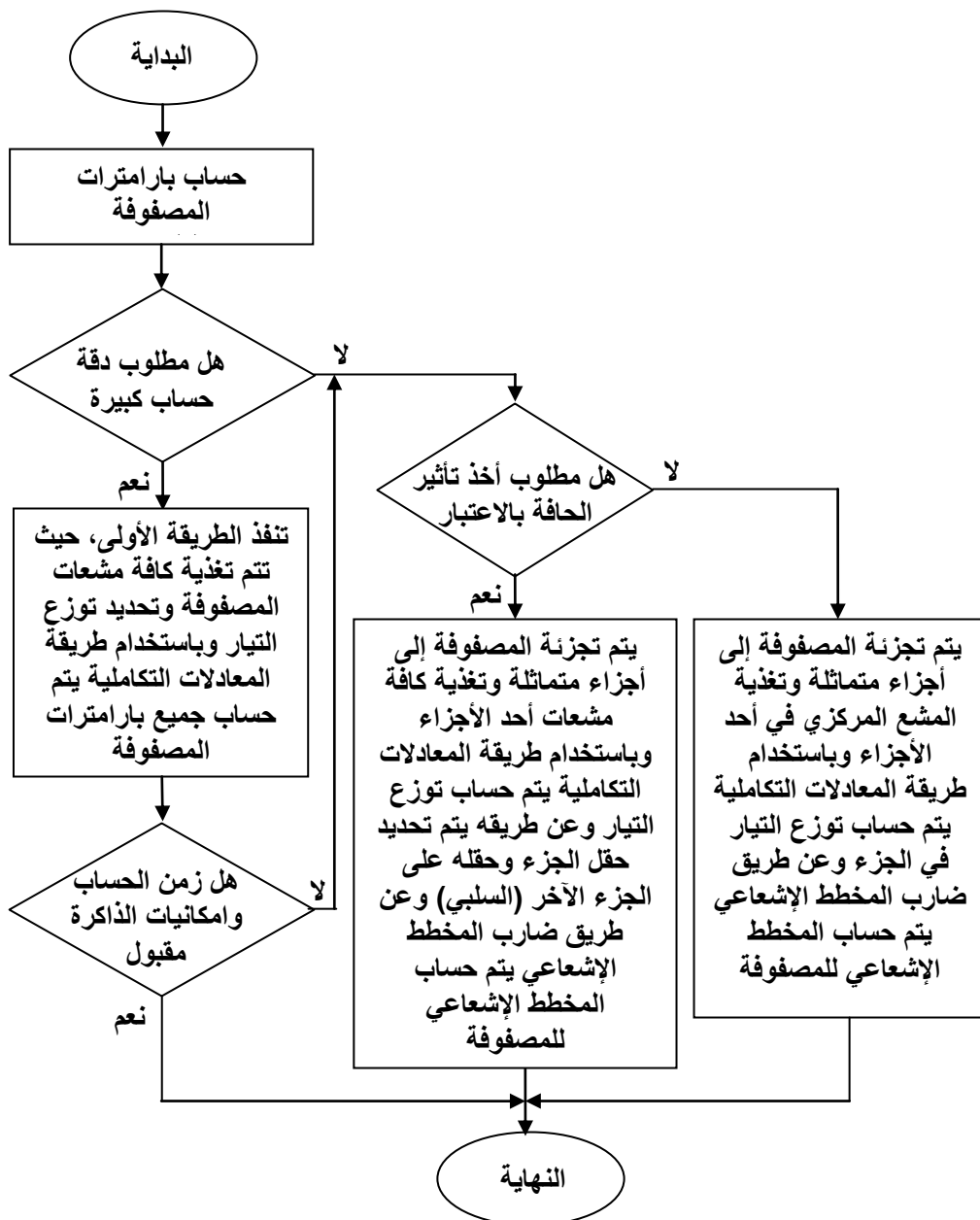
يهدف هذا البحث إلى اقتراح طريقة جديدة لتحليل الهوائيات المصفوفة ذات العدد الكبير من المشعات (ذات الطول الموجي الكبير)، والتي تتميز بزمن حساب صغير مقارنة بالطريقة التقليدية ودقة كبيرة في تحليل خصائص وبارامترات الهوائي مع احتساب أثر الحافة بين أجزاء المصفوفة.

4- مواد وطرق البحث

4-1 المحاكاة العددية

لتنفيذ المحاكاة العددية تم تصميم برنامج يتم فيه تحديد توزع التيار في نواقل الهوائي من خلال الحل العددي لمعادلة بوكلينكتون التكاملية للتيار في الناقل الرفيع [4, 3]. تم استخدام طريقة غاليرغن مع توابع ثابتة متعددة التعريف كتوابع أساس ووزن وذلك عند تحويل المعادلة التكاملية إلى جملة من المعادلات الجبرية الخطية [1,2,3,4,5].

تنفذ المحاكاة العددية حسب المخطط التدفقي المبين بالشكل التالي:



الشكل -1- المخطط التدفقي للمحاكاة العددية

بالنسبة للطريقة المقترحة فإن خطوات التحليل هي كالتالي:

- 1- يتم تجزئة الهوائي المصفوفي إلى جزئين متماثلين.
- 2- يتم تغذية جميع مشعات أحد الجزئين من خط التغذية ويتم تحديد توزيع التيار في عناصر هذا الجزء وحقله على الجزء الثاني (السلبي).
- 3- يتم تحديد توزيع التيار في عناصر الجزء الثاني عن طرق الحقل الغريب بالنسبة للجزء الثاني وحقل تحريض الجزء الثاني.
- 4- عن طريق توزيع التيار المحسوب في الخطوتين السابقتين يتم تحديد توزيع التيار في عناصر المصفوفة وتحديد خصائصها وبارامتراتهما.

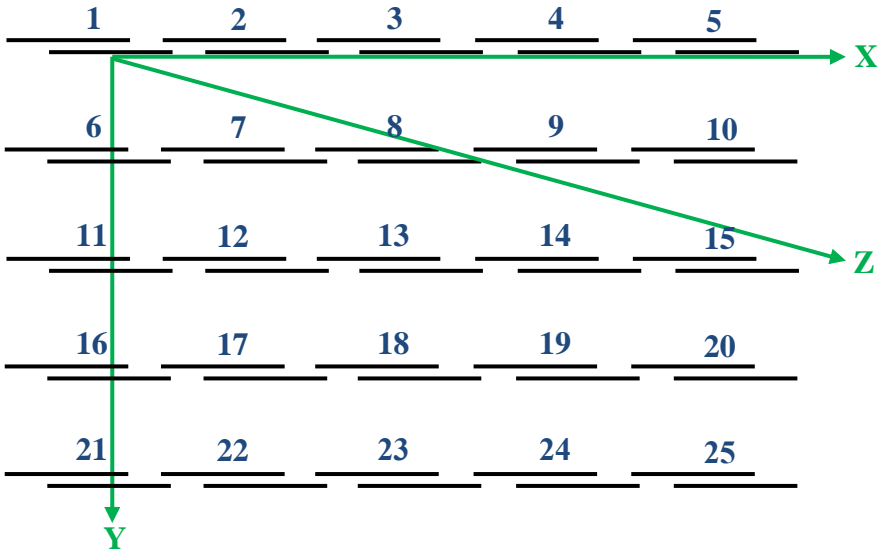
حيث كانت بارامترات المحاكاة كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول -1- بارامترات المحاكاة

0.236	طول الهوائي، L [m]
0.8	نصف قطر سلك الهوائي، d [mm]
600	التردد العامل، f [MHz]
5	عدد المشعات في المستوي X (N_x)
5	عدد المشعات في المستوي y (N_y)
0.7λ	المسافة بين المشعات في المستوي x (D_x)
0.7λ	المسافة بين المشعات في المستوي y (D_y)
$Z=75+0j$	ممانعة المشع المعزول (بالأوم)
20°	زاوية المسح θ (بالدرجات)

4-1-1 طريقة التجزئة

نستعرض مصفوفة من الهوائيات السلوكية. يبين الشكل (2) مصفوفة ذات بارامترات $N_x=N_y=5$ وأيضاً مبين على الشكل أرقام المشعات. الرموز في مصفوفة الهوائي هي كالتالي: N_x, N_y : عدد المشعات في المستويين E و H على الترتيب، D_x, D_y : المسافات بين المشعات المتجاورة في المستويين E و H على الترتيب.



الشكل -2- الهوائي المصفوفي

تم بواسطة معادلة بوكلينكتون التكاملية دراسة علاقة توزيع التيار في مشعات الهوائي والمركبتين الفعالة (R) والسلبية (X) لممانعة دخل المشع في المصفوفة ومخطط إشعاع

وربح المصفوفة بالنسبة لعدد المشعات N_x ، N_y في المصفوفة والمسافة بين المشعات Dx/λ ، Dy/λ .

تم تنفيذ التحليل بثلاثة طرق:

الطريقة الأولى (1): باستخدام طريقة المعادلات التكاملية على المصفوفة بأكملها.

الطريقة الثانية (2): باستخدام طريقة المعادلات التكاملية لجزء المصفوفة، الذي يتم تحريض المشع المركزي في الجزء من خط التغذية، أما بقية عناصر الجزء فيتم تحميلهم على أحمال موافقة.

الطريقة الثالثة (3): باستخدام طريقة المعادلات التكاملية لجزء المصفوفة، حيث يتم تحريض جميع المشعات في ذلك الجزء من خط التغذية.

في جميع الطرق الثلاثة أعلاه يتم بطريقة المعادلات التكاملية تحديد توزع التيار في مشعات المصفوفة (أو في جزء المصفوفة) وممانعة دخل المشع في المصفوفة. يتم تحديد المخطط الإشعاعي والربح في الطريقة الأولى عن طريق تيار المصفوفة بأكملها. أما في الطريقتين الثانية والثالثة، فيتم تحديد المخطط الإشعاعي والربح للمصفوفة بأكملها عن طريق حقل الجزء باستخدام نظرية ضارب المخطط الإشعاعي.

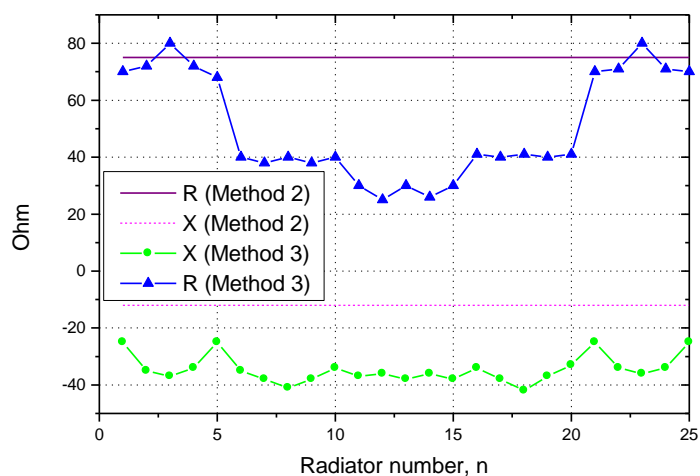
2-1-4 نتائج التحليل العددي

تم تنفيذ التحليل عند التردد المركزي f_0 ، عندما يكون الجزء السلبي من ممانعة الدخل للمشع المعزول يساوي الصفر ($X = 0$). وكمشع تم دراسة هوائي يودا-ياغي مؤلف من عاكس خطي و N_d موجه. تالياً سوف يتم تقديم نتائج محاكاة المصفوفة عندما $N_d=0$.

1-2-1-4 ممانعة دخل المشع في المصفوفة

يبين الشكل (3) علاقة المركبتين R و X بالنسبة لرقم المشع ضمن المصفوفة ذات البارامترات التالية: $N_x=N_y=5$ ، و $D_x/\lambda=D_y/\lambda=0.7$ وعند تحريض موحد بالطور وبالمطال لجميع المشعات. بالنسبة للمشع المعزول كانت $X=0$ ، $R=75 \Omega$.

تم على الشكل (3) تبيان قيم المركبتين R و X في نفس المصفوفة للحالة عندما يتم تحريض المشع المركزي (المشع رقم 13 في الشكل 2)، ويتم تحميل باقي المشعات بأحمال موافقة، وهذا مبين على الشكل (3) بخطوط مستقيمة (مستمرة ومنقطعة). توضح الأشكال تأثير أثر الحافة في مصفوفة الهوائي. إذا تم استخدام الطريقة الثانية فإن جميع مشعات المصفوفة، وبغض النظر عن رقمهم، سيكون لهم نفس ممانعة الدخل، ولن يتم حساب تأثير الحافة. إذا تم استخدام الطريقة الثالثة، فسيتم احتساب أثر الحافة عند حدود الأجزاء المتجاورة.

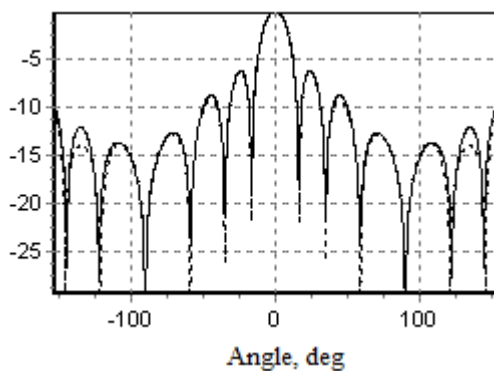


الشكل -3- ممانعة دخل مشعات المصفوفة

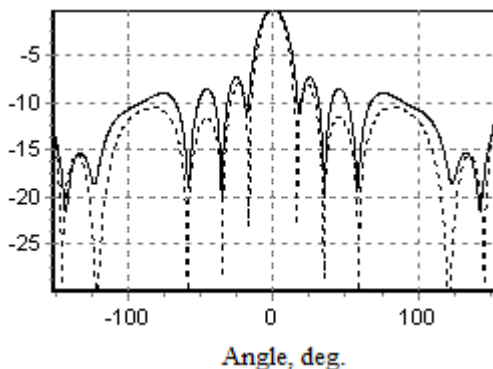
2-2-1-4 المخطط الإشعاعي والرياح

يوضح الشكل (4) المخطط الإشعاعي بالديسيبل في المستويين E و H لمصفوفة ذات نفس البارامترات السابقة، والمحسوب بالطريقتين الأولى والثانية. حيث الخط المتصل هو للطريقة الأولى والخط المنقطع هو للطريقة الثانية. عند الحساب بالطريقة الثانية، كان جزء المصفوفة هو المصفوفة بأكملها، حيث تم تحريض المشع المركزي وتحميل بقية المشعات بأحمال موافقة.

تم ملاحظة أن الاختلاف في الطريقتين يشاهد فقط في منطقة الوريقات الثانوية ويكون أكبر في المستوي H، وأقل في المستوي E. الريح لكلا الطريقتين، والمحسوب بالمخطط الإشعاعي هو نفسه.



(a)



(b)

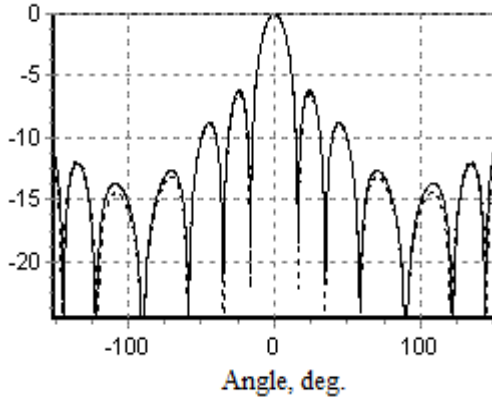
الشكل -4- المخططات الإشعاعية المحسوبة بالطريقتين الأولى والثانية.

(a) في المستوي E، (b) في المستوي H

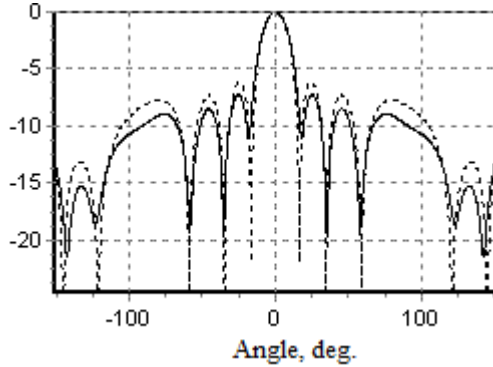
يبين الشكل (5) المخططات الإشعاعية في المستوي E، الذي تم حسابهم بالطريقتين الأولى والثالثة، حيث كان جزء المصفوفة عبارة عن مصفوفة ذات البارامترات: $N_x=1$ ، $N_y=5$ (عمود واحد).

الاختلاف بين الشكلين 4(a) و (5) ضئيل. لا يوجد فرق في المستوي H، نظرًا لأن الجزء والمصفوفة بأكملها لهما نفس عدد المشعات في المستوي H. يوضح الشكل (6) المخططات الإشعاعية في المستوي H، التي تم حسابهم بالطريقتين الأولى والثالثة، حيث كان جزء المصفوفة هو مصفوفة ذات البارامترات: $N_x=5$ و $N_y=1$ (سطر واحد). في هذه الحالة لا توجد اختلافات في المستوي E، ويمكن استخلاص الاستنتاج حول الاختلافات في المستوي H من المقارنة بين الشكل 4(b) والشكل (6).

كان زمن حل المسألة باستخدام الطريقة الأولى (باستخدام طريقة المعادلات التكاملية للمصفوفة بأكملها) 13 دقيقة، أما زمن الحل باستخدام الطريقة الثالثة فكان 12 ثانية.

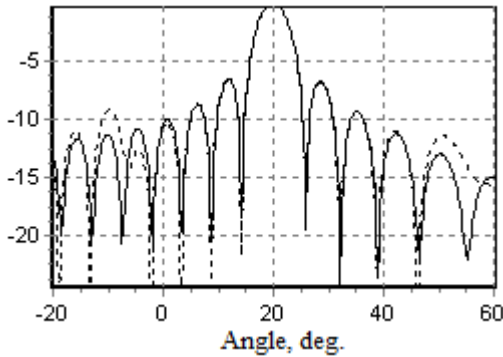


الشكل -5- المخططات الإشعاعية في المستوي E المحسوبة بالطريقتين الأولى والثالثة

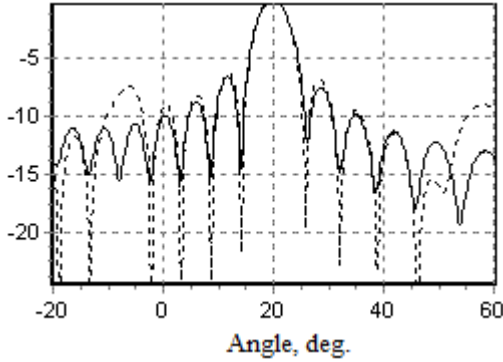


الشكل -6- المخططات الإشعاعية في المستوي H المحسوبة بالطريقتين الأولى والثالثة

تم دراسة الاختلاف بين الطريقتين الأولى والثالثة عند حساب المخططات الإشعاعية في مصفوفة المسح. يبين الشكل (7) المخططات الإشعاعية المحسوبة بالطريقتين الأولى والثالثة لمصفوفة خطية ذات البارامترات: $N_x=15$ ، $N_y=1$ ، حيث كانت زاوية المسح تساوي 20 درجة. وعلى الشكل (8) المخططات الإشعاعية لمصفوفة خطية ذات البارامترات: $N_x=1$ ، $N_y=15$. كانت المسافة الموجية بين المشعات المتجاورة هي 0.7λ . عند الحساب باستخدام الطريقة الثالثة، كان جزء المصفوفة عبارة عن مصفوفة خطية بالبارامترات: $N_x=3$ ، $N_y=1$. زمن حل المسألة باستخدام الطريقة الثالثة أقل بـ 125 مرة من الطريقة الأولى.



الشكل -7- المخططات الإشعاعية في المستوي E



الشكل -8- المخططات الإشعاعية في المستوى H

تم تحديد الريح (G) للمصفوفة بالطريقة الأولى بطريقة المعادلات التكاملية، أي من خلال كثافة تدفق الاستطاعة في الاتجاه الأعظمي للمخطط الإشعاعي وإجمالي الاستطاعة الإشعاعية. أما بالنسبة للطريقة الثالثة، فقد تم تحديد الريح بواسطة العلاقة التالية:

$$G = G_1 \cdot N_x \cdot N_y$$

حيث: G_1 - ربح جزء المصفوفة المحسوب بطريقة المعادلات التكاملية.

تم الحصول على القيم التالية للريح للمصفوفة الخطية، حيث تتوضع المشعات في المستوى H ($N_y=15$ ، $N_x=1$): وهو بالنسبة للطريقة الأولى $G=18.86$ dB، وللطريقة الثالثة $G=18.65$ dB. تم الحصول على نتائج متشابهة في مصفوفة خطية مع مشعات تتوضع في المستوى E ($N_y=1$ ، $N_x=15$).

4- النتائج ومناقشتها:

تم اقتراح طريقة للنمذجة العددية للهوائيات المصفوفة ذات المشعات السلكية الكثيرة العدد، والتي تسمح باحتساب أثر الحافة على بارامترات المصفوفة (الطريقة الثالثة). تعتمد الطريقة على تقسيم المصفوفة إلى أجزاء متماثلة مع تطبيق طريقة المعادلات التكاملية على جزء واحد ومن ثم تطبيق نظرية ضارب المخطط الإشعاعي على أجزاء المصفوفة. تقلل الطريقة المقترحة بشكل كبير من الزمن اللازم لحل مسألة النمذجة العددية للهوائي المصفوفي وتسمح بإمكانية تطبيق طريقة المعادلات التكاملية لتحليل خصائص وبارامترات الهوائيات المصفوفة ذات العدد الكبير من المشعات. تعطي الطريقة المقترحة نتائج مماثلة لحساب المخطط الإشعاعي والريح بالمقارنة مع الطريقة المعروفة التي تحتسب التأثير المتبادل بين كل مشع مع المشعات الموجودة بالقرب منه والمحتملة بأحمال موافقة، إضافة إلى أنها تتيح وبشكل تقريبي احتساب أثر الحافة.

بينت المحاكاة العددية لمصفوفة الهوائيات الديبولية أن أثر الحافة ليس له أي تأثير يذكر على بارامترات المخطط الإشعاعي والريح، ولكن تأثيره كبير على ممانعة دخل المشع في المصفوفة. عندما تتم إثارة جميع مشعات المصفوفة، فإن ممانعة الدخل تختلف بشكل كبير عن ممانعة دخل المشع الفعال المحاط بمشعات سلبية. تم وكمثال تنفيذ التحليل العددي للطريقة المقترحة على هوائي مصفوفي مؤلف من مشعات ياغي.

يبين الجدول التالي مقارنة لنتائج المحاكاة بين الطريقة المقترحة والطرق السابقة:

الجدول -2- مقارنة لنتائج المحاكاة بين الطريقة المقترحة والطرق السابقة

دقة حساب ممانعة الدخل	زمن الحساب	دقة الحساب	تأثير الحافة	طريقة تحديد بارامترات المصفوفة	التأثير المتبادل بين المشعات	تغذية المشعات	تجزئة المصفوفة	
دقيق	كبير جداً (أحياناً غير ممکن)	ممتازة	لا يوجد	طريقة المعادلات التكاملية فقط	يؤخذ	تغذى جميعها	لا توجد	[3,4] الطريقة الأولى
غير دقيق	صغير	مقبولة	لا يؤخذ	طريقة المعادلات التكاملية وضارب المصفوفة	يؤخذ بشكل تقريبي	يغذى فقط المشع المركزي في أحد الأجزاء	توجد	[9] الطريقة الثانية
دقيق	صغير	جيدة	يؤخذ	طريقة المعادلات التكاملية ونظرية ضارب المخطط الإشعاعي	يؤخذ بشكل معقول	تغذى جميع مشعات الجزء	توجد	الطريقة المقترحة (الطريقة الثالثة)

4- المقترحات:

ويسبب أن الطريقة المقترحة تعطي نتائج جيدة مقارنة بالطريقة التقليدية الدقيقة (الطريقة الأولى) وزمن حساب صغير جداً فإنني أقترح استخدامها عند التحليل العددي لمصفوفة الهوائيات السلكية ذات العدد الكبير من المشعات عند تعذر استخدام طريقة التحليل التقليدية.

5- المراجع:

- [1] W, Chew, 2016 **Numerical Modeling in Antenna Engineering**. Handbook of Antenna Technologies. Springer, Singapore. pp 195.
- [2] S. Yang, S, J. Sykulski, Y. Qingxin and X. Cui , 2023, **Guest editorial: Progress on computational techniques for electromagnetic fields and applications**, COMPEL – The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering, Vol. 42 No. 1, pp. 1-1. <https://doi.org/10.1108/COMPEL-01-2023-604>
- [3] A. Alrifai, 2023, **Study of a Broadband Toroidal Array Antenna Composed of Bi-Conical Radiators for Radio Direction Finding**, International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP), Vol. 13, No. 4, pp.222–228.
- [4] A. Alrifai, 2023, **Study the mutual effect of radiators on properties arc array antennas with Uda-Uagi radiators**, Damascus University Journal for the Engineering Sciences, It was accepted on 4/4/2023 and is under publication, pp.15.

- [5] F. Yang, B. Wang, Y. Chen, S. Qu and S. Yang, 2022 **An Effective Optimization Methods for the Suppression of Edge Effects in Ultrawideband Tightly Coupled Antenna Arrays**, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 12, pp. 11639–11652.
- [6] C, A, Balanis, 2016 **Antenna theory: Analysis and Design**, 4th edition, John Wiley and Sons, pp. 1104.
- [7] J. Mailloux, 2022 **Phased Array Antenna Handbook**, Second Edition, , 2nd ed, 2005, ARTECH HOUSE, INC., P. 506.
- [8] C. Ivan, A. Fajardo, G. Perilla, 2021 **Closed-Form Expressions for Numerical Evaluation of Self-Impedance Terms Involved on Wire Antenna Analysis by the Method of Moments**, *Electronics 10*(11), 1316.
- [9] N.Mukit, M. Habaebi, 2020, **Designing large-scale antenna array using sub-array**, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 8, No. 3, pp. 906~915.
- [10] N. PARHIZGAR 2019, **Calculating surface current distribution in antenna array in the presence of mutual**

coupling by analytical solving of Pocklington's integral equation, Arch. Elect. Eng, VOL. 67(1), pp. 65–79.

[11] H. Fei, S. Yufa. 2019 **Efficient Solution of Electromagnetic Scattering From Dielectric Objects via Characteristic Basis Function Method Based on Large-Size Blocks With Multilevel Subdivision**. IEEE Access. PP. 1–1.

[12] Haythem, Abdallah, Esmat. 2012 **Method of Moments Analysis for Antenna Arrays with Optimum Memory and Time Consumption**.

تطوير رنانة مشطية ثنائية النمط باستخدام خطوط النقل

ثلاثية النواقل

عبد الهادي الفوال^{1*}، د عبد الكريم السالم²، د. أسل الخضر³

¹ طالب دكتوراه، جامعة البعث، هندسة اتصالات، abdalhadyfawal@gmail.com

² استاذ دكتور، جامعة البعث، هندسة اتصالات، assalem1@gmail.com

³ دكتور، باحث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، هندسة الاتصالات - alkhoder@hotmail.com

الملخص:

نقدم في هذه الدراسة نوع جديد ومحسّن من الرنانات المشطية ثنائية النمط باستخدام خطوط النقل ثلاثية النواقل. تتكون الرنانة المقترحة من دعامتين معدنيتين يحيط بهما غلاف معدني خارجي. تدعم هذه البنية انتشار نمطي رنين مستقلين يمكن استخدامهما لتحقيق مرشحات أمواج ميكروية ثنائية مجالات التمرير منخفضة التكلفة وذات حجوم صغيرة وسهلة التصنيع مقارنةً بمرشحات الرنانات التقليدية ثنائية النمط. تتمتع الرنانة المقترحة بتخفيض إضافي للحجم لأن الحجرة الفيزيائية الواحدة تؤمن رنانتين كهربائيتين. كما تقدم الحجرة الجديدة نمط رنين معاكس لنمطي الرنين الأساسيين، حيث يمكن استثماره كصفر نقل في مجال المنع في المرشحات ثنائية المجال، مما يعزز انتقائية المرشح، مع الحفاظ على البنية الداخلية البسيطة والمصغرة. تمت دراسة ومحاكاة هذه البنية وبينت نتائج المحاكاة أنه يمكن المحافظة على الممانعة المميزة للرنانة عند ترددي نمطي الرنين. وتشير الدراسة أيضاً إلى تحسين في العزل بين نمطي الرنين الناشئين عن الرنانة مقارنة بالرنانات التقليدية ثنائية النمط التي تؤمن عزلاً جيداً بين النمطين، الأمر الذي ينعكس على ثبات تردد أحد نمطي الرنين عند محاولة توليف الآخر. كما أشارت الدراسة المنفذة إلى أن موقع تردد الرنين المعاكس بالنسبة لترددي الرنين يبقى ثابتاً.

الكلمات المفتاحية: رنانات ثنائية النمط DMR، مرشحات ثنائية المجال، خط مشطي ثلاثي النواقل، المقطع العرضي المتداخل.

Development of a Dual Mode Comblne Resonators using Triple Conductor Transmission Lines

Abd ElHadi Faoual^{*1}, Dr. AbdelKareem Essalem², Dr. Assal AlKhoder³

1PhD Student, AlBaath University, Communication Engineering, abdalhadyfawal@gmail.com.

2PhD, Professor in AlBaath University, Communication Engineering, assalem1@gmail.com.

1Researcher in SSRC, Communication Engineering, a-alkhoder@hotmail.com.

ABSTRACT

In this study, we present a novel improved type of dual-mode comblne resonators using triple conductor transmission lines. The proposed resonator consists of two inner conductor posts surrounded by a metal enclosure. This structure supports the propagation of two independent resonant modes that can be used to realize low-cost, low-volume, and easy-to-fabricate dual-passband microwave filters compared to conventional dual-mode resonator filters. The proposed resonator has an additional size reduction because one physical cavity provides two electrical resonators. The new cavity also offers an anti-resonance mode opposite to the two fundamental resonance modes, as a transmission zero in rejection band can be used in dual-field filters, enhancing the filter's selectivity, while maintaining a simple and miniaturized internal structure. This structure was studied and simulated, and the simulation results showed that the characteristic impedance of the resonator can be maintained at the two resonance frequencies. The study also indicates an improvement in the isolation between the two resonance modes resulting from the resonator compared to traditional dual-mode resonators that provide good isolation between the two modes, which is reflected in the frequency stability of one of the two resonance modes when trying to tune the other. The carried out study also indicated that the location of the anti-resonance frequency in relation to the two resonance frequencies remains constant.

Keywords: Dual mode resonators DMR, dual-band filters, triple-conductor comblne, re-entrant cross section.

1. المقدمة (Introduction):

إن استخدام عدة مجالات ترددية في أنظمة الاتصالات التقليدية كان يحتاج إلى تخصيص كل من الخدمات بمسار إشارة مستقل، مما أدى إلى زيادة في حجم وكتلة النظام (Xie, 2020)، أو إلى استخدام مرشح عريض المجال مع مرشح (أو مرشحات) منع مجال من أجل تجزئة مجال التمرير إلى عدة مجالات (Gao, 2020)، وكنتيجة، ستؤدي هذه العمليات إلى زيادة في المفايد بسبب إضافة عناصر جديدة إلى النظام العامل عند الترددات الراديوية. اقترح Zhu (2017) و Weng (2021) و (Lalbaksh, 2020) أن يتم إدخال أصفار نقل ضمن مجال تمرير مرشح عريض المجال من أجل تجزئته إلى مجالين أو أكثر. تعتمد هذه البنى إما على أمثلة مصفوفات الترابط من أجل توزيع أصفار النقل بشكل مناسب ضمن مجال التمرير، أو على تقنيات التحويل الترددي التي تعطي حلاً دقيقاً لمصفوفات الترابط بشكل تحليلي. إلا أن تقنيات التحويل الترددي محدودة من حيث التكنولوجيا التي يمكن اعتمادها لتنفيذ رنانات المرشح. ومن هنا ظهرت أهمية الرنانات ثنائية النمط.

لقد اعتمد تنفيذ العديد من المرشحات الميكروية ثنائية المجال، في الآونة الأخيرة، على رنانات ثنائية النمط باستخدام العديد من التقنيات كخطوط النقل الشرائحية وأدلة الموجة والرنانات المشطية المحملة برنانات عازلة والرنانات العازلة ورنانات أدلة الموجة المدمجة بشرائح عازلة والتي اعتمدت تكنولوجيا LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic). تمثل تقنية الرنانات المشطية حلاً ناجحاً في التطبيقات التي تتطلب التعامل مع استطاعات عالية كما هو الحال في محطات القاعدة في الأنظمة الخليوية (Doumanis, 2018)، فهي تقدم حلاً وسيطاً بين فقد الإدخال أو التمرير IL وعامل الجودة مع إمكانية التعامل مع الاستطاعات العالية والحفاظ على حجوم متوسطة. تُعتبر الرنانات المشطية، المستخدمة في تصميم المرشحات، رنانات خطوط نقل

محورية، وهي سهلة التصنيع وذات تكلفة منخفضة. كما أنها تسمح بمجال توليف مناسب ومجال منع عريض بعد مجال التمرير. لقد اقترح Ruitz (2012) حلاً لرنانة ثنائية النمط باستخدام خط نقل محوري ثلاثي النواقل، واستخدم الرنانة المقترحة في تصميم المرشحات ثنائية المجالات. إلا أن تكلفة المكاسب التي حققها كانت على حساب المرونة في التصنيع والمحدودية في الأداء. كما شاع استخدام الرنانات المحورية المتداخلة في تصميم المرشحات والتي يمكن أن نجد بعضها في بعض المراجع العلمية مثل (Doumani, 2018)، (Musonda, 2015)، (Hallet, 2018)، (Widaa, 2023).

2. الدراسات المرجعية (Literature Review):

يمكننا إذًا أن نستخدم الرنانات المشطية ثنائية النمط في تصميم المرشحات ثنائية ومتعددة المجالات. وكما ذكرنا، تُعتبر الرنانات المشطية رنانات محورية. ويمكننا أن نحصل بالتالي على الرنانات ثنائية النمط بالاعتماد على الرنانات المحورية المتداخلة (Musonda, 2015).

قدم Musonda (2015) مرشح تمرير مجال باستخدام الرنانات المتداخلة يعمل في مجال الأمواج الميكروية. الفكرة المفتاحية هي أن كل من الرنانات المتداخلة يولد نمط رنين في مجال التمرير وصفر نقل فوق مجال التمرير. وبالتالي تمكّن Musonda من الحصول على نمطي رنين واستثمارهما في مرشح ثنائي مجالات التمرير. تتشكل الرنانات المحورية المتداخلة من قطع من خطوط نقل محورية متداخلة ثلاثية النواقل. وتُعتبر الخطوط المحورية المتداخلة حوط محورية ذات ثلاثة نواقل متداخلة بحيث يُعتبر الناقل الخارجي و كل من الناقل الداخلي (أو الوسيط) أرضي بالنسبة للناقل الآخر أي الوسيط (أو الأرضي) (Musonda, 2015). في تشكيل الرنانات من هذه الأنواع من خطوط النقل، يتم وصل إحدى نهايتي كل من الناقلين (الداخلي والوسيط) مع الأرضي،

وبالتالي فإن كل من الناقلين له سماحية معدومة مع الأرضي، وهذا ما يجعل هذه الرنانات مناسبة لتصميم المرشحات الميكروية بتقنية المرشحات المشطية.

اقترح Doumanis (2018) رنانة ثنائية النمط تتألف من جدار معدني وسيط يغطي دعامة معدنية متوضعة في قاعدة حجرة معدنية. يؤمن الجدار انتشار نمطين، ما يسمح بإمكانية استخدامها لبناء مرشح ثنائي المجالات. إن وظيفة المغلف الوسيط هي تجزئة الوسط داخل المغلف الخارجي إلى حجرتين معزولتين كهربائياً. وبالتالي فإن الجدار الأفقي للمغلف الوسيط يشكل النهاية المفتوحة للحجرة السفلى، كما أنه يشكل دعامة بالنسبة للحجرة العليا. إلا أن هذه البنية لا تؤمن أصفار نقل ضمن مجال المنع وبالتالي لا يمكن الحصول على مستوى تخميد أو رفض جيد ضمن مجال المنع بين مجالي التمرير. وبما أن توليف تردد الرنين في هذه الرنانات المشطية يحتاج إلى استخدام برغي معايرة ضمنها، وهذا صعب من الناحية التكنولوجية بالنسبة للحجرة الدنيا، تفقد هذه الحجرة إمكانية توليف تردد الرنين للنمط الناشئ عن تلك الحجرة. والسبب الأهم في هذا النوع من الرنانات هو أنه من الصعب جداً تعميم هذه الطريقة لنحصل على رنانات ثلاثية النمط أو ذات عدد أكبر من الأنماط، وذلك بسبب الصعوبات التكنولوجية، وبالتالي عدم إمكانية تشكيل مرشحات ثلاثية المجالات (أو أكثر من ثلاثية) باستخدام هذه الرنانات.

اقترح Widaa (2023) رنانة ثنائية النمط من أنواع الرنانات المحورية المتداخلة من أجل استخدامها في تطبيقات مرشحات تمرير المجال. قام Widaa بمناقشة تحليل وتصميم الرنانة المقترحة بالتفصيل وقام بنمذجتها بدقة كرنانة نصف طول موجة ذات ممانعة خطوية محملة سعوبياً، وكانت الرنانة المقترحة تتميز بحجم صغير بالإضافة إلى تحسين في الاستجابة الإضافية طفيلية غير المرغوبة spurious مقارنةً مع الرنانات المشطية التقليدية ذات الطول المساوي لنصف طول الموجة. كما أن تلك الرنانة

المقترحة تميّزت بإمكانية توليف تردد الرنين من خلال المسافة بين الرنانات المحورية دون الحاجة لعناصر توليف أخرى.

وفقاً للدراسة أعلاه، نجد أن الخط المتداخل مفيداً جداً في تصميم الرنانات ثنائية النمط على عكس خط النقل المحوري ثنائي النواقل التقليدي.

قدم Ruitz (2012) دراسة عن رنانة ثنائية النمط ثلاثية النواقل ترن عند ترددي رنين أساسيين وتردد رنين معاكس anti-resonance. تتألف رنانة Ruitz من مغلف خارجي ومغلف وسيط ودعامة داخلية. أجرى Ruitz دراسة حول توزيع الحقول ضمن هذه الرنانة وأوجد الدارة المكافئة لها. ومن ثم استخدم هذه الرنانة في بناء مرشح ثنائي مجالات التمرير كي يتحقق من المفهوم الذي اقترحه. إلا أن رنانة Ruitz، بالرغم من أنها حققت بعض المواصفات المطلوبة منها في تصميم المرشحات، إلا أنها كانت تعاني من بعض المساوئ التي ذكر Ruitz (2012) بعضها، والتي سنشير لها في متن هذه المقالة.

إذاً فالمبدأ الأساسي لهذه الأنواع من الرنانات ثنائية النمط هو خطوط النقل ثلاثية النواقل. حيث تؤمن النواقل الثلاثة انتشار نمطين. فإذا شكلنا رنانة باستخدام خط ثلاثي النواقل سينشأ نمطي رنين مستقلين عند ترددين مختلفين. ينتشر الترددين المذكورين بنمط TEM (Paul, 2007). سندرس رنانة جديدة ونقارنها مع رنانة Ruitz من أجل إيضاح التحسينات التي يمكن إضافتها.

نقترح في هذه المقالة رنانة جديدة ثنائية النمط ثلاثية النواقل. وندرس الرنانة الجديدة المقترحة، والتي تتألف من مغلف معدني خارجي ودعامتين داخليتين ناقلتين. حيث نجد أن هذه الرنانة لها ترددي رنين أساسيين يكافئان ترددي رنين لدارات رنين

تفرعية وتردد رنين إضافي يكافئ رنين دائرة رنين تسلسلية. سنسلط الضوء على بعض الإيجابيات التي تتمتع بها هذه الرنانة وبعض النقاط السلبية التي تم تجاوزها مقارنةً برنانة Ruitz (2012). حيث نبدأ بدراسة توزع الحقول ومن ثم نقترح الدارة المكافئة لهذه الرنانة.

3. توصيف الرنانة المقترحة

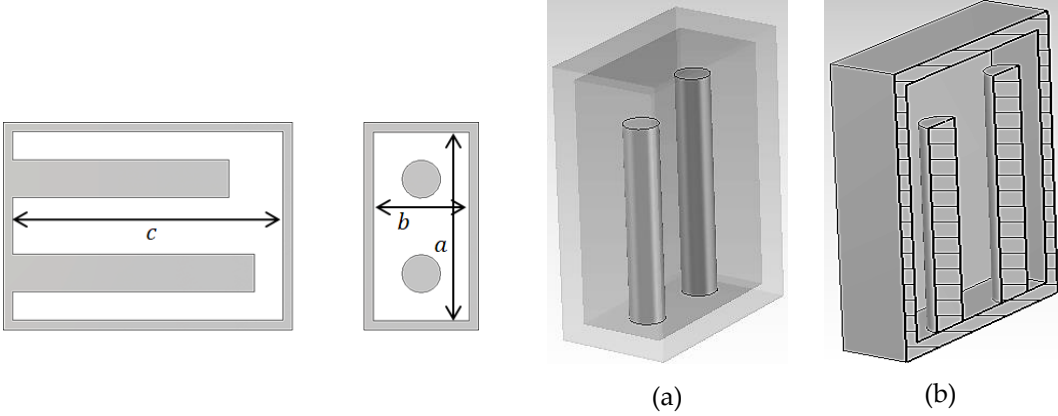
تتكون الرنانة ثنائية النمط المقترحة من ثلاثة نواقل معدنية: غلاف خارجي ودعامتين داخليتين، كما هو مبين في الشكل (1)a، ويبين الشكل (1)b مقطعاً طولياً لهذه الرنانة. يبين الشكل (2) الأبعاد الفيزيائية للرنانة المقترحة، حيث تشير الأجزاء المظلة في الشكل (2) إلى نواقل.

لكل من الدعامتين الداخليتين ارتفاع أقصر بقليل من ربع طول الموجة عند تردد الرنين المقابل للنمط المنتشر، وهما مقصورين مع العلبة في أحد طرفيهما، ومفتوحين من الطرف الآخر. إن الغاية من اختلاف طوليهما قليلاً عن ربع طول الموجة عند ترددات الرنين هي من أجل التحكم بترددات الرنين للنمطين الذين تؤمنهما البنية، بغية استخدامهما في مرشحات ثنائية المجال. ينشأ كل نمط من نمطي الرنين في هذه الرنانة، كما سنجد، عن وجود أحد الدعامات ضمن المغلف الخارجي، ويمكن اختيار أي من الدعامتين من أجل توليد أيّاً من نمطي الرنين. في رنانة Ruitz، يمكن اختيار المغلف الداخلي (الناقل الوسيط) أو الدعامات الداخلية من أجل توليد أيّاً من النمطين أيضاً، إلا أن دراسة Ruitz أفضت إلى أن كون الدعامات الداخلية أعلى ارتفاعاً من المغلف الداخلي (الناقل الوسيط) هو الحالة الأفضل من الحالة المعاكسة (Ruitz, 2012). لذلك سنركز في دراستنا على المقارنة مع رنانة Ruitz في هذه الحالة المذكورة.

قمنا بتصميم الرنانة المقترحة بحيث نحصل على ترددي رنين 4.8 GHz و 5.2 GHz. نلخص الأبعاد الفيزيائية للرنانة المقترحة في الجدول (1). كما يبين الجدول (1) أيضاً الحجم النسبي للحجرة بالنسبة لنسبة ترددي رنين النمطين (نرمز له بالرمز V_n) للرنانة المقترحة ورنانة Ruitz من أجل المقارنة مع رنانة Ruitz. يمكننا أن نلاحظ أن الحجم النسبي المذكور للرنانة المقترحة يساوي تقريباً نصف قيمة الحجم النسبي لرنانة Ruitz.

وكما أوضحنا أعلاه، تعتمد الرنانة المشطية في تصميمها على خطوط النقل المحورية. حيث تُعتبر الرنانة هنا خط نقل مفتوح من إحدى نهايتيه ومقصور من النهاية الأخرى. تشكل كل دعامة مع المغلف الخارجي، في الرنانة المقترحة، رنانة خط نقل محوري ينتشر فيها أحد نمطي الرنين. في تصميم مرشحات الرنانات المشطية، يتم اعتماد رنانات خطوط نقل ذات ممانعات مميزة تتراوح قيمها بين 60Ω و 70Ω تقريباً من أجل الحصول على أفضل عامل جودة للرنانات (Matthaei, 1980). إن الرنانة المقترحة هي رنانة ثنائية النمط، لذلك تم بناء الرنانة المقترحة بحيث نحافظ على هذه الممانعة المميزة عند نمطي الانتشار. ومقارنة مع رنانة Ruitz، فإن الممانعة المميزة لخط النقل المحوري، الذي يشكل الرنانة، تحقق القيمة 60Ω تقريباً عند النمط الأول، بينما هي منخفضة جداً وتبلغ حوالي 21.6Ω عند النمط الثاني، ولا يمكن ضبطهما بحيث نحصل على نفس الأبعاد الخارجية ونحصل في نفس الوقت على القيم الأسمية المطلوبة، فزيادة إحداها تؤدي إلى انخفاض الأخرى والعكس بالعكس كما هو واضح من النتائج التي عرضها Ruitz (2012). ومن أجل زيادة قيمة هذه الممانعة إلى 60Ω ، فإن حجم الحجرة الكلي سيزداد ليتجاوز أربعة أضعاف حجم الحجرة التي افترضها Ruitz. وبالتالي فإن الحجم النسبي لهذه الحجرة سيصبح تقريباً ثمانية أضعاف الحجم النسبي للحجرة ثنائية النمط المقترحة. إذاً فالإلتزام بالممانعات المميزة لخطوط النقل هو

إحدى النقاط السلبية التي وردت مع رنانة Ruitz والتي تم تجاوزها في الرنانة المقترحة مع الحفاظ على الفارق في حجم الرنانة مقارنةً برنانة Ruitz.



الشكل (2): الأبعاد الفيزيائية للرنانة ثلاثية النواقل المقترحة

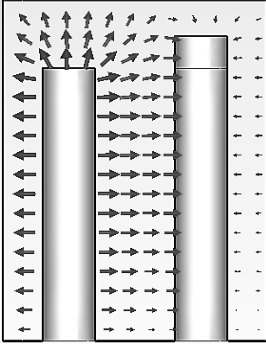
الشكل (1): الرنانة ثلاثية النواقل المقترحة

(a) شكل ثلاثي الأبعاد، (b) مقطع طولي للرنانة

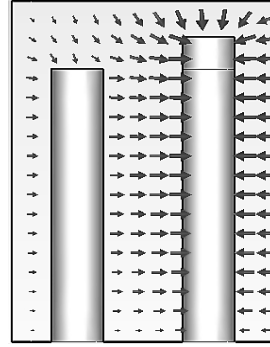
الجدول (1): الأبعاد الفيزيائية للرنانة المقترحة

البعد	a [mm]	b [mm]	c [mm]	V_n [mm ³]
الرنانة المقترحة	7.1	3.55	16.81	423.7
رنانة Ruitz	-	-	-	969.25

من أجل دراسة توزيع الحقول ومقارنتها مع رنانة Ruitz، قمنا بإجراء محاكاة للرنانة المقترحة باستخدام المحاكى Eigenmode solver في برنامج محاكاة البنى الكهرطيسية ثلاثية الأبعاد CST Studio Suite. يبين الشكل (3) توزيع الحقل الكهربائي في مقطعين (عرضي وطولي) للرنانة ثلاثية النواقل المقترحة. بينما يبين الشكل (4) توزيع الحقل الكهربائي في نفس المقطعين المذكورين للرنانة ثلاثية النواقل المقترحة من أجل نمط الرنين الثاني.



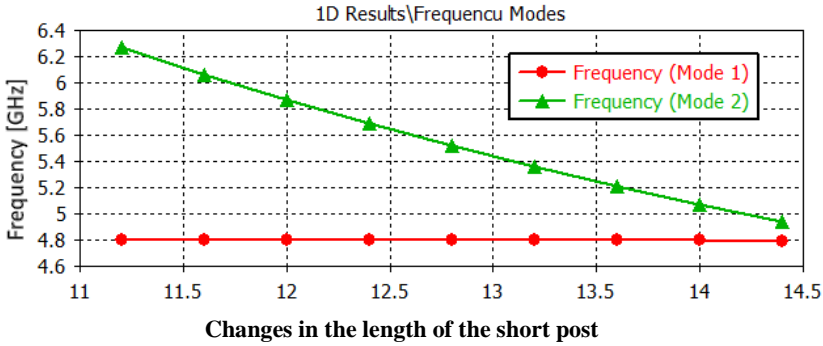
الشكل (4): توزيع الحقل الكهربائي للنمط الثاني في مقطعين (عرضي وطولي) للرنانة ثلاثية النواقل المقترحة.



الشكل (3): توزيع الحقل الكهربائي للنمط الأول في مقطعين (عرضي وطولي) للرنانة ثلاثية النواقل المقترحة .

يتضح من توزيعات الحقول (المشار إليها من خلال حجوم الأسهم التي تمثل شدة الحقل الكهربائي) في الرنانة ثنائية النمط المقترحة أن كل من النمطين يتأثر بالنمط الآخر ولكن بشكل طفيف. بالمقارنة برنانة Ruitz (2012)، يمكننا أن نجد أن تغيير صغير في الدعامة الداخلية في رنانة Ruitz والمسؤولة عن النمط الأول سيؤدي إلى تغيير ملحوظ في توزيعات الحقول للنمط الثاني وبالتالي تغيير محتمل في تردد رنينه وهذا ما أوضحه Ruitz في (2012). وهذا الأثر صغير جداً في الرنانة المقترحة في هذه المقالة. سندعم هذه الملاحظة من خلال دراسة تغيير ترددات الرنين إذا أجرينا تغيير على طول الدعامة القصيرة (المسؤولة عن توليد النمط الثاني) في الرنانة المقترحة. وباستخدام نفس المحاكى Eigenmode Solver نقوم برسم تغييرات ترددي الرنين للنمطين عندما يتغير تردد الرنين للنمط الثاني بمقدار ما (وليكن 1.2 GHz) وذلك عن طريق تغيير طول الدعامة القصيرة والمسؤولة عن النمط الثاني. ويبين الشكل (5) تغييرات نمطي الرنين للرنانة المقترحة مع تغيير طول الدعامة القصيرة.

يتضح من الشكل (5)، ومن أجل الرنانة المقترحة، أن تردد رنين النمط الأول يبقى تقريباً ثابتاً (4.8 GHz) مع تغير ارتفاع الدعامة القصيرة في حين يتغير تردد رنين النمط الأول من 4.94 GHz حتى 6.26 GHz تقريباً عندما ينقص طول الدعامة القصيرة من 14.4 mm حتى 11.2 mm، وهي الميزة الثانية التي تميز الرنانة الجديدة المقترحة مقارنةً برنانة Ruitz. حيث تم الفصل بين نمطي الرنين إذ لا يؤثر أحدهما على الآخر. ويمكننا الآن أن نضع نموذج الدارة المكافئة للرنانة المقترحة.



الشكل (5): تغيرات نمطي الرنين للرنانة المقترحة مع تغير تغير طول الدعامة القصيرة.

4. نموذج الدارة المكافئة للرنانة ثلاثية النواقل

إن نموذج الدائرة المكافئة للرنانة المشطية المعيارية هو خط نقل محوري مقصور من إحدى نهايتيه ومحمل بمكثف من الجهة الأخرى. تردد الرنين لخط النقل دون وجود المكثف هو أعلى بقليل من تردد الرنين للحجرة الحقيقية، ويقوم المكثف بإعادة تردد الرنين إلى قيمته الفعلية. حيث ينشأ المكثف فعلياً عن السطوح المتقابلة بين النهاية المفوحة للدعامة والمغلف الخارجي (Matthaei, 1980).

يمكن مكافئة الرنانة الواردة في الشكل 1(a) بخطي نقل محوريين متجانسين بالاتجاه z . سنرمز إلى الدعامتين بالرمزين I (الدعامة الأطول وهي المسؤولة عن النمط

الأول) و II (الدعامة الأقصر وهي المسؤولة عن النمط الثاني) وإلى المغلف الخارجي (العلبة) بالرمز G ، كما هو موضح في الشكل (6)a. بما أن كل من الدعامتين يشكل مع المغلف الخارجي (العلبة) خط نقل محوري، يمكننا أن نرسم دائرة خطوط النقل المكافئة للرنانة ثنائية النمط ثلاثية النواقل المقترحة كما هو موضح في الشكل (6)b. حيث تمثل المكثفتان C'_I و C'_{II} السعتين بين نهايتي خطي النقل المحوريين المفتوحتين والعلبة الخارجية. بينما تمثل المكثفة $C_{I,II}$ السعة بين الدعامتين، وهي تمثل أيضاً الترابط بين نمطي الرنين. بما أن نمطي الرنين شبه مستقلين (لا يؤثر أحدهما على الآخر) كما وجدنا أعلاه، فإنه يمكننا إهمال السعة $C_{I,II}$ ، وتصبح الدائرة المكافئة المذكورة كما هو مبين في الشكل (6)c. هناك إذاً ثلاثة نواقل في الرنانة المقترحة، ومن المعروف أنه في مثل هذه الحالة، تدعم هذه البنية نمطي TEM (Ruitz, 2012) (Paul, 2007)، وسيتم فيما يلي توصيف مميزاتها. يبين الشكلين (6)b و (6)c أيضاً البوابتين P_1 و P_2 اللتين تستخدمان من أجل محاكاة هذه البنية المكافئة. حيث يتم قصر إحداها والإثارة بالأخرى من أجل إثارة أحد الأنماط. يتم تعريف البوابة P_1 (أو P_2) في المنطقة I (أو II) عند المستوي المرجعي $z = 0$. ومن أجل الحصول على أنماط الرنين يتم قصر البوابتين.

في الشكل (6)a، نعرّف منطقتين منفصلتين تماماً في المقطع العرضي: المنطقة الأولى بين إحدى الدعامتين والمغلف الخارجي والمنطقة ثنائية بين الدعامة الثانية والمغلف الخارجي، حيث يمثل المغلف الخارجي المستوي الأرضي. بالنسبة للدائرة المكافئة، المنطقة الأولى هي المنطقة ذات المقطع العرضي لخط نقل محوري ممانعته المميزة تتوافق مع النمط TEM الذي نسميه TEM^I ، والذي يتواجد بين ناقل الدعامة الأولى المسماة I وناقل المغلف الخارجي المسمى G ، حيث يكون الحقل الكهربائي لهذا النمط كما هو وارد في الشكل (3). وبالمثل، فإن المنطقة الثانية هي المنطقة ذات المقطع العرضي لخط نقل مثالي آخر ذو ممانعة مميزة تتوافق مع النمط الذي نسميه

TEM^{II}، والذي يتواجد بين ناقل الدعامة الثانية التي نسميها II وناقل الملف الخارجي

المسمى G، حيث يكون الحقل الكهربائي لهذا النمط كما هو وارد في الشكل (4).

من أجل حساب بارامترات نموذج الدارة المكافئة المقترحة، يتم إجراء محاكاة

البنية الواردة في الشكل (3) باستخدام برنامج المحاكى Frequency domain solver

في البرنامج CST studio suite. أولاً، يتم إعادة مرجع القياس (de-embedding)

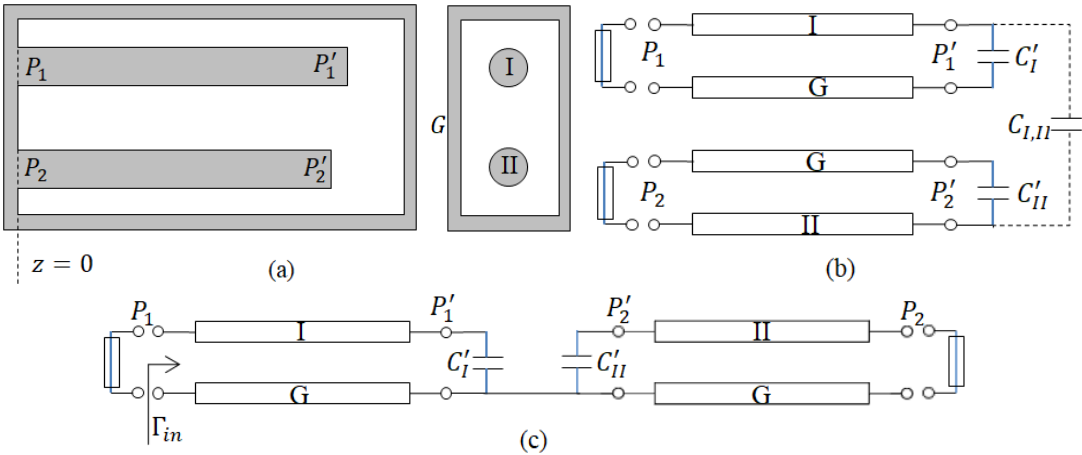
لبارامترات التناثر S ثنائي البوابة عند التردد المركزي لمجال التصميم إلى P'_1 و P'_2

(مكان تواجد المكثفات وهي موضحة في الشكل (6)) وتحويلها إلى بارامترات ABCD.

ثانياً، يتم استخراج مكثفات شبكة π عند التردد المركزي بواسطة العلاقات المعتادة من

مصنوفة ABCD لشبكة الدارة كالتالي (Pozar, 2012):

$$C'_I = \frac{D-1}{j\omega_0 B} \quad , \quad C'_2 = \frac{A-1}{j\omega_0 B} \quad , \quad C_{I,II} = \frac{1}{j\omega_0 B} \quad (1)$$



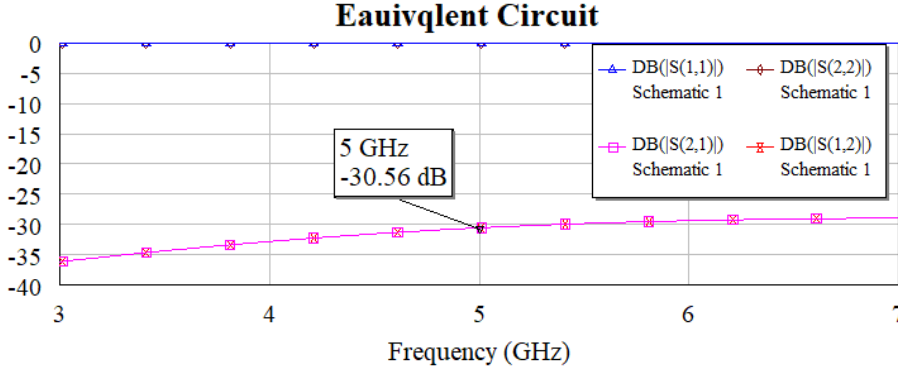
الشكل (6): تمثيل الرنانة ثلاثية النواقل ثنائية النمط بدارة مكافئة

(a) مقطع عرضي للرنانة (b) الدارة المكافئة الأولية (c) الدارة المكافئة النهائية بإهمال سعة الترابط بين الدعامتين.

يبين الشكل (7) معاملي النقل والانعكاس للنمطين الناتجين عن محاكاة الدارة

المكافئة المستنتجة بعد العملية المذكورة أعلاه، بينما يبين الشكل (10) معامل الانعكاس

والنقل للرنانة المقترحة كنتيجة لمحاكاة موجة كاملة باستخدام محاكي المجال الترددي Frequency domain solver في البرنامج CST studio suite. نلاحظ من الشكل (7) أن الدارة في الشكل (6) تحقق مطابقة جيدة جداً مع نتيجة محاكاة الرنانة المقترحة على كامل المجال الترددي (في الشكل (10)).



الشكل (7): مقارنة لمحاكاة بنية الرنانة والدارة المكافئة.

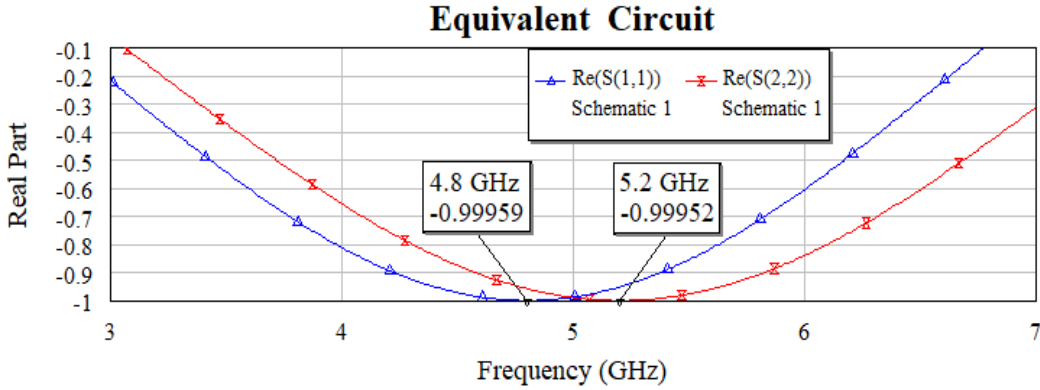
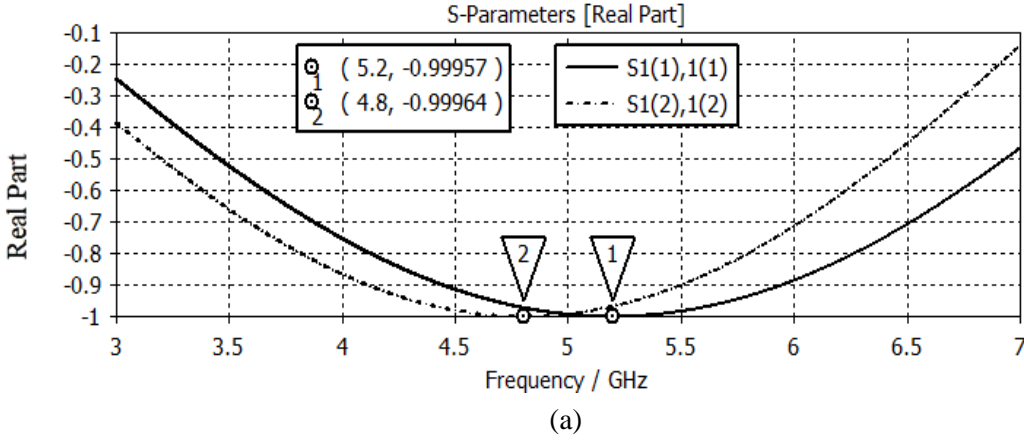
5. أنماط الرنين ونماذج الحقول

يمكننا بسهولة أن نوجد ترددات الرنين للبنية من خلال محاكاة الدارة المكافئة أو البنية ثلاثية الأبعاد للرنانة المقترحة، تظهر الدارة الأساسية في الشكلين (6) c و (2) a، حيث يمكن الحصول على جميع البارامترات باتباع الفقرة 4 السابقة. من أجل إيجاد معامل الانعكاس عند بوابة الدخل P_1 عند أي تردد، نقوم بقصر البوابة P_2 ، أو بإجراء تحليل موجة كاملة باستخدام البرنامج CST. يحدث الرنين عند الترددات التي يكون عندها طور معامل الانعكاس من مضاعفات 180° الفردية، أي:

$$\Gamma_{in @ f=f_{res}} = -1 \quad \Rightarrow \quad \angle \Gamma_{in @ f=f_{res}} = (2k + 1)\pi \quad (2)$$

حيث k عدد صحيح، و $\angle a$ ترمز إلى زاوية المقدار a . وعند هذه الترددات يكون الجزء الحقيقي لمعامل الانعكاس Γ_{in} مساوياً للواحد أما الجزء التخيلي لمعامل الانعكاس Γ_{in}

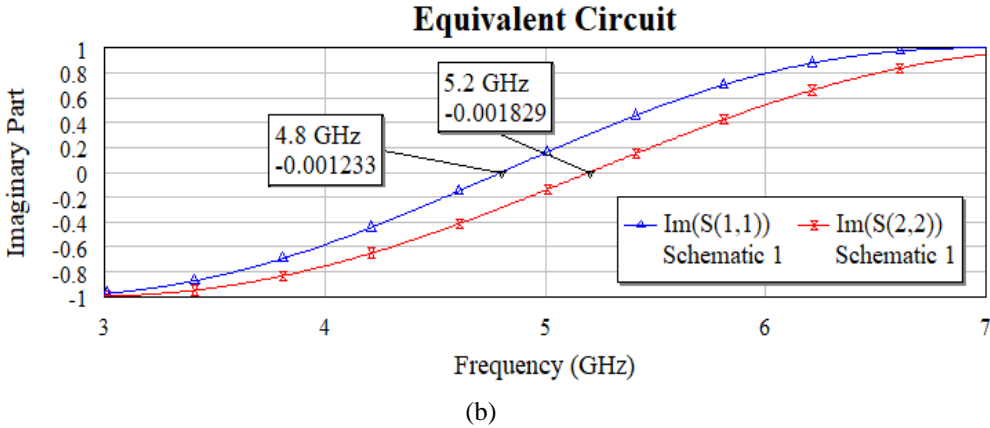
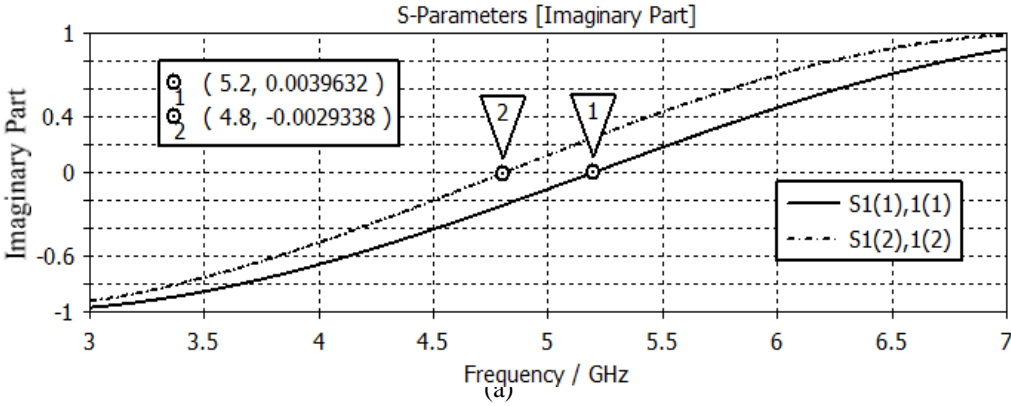
سيكون معدوماً. يبين الشكلين (8) و(9) الجزء الحقيقي (والتخيلي) لمعامل الانعكاس Γ_{in} باستخدام المحاكى Frequency mode solver وباستخدام البرنامج MWO لكل من البنية ثلاثية الأبعاد والدارة المكافئة للرنانة المقترحة المبينين في الشكلين (2) و(6).



الشكل (8): الجزء الحقيقي لمعامل الانعكاس للرنانة المقترحة
(a) للبنية ثلاثية الأبعاد باستخدام CST (b) للدارة المكافئة.

كما هو واضح من الأشكال (8) و(9)، يمكننا وفقاً للعلاقة (2) والملاحظة التي تليها حول معامل الانعكاس، أن نجد أن هناك تطابق في ترددات الرنين للنمطين الأول والثاني بدقة جيدة من محاكاة البنية ثلاثية الأبعاد و محاكاة الدارة المكافئة. وكما هو

واضح يبلغ الجزء الحقيقي لمعامل الانعكاس قيمة -1 عند 4.8 GHz من أجل النمط الأول و 5.2 GHz من أجل النمط الثاني، وهي نفس القيم التي ينعدم عندها الجزء التخيلي لمعامل الانعكاس. يشكل هذين الترددين ترددي الرنين للنمطين الأول والثاني على التوالي.



الشكل (9): الجزء التخيلي لمعامل الانعكاس للرنانة المقترحة
(a) للبنية ثلاثية الأبعاد باستخدام CST (b) للدارة المكافئة.

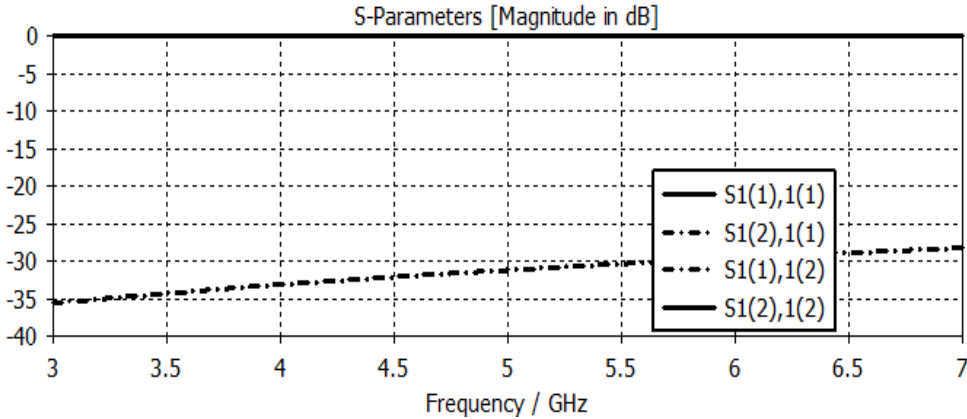
بعد أن نحصل على ترددات الرنين عن طريق حل (2)، يمكننا بسهولة حل توزع الحقلين الكهربائي والمغناطيسي لكل نمط رنين مقابل عند أي نقطة من الدارة،

وذلك باستخدام المحاكى Eigenmode Solver في البرنامج CST Studio Suite. يظهر الحقل الكهربائي في الشكلين (3) و (4) لكل من نمطي الرنين 1 (ذو التردد الأدنى) و 2 (ذو التردد الأعلى). في الشكل (3)، يمكن أن نرى بسهولة أن النمط 1 محصور في الغالب حول الدعامة الأطول والتي دعونها المنطقة I، مع وجود حقول شاردة في حول الدعامة الأقصر والتي سمينها المنطقة II. نمط الرنين هذا هو مزيج من TEM^I الذي ينتشر في المنطقة I (أكثر كثافة) و TEM^{II} الذي ينتشر في المنطقة II (ذو كثافة صغيرة جداً يمكن إهمالها). ومن ناحية أخرى، النمط 2 محصور في الغالب في المنطقة II، حيث إنه أيضاً مزيج من TEM^{II} (ذو كثافة عالية)، و TEM^I (ذو كثافة صغيرة جداً يمكن إهمالها).

إحدى الملاحظات المهمة هي عدم اعتماد شدة الحقل في إحدى المناطق على طول الدعامة الواقعة في المنطقة الأخرى، أي هناك استقلالية بين نمطي الرنين. على خلاف رنانة Ruitz، حيث أن أحد النمطين يؤثر بشكل واضح على الآخر وهذا ما كشف عنه Ruitz (2012). وبالتالي لا يمكن التحكم بأحد ترددات النمطين بمعزل عن الآخر. في حين أن الرنانة هنا المقترحة لا تعاني من هذه المشكلة.

يبين الشكل (10) معاملي النقل بين النمطين 1 و 2، أي مقدار الترابط بين النمطين والذين تم الإشارة لهما بالرمزين $S1(2)1(1)$ و $S1(1)1(2)$. حيث يعبر الأول عن معامل انتقال أو عبور الإشارة من المنطقة I (البوابة P_1) إلى المنطقة II (البوابة P_2)، والثاني يعبر عن معامل انتقال أو عبور الإشارة من المنطقة II (البوابة P_2) إلى المنطقة I (البوابة P_1)، وذلك على المجال الترددي المدروس. إن معاملات العبور أو النقل هذه بين النمطين صغير جداً يقع ضمن المجال dB [-28 -34] على كامل المجال الترددي GHz [3 6]، أي أن الترابط بين النمطين صغير جداً (وهذا ما يتيح لنا إهمال السعة $C_{I,II}$ الواردة في الشكل (6)b كما ذكرنا سابقاً). وبالمقارنة مع رنانة Ruitz

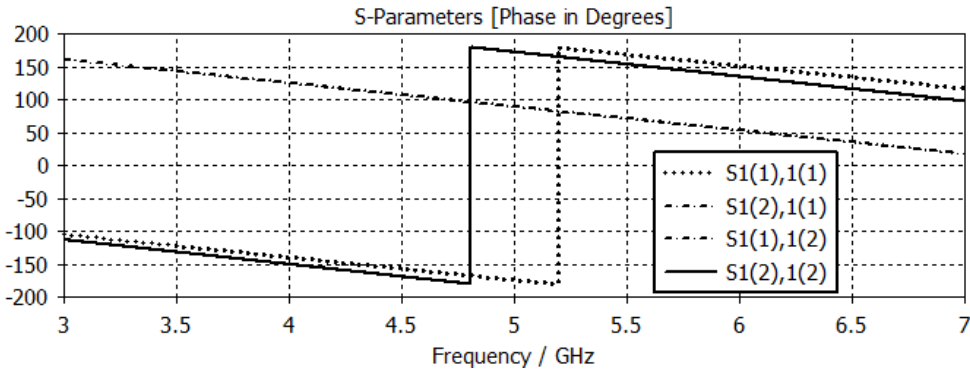
ثنائية النمط، نجد أن معامل النقل أو العبور هذا يقع ضمن المجال dB [-20 -15]. أي أن الترابط بين النمطين في حالة الرنانة الجديدة المقترحة أصغر منه في حالة رنانة Ruitz. وهي إحدى الميزات الإضافية التي تميز الرنانة المقترحة. كما يبين الشكل (10) معاملات انعكاس النمط 1 والمشار إليه بالرمز $S_{1(1)1(1)}$ ضمن المنطقة I (البوابة P_1). يمكننا أن نجد أن معامل الانعكاس يقارب 0 dB ما يشير إلى أن كامل الإشارة تقريباً تتعكس عند هذه البوابة أو تبقى محصورة ضمن المنطقة I دون أن تعبر باتجاه المنطقة II. نفس الملاحظة يمكن أن نستنتجها بالنسبة للنمط الثاني من معامل الانعكاس $S_{1(2)1(2)}$. وهذا يدعم المناقشة التي أجريناها حول انتشار حقول النمطين الأول والثاني في المنطقتين I و II.



الشكل (10): معاملات العبور والانعكاس للنمطين في الرنانة ثلاثية النواقل المقترحة.

يوضح الشكل (11) طور معامل الانعكاس للنمطين الأول والثاني. يمكننا أن نجد أن طور معامل العبور أو النقل بين النمطين يبلغ القيمة 90° عند التردد 4.99 GHz تقريباً. عند هذا التردد يتساوى الجزئين الحقيقيين لكل من S_{11} و S_{22} كما هو مبين في الشكل (12)a ويكون الجزئين التخيليين متساويان بالقيمة ومتعاكسين بالإشارة كما هو مبين في الشكل (12)b. عند هذا التردد تحدث ظاهرة الرنين المعاكس anti-resonance التي وصفها Ruitz (2012). يمكن الاستفادة من ظاهرة الـ anti-

resonance بالإضافة صفر نقل إلى استجابة المرشح ثنائي مجالات التمرير الذي يتم تصميمه اعتماداً على هذه الأنواع من الرنانات. فإذا كان صفر النقل هذا واقعاً بين ترددات رنين النمطين، فإنه سيكون واقعاً بين مجالي تمرير المرشح، ما يسمح بزيادة التخمد بين مجالي تمرير المرشح وبالتالي تحسين انتقائية المرشح. وفي النتيجة، فإن الرنانة المقترحة تحافظ على تواجد ظاهرة الرنين المعاكس كما في حالة رنانة Ruitz.

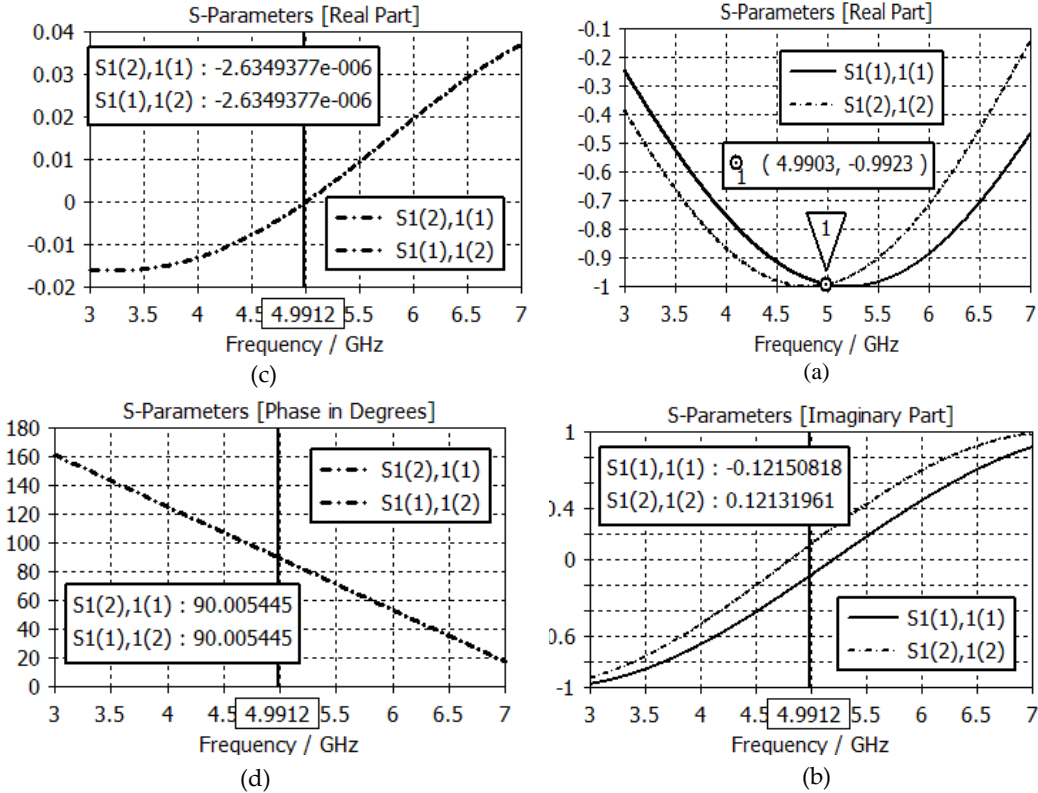


الشكل (11): أطوار معاملات العبور والانعكاس للنمطين في الرنانة ثلاثية النواقل المقترحة.

إذا حدث الرنين المعاكس anti-resonance عند تردد بين ترددي الرنين، فإن ذلك يجعل النمطين مناسبين للاستخدام في مرشح ذو مجالي تمرير منفصلين، مع تحسين للاستجابة بإضافة صفر نقل بين مجالي التمرير. وهذا محقق في كلتا الرنانتين: الرنانة المقترحة ورنانة Ruitz. وبما أن النمطين في رنانة Ruitz مرتبطان ببعضهما البعض (تغيير تردد رنين النمط الأول سيؤدي إلى تغيير تردد رنين النمط الثاني) فإن Ruitz لم يكن قادراً على دراسة تغيرات تردد الرنين المعاكس مع تغيير ترددات النمطين بشكل متساوي نحو الأعلى والأدنى (أحدهما نحو الأعلى والآخر نحو الأدنى بمقاديرين متساويين)، ولكنه اكتفى بدراسة تغير تردد الرنين المعاكس مع التغيير الناشئ على ترددي النمطين معاً عند تغيير أحد الأبعاد الأفقية والمسؤول عن تغيير النمط الأعلى (الأمر الذي يؤدي إلى تغيير ممانعة الرنانة كخط نقل عند النمطين

بالإضافة إلى تغير تردد رنين النمط الآخر)، أما في حالة الرنانة المقترحة في هذه الدراسة، فإننا قمنا بمحاكاة بنية الرنانة مع تغيير لتردد رنين النمطين بشكل متساوي نحو الأعلى والأسفل بحيث تتغير المسافة الترددية الفاصلة بين ترددي النمطين، وأوجدنا تردد الرنين المعاكس مع تغير تلك المسافة الترددية. يتم تغير الترددات المذكورة بزيادة طول الدعامة المسؤولة عن النمط الأدنى وإنقاص طول الدعامة المسؤولة عن النمط الأعلى بنفس المقدار. فإذا رمزنا لتغير الطول المذكور بالرمز dl ، يمكن إيجاد ترددي النمطين من محاكاة البنية وإيجاد قيم معاملات الانعكاس حيث يجب أن تتحقق العلاقة (2) من أجل النمطين عند كل قيمة من قيم dl . وهي نفس الترددات التي تتعدم عندها القيم التخيلية لمعاملات الانعكاس، ويعبر فيها منحنيات طور معاملات الانعكاس الزاوية 0° . يوضح الشكل (12)a,b ترددات الرنين للنمطين الأول والثاني. أما تردد الرنين المعاكس فيمكن إيجاده من النقطة الترددية التي يعبر عندها منحنى طور معامل العبور القيمة 90° كما ذكرنا أعلاه ويتساوى عندها معاملي الانعكاس للنمطين، عند هذه النقطة أيضاً تتعدم قيمة الجزء الحقيقي لمعامل العبور بين النمطين، كما هو موضح في الشكل (12)c,d. يبين الشكل (13) تغيرات تردد الرنين المعاكس مع تغيرات المسافة الترددية بين ترددي رنين النمطين عندما تكون تغيرات ترددي نمطي الرنين متساوية أحدهما باتجاه الأعلى والآخر باتجاه الأدنى حيث قيمة dl تساوي 0.2 mm ، مقدار التغير في المسافة الترددية يبلغ تقريباً القيمة 0.0208 GHz تقريباً كقيمة وسطية (كل من ترددي النمطين يتغير بمقدار 0.0104 GHz تقريباً كقيمة وسطية). نلاحظ من الشكل (13) أن تردد رنين النمط المعاكس يبقى ثابتاً مع تغير المسافة الترددية بين نمطي الرنين وهو تقريباً 4.99 GHz . فإذا كان المراد من هذه الرنانات هو تصميم مرشح ثنائي المجالات متناظر، وكما هو معلوم في المرشحات، ستتحرف أقطاب المرشح عن تردد الرنين المركزي لمجال التمرير، إلا أن تناظر الاستجابة للمرشح ثنائي المجالات سيضمن

المحافظة على تواجد تردد الرنين المعاكس ثابتاً دون تغيير، ما يؤدي إلى تشكيل صفر نقل عند تردد ثابت بين مجالي تمرير المرشح وبالتالي تحسين الاستجابة.



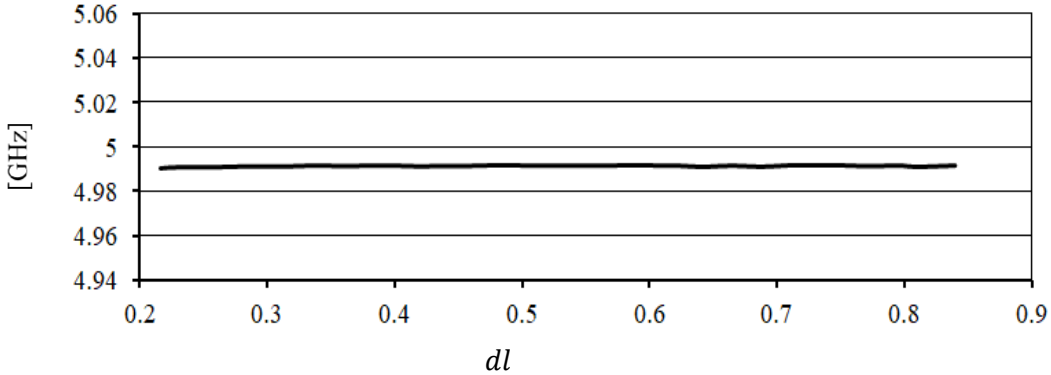
الشكل (12): إيجاد تردد الرنين المعاكس للرنانة ثنائية النمط (a) الجزء الحقيقي لمعامل الانعكاس (b) الجزء التخيلي لمعامل الانعكاس (c) الجزء الحقيقي لمعامل النقل أو العبور (d) طور معامل العبور (الأشكال (a) (c) (d) توضح مكان تواجد تردد الرنين المعاكس).

6. الخاتمة والأعمال المستقبلية

تم في هذه الدراسة اقتراح نوع جديد ومحسّن من الرنانات المشطية ثنائية النمط ثلاثية النواقل. تتكون الرنانة المقترحة من ثلاثة نواقل معدنية: غلاف خارجي ودعامتين داخليتين. وجدنا أن هذه البنية تؤمن نمطي رنين مستقلين وبالتالي يمكن استخدامها لتحقيق مرشحات أمواج ميكروية ثنائية مجالات التمرير. يمكن أن تؤمن مثل هذه البنى

مرشحات ثنائية المجال منخفضة التكلفة وذات حجوم صغيرة وسهلة التصنيع مقارنةً بمرشحات الرنانات التقليدية ثنائية النمط، مع تخفيض إضافي للحجوم نظراً لحقيقة أن الحجرة الفيزيائية الواحدة تؤمن رنانتين كهربائيتين.

Anti-Resonance frequency [GHz]



الشكل (13): تغيرات تردد الرنين المعاكس مع تغير المسافة الترددية بين ترددي رنين النمطين الأول والثاني.

بالإضافة إلى ذلك، يظهر في الحجرة المقترحة نمط رنين معاكس لنمطي الرنين الأساسيين، حيث يمكن استثمار هذا النمط كصفر نقل في مجال المنع بين مجالي تمرير مرشح ثنائي المجال، مما يعزز انتقائية المرشح، مع الحفاظ على البنية الداخلية البسيطة والمصغرة. أفضت نتائج الدراسة إلى تصغير للحجم الكلي للرنانة مقارنةً بالرنانات التقليدية مع المحافظة على الممانعة المميزة للرنانة عند ترددي نمطي الرنين. وتشير الدراسة أيضاً إلى تحسين في العزل بين نمطي الرنين الناشئين عن الرنانة مقارنة بالرنانات التقليدية ثنائية النمط التي تؤمن عزلاً جيداً بين النمطين، الأمر الذي ينعكس على ثبات تردد أحد نمطي الرنين عند محاولة توليف الآخر. كما أشارت الدراسة المنفذة إلى أن موقع تردد الرنين المعاكس بالنسبة لترددي الرنين يبقى ثابتاً، ما يؤدي إلى نشوء صفر نقل ثابت التردد عند استخدام هذه الرنانة في تصميم مرشح ثنائي النمط. وبالمحصلة وجدنا أن التحسين قد شمل عدة نواحي مهمة مقارنة بالرنانات التقليدية التي

تستخدم الرنانات المحورية المتداخلة ثنائية النمط والتي تؤمن حلاً تسويماً بين الحجم والمفايد وسهولة التصنيع وإمكانية التعامل مع الاستطاعات العالية.

إن تصميم مرشح أحادي المجال أو ثنائي المجال يتطلب معرفة الرنانات التي سيتم استخدامها في تصميم هذا المرشح. بالإضافة إلى المبادئ الرياضية في تصميم المرشح مع الاعتبارات العملية. وقد قمنا بإجراء دراسة متكاملة للرنانة المقترحة من أجل الاستفادة من النتائج التي حصلنا عليها في تصميم مرشح ثنائي المجالات. وبالتالي فإن الخطوة التالية لهذا الدراسة يجب أن تكون استخدام هذه النتائج في تصميم مرشح ثنائي المجالات.

7. المراجع (References):

1. Doumanis, E., Guan, L., Goussetis, G., & Ferling, D. (2018). Dual-band bandpass double ground plane coaxial resonators and filters. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66(8), 3828–3835.
2. Gao, S. S., Li, J. L., Zhu, Z. L., Xu, J. L., & Zhao, Y. X. (2020). Dual-mode resonator filter with improved feed-lines for dual-band applications. *Journal of Electrical Engineering*, 71(6), 433–435.
3. Hallet, C., Favennec, J. F., Rius, É., Bénédicto, J., Carpentier, L., & Pacaud, D. (2018). Optimization of an air filled compact re-entrant coaxial resonator for a c-band bandpass filter. *IEEE Access*, 6, 54117–54125.
4. Lalbakhsh, A., Alizadeh, S. M., Ghaderi, A., Golestanifar, A., Mohamadzade, B., Jamshidi, M., ... & Mohyuddin, W. (2020). A design of a dual-band bandpass filter based on modal analysis for modern communication systems. *Electronics*, 9(11), 1770.

5. Matthaei, G., Young, L., & Jones, E. M. T. (1980). microwave filters, Impedance matching networks and coupling Structure. *Norwood, MA, Artech House.*
6. Musonda, E., & Hunter, I. C. (2015). Microwave bandpass filters using re-entrant resonators. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 63*(3), 954-964.
7. Paul, C. R. (2007). *Analysis of multiconductor transmission lines.* John Wiley & Sons.
8. Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering.* Forth Eddition, university of Massachusetts at Amherst, John wiley & sons.
9. Ruiz-C, J. A., Fahmi, M. M., & Mansour, R. R. (2012). Triple-conductor combline resonators for dual-band filters with enhanced guard-band selectivity. *IEEE transactions on microwave theory and techniques, 60*(12), 3969-3979.
10. Widaa, A., Bartlett, C., & Höft, M. (2023). Design of compact quasi-elliptic bandpass filters based on coaxial inset resonators. *IEEE Access, 11*, 18739-18749.
11. Weng, M. H., Huang, C. Y., Dai, S. W., & Yang, R. Y. (2021). An Improved Stopband Dual-Band Filter Using Quad-Mode Stub-Loaded Resonators. *Electronics 2021, 10*, 142.

- 12.Xie, Ya, et al. "Dual-band coaxial filter and diplexer using stub-loaded resonators." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 68.7 (2020): 2691-2700.
- 13.Zhu, L., Mansour, R. R., & Yu, M. (2017). Compact waveguide dual-band filters and diplexers. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 65(5), 1525-1533.

استخدام المنطق العائِم لتصميم نموذج عام لتحسين حساب الوثوقية في النظم والتجهيزات الإلكترونية عموماً ونظم الاتصالات تحديداً

الدكتور المهندس هيثم الرضوان *

الدكتور المهندس حسن البستاني **

المهندس: علاء رافع حبيب ***

ملخص:

اهتمت أبحاث الوثوقية (Reliability) مؤخراً بإدخال تقنيات الذكاء الصناعي (Artificial Intelligence) لتحسين حسابات الوثوقية للأنظمة عالية التعقيد والشديدة الحرجة (complex and critical systems) مثل (أنظمة الاتصالات الفضائية، أنظمة المراقبة والتحكم في المفاعلات النووية، أنظمة الاتصال والتحكم في المركبات والمحطات الفضائية. تم في هذا البحث الاعتماد على المنطق العائِم (Fuzzy Logic) وهو أحد تقنيات الذكاء الصناعي لتحسين حسابات الوثوقية على امتداد حياة التجهيزة أو النظام المدروس ابتداءً من المراحل الأولى للتشغيل (Infant Mortality Failures) وانتهاءً بمرحلة هزم التجهيزة (Wear out Failures) مروراً بمراحل العمل الفعالة (Constant Failures) لهذه التجهيزة، بحيث نصل إلى قيم أكثر دقة لوثوقية التجهيزات قيد الدراسة (التجهيزات الإلكترونية وتحديداً تجهيزات نظم الاتصالات) ، مما يعطي توجيه أدق لعمليات الصيانة الدورية وتبيان نقاط الضعف في النظام المدروس.

كلمات مفتاحية: وثوقية ، أنظمة حرجة ، ذكاء صناعي ، فشل ، فائضية

*أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين

**مدرس في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس

***طالب دكتوراه في قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات كلية الهك - جامعة تشرين

Designing a general model to improve the reliability calculation in electronic systems and equipment, specifically communications systems using Fuzzy Logic.

***Dr.Haitham Alradwan**

****Dr. Hasan Albustani**

*****Eng. Alaa Habeeb**

Abstract

Reliability researches has recently been interested in introducing artificial intelligence techniques to improve reliability calculations for complex and critical systems, such as space communications systems, communication and control systems in space vehicles and stations. In this research, we relied on Fuzzy Logic, to improve reliability calculations throughout the life of the equipment or system studied, starting from the first stages of operation (Infant Mortality Failures) and ending with the equipment pyramid stage (Wear out Failures), passing through the effective work stages. (Constant Failures) for this equipment, so that we reach more accurate values for the reliability of the equipment under study (electronic equipment, specifically communications system equipment), which gives more accurate guidance for periodic maintenance operations and identifying weak points in the studied system.

Key words: Reliability, critical systems, Artificial Intelligence, Failure.

*** Professor at Faculty of Mechanical and Electrical Engineering-Tishreen University**

**** Lecturer at Faculty of Information and Communication Technology Engineering**

***** Doctorate student in the Department of Communications and Electronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University**

مقدمة :

تعرف الوثوقية على أنها احتمال استمرار نظام معين بتأدية المهمة المطلوبة منه بعد مدة زمنية محددة [1]، وتعد من أهم التحديات التي تواجه الأنظمة الهندسية المعاصرة وخاصة تلك الأنظمة التي تعد أساساً في التطبيقات الحرجة من الناحية الأمنية أو الطبية أو حتى مجالات الطاقة وخصوصاً الطاقة النووية ومجالات أبحاث الفضاء، حيث تتميز هذه الأنظمة بمتطلبات وثوقية عالية جداً، وانطلاقاً من هذه الأهمية تم التركيز على تحسين حسابات الوثوقية بحيث أصبحت الوثوقية من القيم التصميمية والتشغيلية المهمة جداً والتي من الممكن قياسها بعدة طرق ([2]; [3])، ويمكننا تصنيف طرق القياس هذه إلى :

- طرق تقليدية [4]: تكون دقة النتائج فيها مشروطة بدقة المعلومات المتوفرة عن معدلات الخطأ للجهاز المدروس أو النظام ككل، ويوضح الجدول (1) بعض هذه الطرق :

جدول (1) الطرق التقليدية لحساب الوثوقية

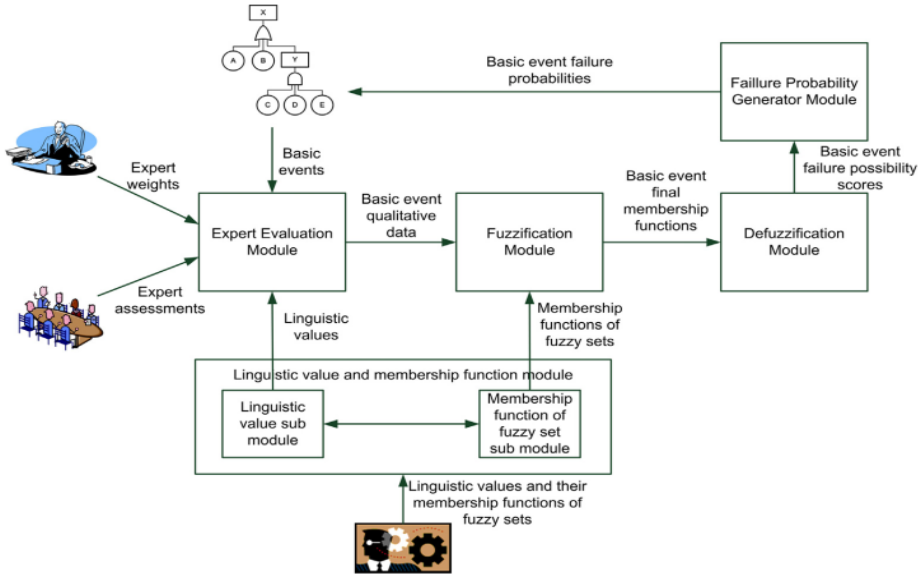
Reliability Block Diagrams (RBDs)	المخطط الصندوقي لحساب الوثوقية
Fault tree analysis (FTA).	تحليل شجرة الأعطال
Failure modes and effect analysis (FMEA).	أنماط الفشل وتحليل الأثر
Markov chains، Bayesian networks، and Petri nets	سلاسل ماركوف ، شبكات بيبز ، شبكات بيثري

- طرق معاصرة تعتمد على تقنيات الذكاء الصناعي (Artificial Intelligence):

تم الاتجاه إلى هذه الطرق نظراً لندرة المعلومات الإحصائية الدقيقة التي يمكن الحصول عليها وصعوبة المراقبة وتسجيل المعلومات [5] نظراً لحرجة التطبيقات ومن هنا كانت تقنيات الذكاء الصناعي هي الحل لتجاوز هذه الصعوبات، ومن أهم هذه التقنيات: المنطق العائم أو المجموعات العائمة (وهي التقنية المستخدمة في البحث) بالإضافة إلى الشبكات العصبونية (Neural networks) والخوارزميات الجينية (Algorithms Genetic)....

عند استخدام الطرق الاحتمالية التقليدية في تحليل وثوقية النظم الهندسية المعقدة كما في الدراسة [6] يشترط الحصول على معلومات فشل سابقة بصيغة كمية لتحديد خصائص الوثوقية ، وفي أغلب المجالات المطروقة في التطبيقات العملية (الهندسة النووية مثلا ، تقنيات الاتصالات الفضائية ...) تكون هذه المعلومات غير متاحة أو غير كافية والمعلومات الوحيدة المتاحة هي آراء الخبراء والتي تكون على شكل تعابير لغوية يتم جمعها واستخدامها لاحقاً في تقدير وثوقية النظام ، يفضل الخبراء استخدام هذه المصطلحات اللغوية (التي تقبل درجة عالية من عدم اليقين) أكثر من استخدام الطريقة الكمية . وبناء عليه ظهرت الحاجة إلى تقنيات جديدة تنتج نماذج أكثر دقة لوثوقية الأنظمة الهندسية المعقدة ودون الحاجة إلى معلومات فشل "كمية" دقيقة .

تم في الدراسة [7] تطوير خوارزمية وثوقية عائمة (الشكل (1)) لضمان توليد احتمالات فشل للأحداث الأولية بدون الاعتماد على معلومات عددية أو كمية عن معدلات الخطأ أو الفشل.



الشكل (1) خوارزمية قائمة لتوليد احتمالات فشل للأحداث الأولية

ما يميز هذه الدراسة هو أن البيانات اللغوية المفصلة والمقدمة على شكل احتمالات فشل لمكونات النظام تستخدم في التقييم الكمي لاحتمال الفشل للأحداث الأولية المحتملة للمكونات والتي تعامل كدخل للنموذج المقترح وتولد احتمالات فشل للأحداث الأولية كخرج لها.

من أجل إيضاح فعالية الخوارزميات المقترحة، تم مقارنة نتائجها مع النتائج المأخوذة من تجارب عملية على محطة طاقة ذرية، أوضحت نتائج المقارنة فعالية الخوارزمية كطريقة بديلة عن الطرق الاحتمالية التقليدية لتقييم الوثوقية وأظهرت الدراسة السابقة نتائج جيدة مقارنة مع الطرق التقليدية.

تهتم الدراسة [8] فيما إذا كان النظام سوف يعمل إلى نقطة زمنية محددة يدخل بعدها في الفشل ويتوجه بعدها إلى الصيانة، حيث ركزت على مهمة تقييم وثوقية الأنظمة المعقدة

والمتعددة الحالات، واعتمدت على شجرة أعطال عائمة (Fuzzy Fault Tree) فتم بناء خريطة للعلاقة بين الأنظمة وشجرة الأعطال وتم نقل تحليل التقييم الخاص بوثوقية النظام إلى تحليل مبني على طريقة تحليل شجرة الأعطال عن طريق تحديد قواعد تقييم للوثوقية والبدء ببناء جدول الحقيقة (وثوقية - الزمن) لوحدات النظام، البدء أيضاً بجدول الحقيقة لوثوقية النظم الجزئية والنظم المعقدة في أزمنة مختلفة واستنتاج الصيانة الخاصة بالنظام . تم إيضاح قواعد التقييم سابقة الذكر والخاصة بهذه الطريقة عن طريق مثال بسيط لنظام معقد متعدد الحالات ومن خلال هذا المثال تم إثبات فعالية الطريقة المقترحة .

في الدراسة [9] استخدمت النظم الخبيرة في تحسين شفافية وتكرار التقييم في مجالات تحليل الخطورة في حال توفر بيانات محدودة ، وهذا المجال يشمل تحليل الوثوقية البشري (Human Reliability Analysis) وبشكل خاص تعتمد مهمة تحليل الاعتمادية في تحليل الوثوقية البشرية على حكم المحلل .

قارنت هذه الدراسة بين نظامين خبيرين بالاعتماد على شبكات بايز للحقيقة (Bayesian Belief Networks) والمنطق العائم في النظم الخبيرة (Fuzzy Expert System, FES) على التوالي.

أظهرت المقارنة أن طريقة بايز (BBN) يفضل استخدامها في الحالات التي من الممكن قياس المدخلات فيها بشكل كمي (اي في الحالات التي من الممكن فيها تحديد التوزيع الاحتمالي لوصف مدخلات بارمترات عدم اليقين) وذلك كون هذه الطريقة توصف وبشكل مرضي حالات عدم اليقين ومخرجاتها ويمكن استخدام هذه المخرجات بشكل مباشر وتفسيرها بطريقة مناسبة للاستخدام، ومن جهة أخرى وفي حال محدودية البيانات الكمية

الدقيقة والتي تجعل المحلل مقيد من حيث البيئة الاحتمالية، في هذه الحالات تكون نتائج النظم العائمة الخبيرة أكثر شفافية.

تم في البحث [10] دراسة وثوقية نظام اتصالات خلوية من خلال دراسة وثوقية خمس محطات اتصال وفق توزيع وايبل الاحتمالي، ومن ثم حساب وثوقية كامل النظام.

كما اعتمد الباحث في الدراسة [11] ، على التوزيع الأسي العائم لدراسة الوثوقية خلال العمر التشغيلي للتجهيزة، وفي البحث [12] تم الاعتماد على توزيع وايبل العائم لدراسة وثوقية النظام.

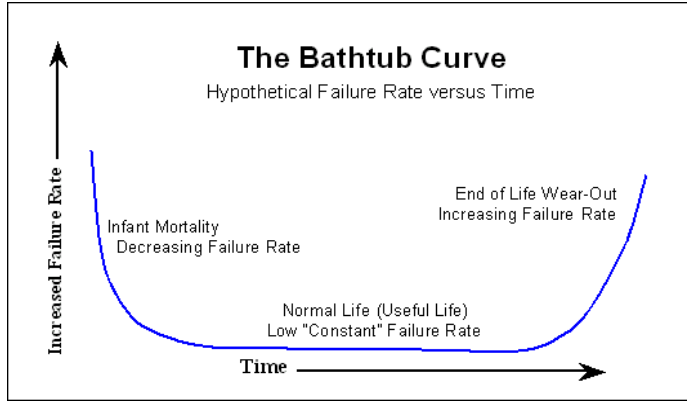
دفعت المميزات السابقة لتقنيات الذكاء الصناعي إلى استخدام هذه التقنيات في العديد من الدراسات وكذلك في بحثنا هذا، لكن بأسلوب مختلف من حيث مدخلات النظام (في دراستنا على سبيل المثال كانت مخرجات الدراسة السابقة مدخلات لنظامنا المقترح)، وتم اعتماد قواعد استدلال عائمة مرنة (قابلة للتعديل بما يتوافق مع خصائص كل نظام موضوع الدراسة).

أهداف البحث:

يهدف البحث إلى تحسين وثوقية الأنظمة عالية التعقيد وذات متطلبات الوثوقية المرتفعة ومنها أنظمة الاتصالات وتجهيزاتها، وذلك بإنتاج نموذج لحساب الوثوقية معتمد على نظرية المجموعات العائمة يقود إلى توزيع احتمالي جديد، والهدف من هذا النموذج التغلب على الصعوبات المتمثلة بعدم وجود معلومات دقيقة عن معدلات الخطأ لتجهيزات الأنظمة المستهدفة بالدراسة، اعتمد النموذج المقترح على المجموعات العائمة لإيجاد توزيع احتمالي شامل لثلاث توزيعات احتمالية تغطي كافة مراحل عمل التجهيزة بدءاً من فترات التشغيل التجريبية (Mortality life) مروراً بمرحلة العمل الفعال (مرحلة العمل المفيد للتجهيزة (Useful life)) وانتهاءً بمرحلة تقادم أو اهتلاك التجهيزة (Wear -

استخدام المنطق العائم لتصميم نموذج عام لتحسين حساب الوثوقية في النظم والتجهيزات الإلكترونية
عموماً ونظم الاتصالات تحديداً

(Out) والهدف من ذلك هو الحصول على نتائج أكثر دقة وواقعية تساهم بتحسين وثوقية التجهيزات والأنظمة من خلال حسابات وثوقية أكثر دقة وأكثر شمولية ومراحل عمل التجهيزة سابقة الذكر مبينة في الشكل (2)[13]، وذلك على خلاف الدراسات السابقة المعتمدة على الذكاء الصناعي في مجال الوثوقية والتي اتجهت مباشرة إلى المعلومات الإحصائية المتوفرة (معدلات الفشل)، وتم تعويم هذه المعلومات وتحويلها إلى قيم عائمة ومن ثم إجراء حسابات الوثوقية وفي النهاية تتم إزالة التعويم وفي حالات أخرى يتم تحويل الطرق التقليدية إلى طرق عائمة بإدخال مرحلة عائمة في مراحل حساب الوثوقية ومرحلة لإزالة التعويم [7].



الشكل (2): مراحل عمل التجهيزة منذ الانتاج حتى مرحلة الهرم والتقاعد

مواد وطرق البحث: تتلخص خطوات البحث كمايلي:

- حساب الوثوقية وفق توزيع وايبل الاحتمالي بقيم مختلفة لمعامل الشكل (β) ومعامل القياس (α)، فنحصل على R1 التي تمثل وثوقية التجهيزة في مرحلة المهد و R2 التي تمثل وثوقية مرحلة الحياة المفيدة للتجهيزة و R3 التي تمثل وثوقية مرحلة التقادم.

- إدخال قيم الوثوقية الثلاث على نموذج الذكاء الصناعي المقترح بعد كتابة معادلات الاستدلال العائمة له والحصول على قيمة R المحسنة.
- إزالة تعويم R والحصول على قيمتها النهائية.
- استنتاج توزيع احتمالي جديد من خلال دراسة عينات شاملة من نتائج النموذج العائم المقترح.

1- حسابات الوثوقية:

1-1- معدل الفشل (Failure rate):

يوضح معدل الفشل العلاقة الكمية بين مفهوم الوثوقية والزمن باعتباره يمثل توزيع حالات الفشل على مسافة زمنية معينة وهذه الحالات قد تكون متركزة في جزء من المجال الزمني المدروس وقد تكون موزعة بشكل عشوائي على هذا المجال أو في نهايته في حال كانت حالات فشل ناتجة عن التقادم [14]، انطلاقاً مما سبق تم في هذا البحث حساب قيمة الوثوقية تبعا لمعدل الفشل (λ) وفق توزيع واييل الاحتمالي ولكن مع قيم مختلفة لمعاملات الشكل والقياس بحيث نحصل على ثلاث قيم مختلفة للوثوقية (R_3, R_2, R_1) تحسب كما يلي:

1-2- خطوات حساب الوثوقية R (ماقبل التعويم): تم الحساب على المراحل

الثلاث لحياة التجهيزة وبافتراض العمر المقدر للتجهيزة ($\alpha = 25 \text{ year} =$

(220000 h

1-2-1 - حساب وثوقية التجهيزة في مرحلة المهد R1:

يمكننا حساب R1 بالاعتماد على توزيع وايبل عند القيم التالية لمعامل القياس والشكل ($\alpha=220000$ ، $\beta = 0.5$) وفق الأتي:

يعطى تابع الكثافة الاحتمالية لتوزيع وايبل كما يلي [13]:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} , & x > 0 \\ 0 & elsewhere \end{cases}$$

وباعتبار أننا ندرس التوزع الزمني للعطل تصبح المعادلة بدلالة الزمن كما يلي:

$$f(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta}$$

أما الدالة التراكمية فتعطى بالعلاقة:

$$F(t) = \int_0^t \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} dx$$

ونعلم أن :

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} dx = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

وبالتالي نحصل على المعادلة (1) لتوزيع وايبل الاحتمالي :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (1)$$

بتعويض قيم معامل الشكل والقياس ($\beta=0.5, \alpha=220000$) نحصل على
المعادلة (2) وهي معادلة الوثوقية لـ R1:

$$R1(t) = e^{-\left(\frac{t}{220000}\right)^{0.5}} \quad (2)$$

تم من خلال هذه المعادلة لاحقاً حساب قيم R1 في الجدول (2) والموافقة لقيم (t)
المختارة لتدريب النموذج العائم.

1-2-2- حساب وثوقية التجهيزة في مرحلة العمل المفيد R2:

تم حساب R2 هنا بالاعتماد على التوزيع الاحتمالي الأسّي (حالة خاصة من
توزيع وايبل) والذي يعطى تابع الكثافة الاحتمالية له كما يلي:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}} & , \quad x > 0 \\ 0 & , \quad elsewhere \end{cases}$$

وحيث أننا ندرس التوزيع الاحتمالي لمعدل الخطأ على محور الزمن يصبح لدينا:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

ومنه :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

وبالتالي تكون الوثوقية هنا وفق المعادلة (3):

$$R2(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

1-2-3- حساب الوثوقية في مرحلة التقادم R3:

تم حساب الوثوقية هنا وفق توزيع وايبل بقيم معاملات قياس وشكل كالتالي
($\alpha = 220000$ ، $\beta = 3.5$) ، ومنه وبالعودة إلى المعادلة (1) وتعويض قيم
المعاملات فيها نجد المعادلة (4):

$$R3(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{220000}\right)^{3.5}} \quad (4)$$

1-3-3- تعويم قيم الوثوقية R1 و R2 و R3:

نقصد بمصطلح (تعويم) ، تحويل القيم الحدية إلى قيمة عائمة أو غير حدية
ونلجأ لذلك عند وجود شك (عدم يقين) بدقة القيمة ،نعتمد في هذه الخطوة على
نظرية المجموعات العائمة (Fuzzy Set Theory).

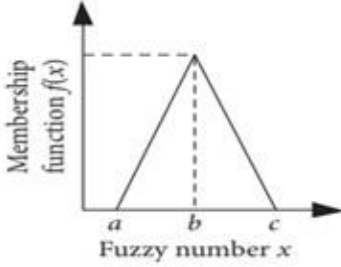
1-3-1- المجموعات والأعداد العائمة:

يتركز الفرق بين المنطق العائِم والمنطق الثنائي على كون المنطق الثنائي
يرتكز على اقتراحين فقط (0 ، 1) . ولكن يوجد اقتراحات أخرى بين القيمتين
السابقتين وهذه الاقتراحات تعبر عن درجة ارتباط مجموعة معطاة من القيم وهو
ما يميز المنطق العائِم وكان Zadeh أول من طرح هذه النظرية [13] .

حيث أنه في المنطق العائِم يمكن إعطاء قيمة لانتماء عنصر معين إلى
مجموعة معينة وهذه القيمة تقع في المجال [0,1]، والذي يحدد قيمة انتماء
العنصر إلى مجموعة عائمة معينة هو تابع الانتماء (Membership
Function) ، يأخذ هذا التابع العديد من الأشكال ولكن الأكثر استخداماً في
مجال الوثوقية هو الشكل المثلثي (Triangular) وشكل شبه المنحرف
(Trapezoidal) [13].

• التابع المثلثي (Triangular): يحدد هذا الشكل من التتابع أعداداً عائمة

موضحة بالمعادلة (5) والشكل (3):



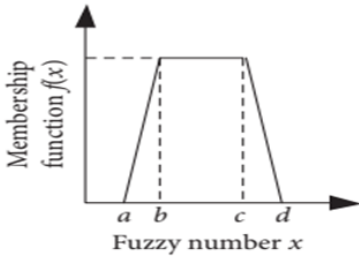
$$f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & \text{others,} \end{cases}$$

الشكل (3)

(5)

بحيث : a, x, c, b أعداد حقيقية ، يحدد هذا التابع المجموعة العائمة A
بحيث : $A = (a, b, c)$ ، ويمثل b العنصر الأعلى انتماء إلى المجموعة ،
بينما a, c الحدين السفلي والعلوي للبيانات المقيمة من قبل تابع الانتماء المثلثي.

• تابع شبه المنحرف (Trapezoidal): يعطى بالمعادلة (6) والشكل (4) :



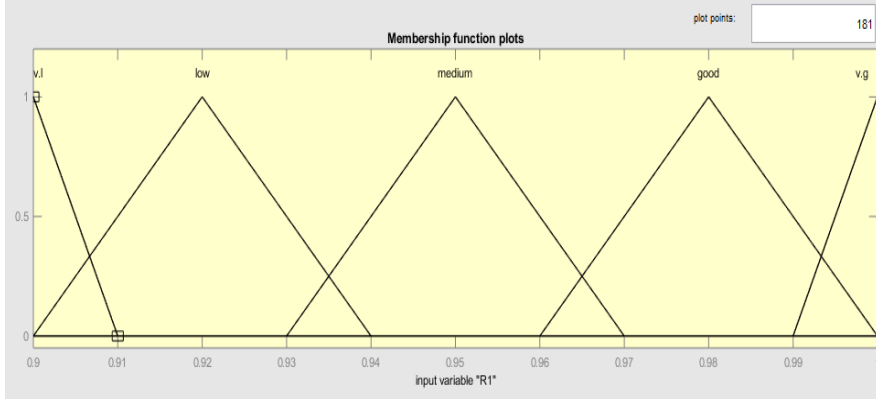
$$f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{others.} \end{cases}$$

الشكل (4)

(6)

وفي بحثنا هذا استخدمنا تابع الانتماء المثلثي لتحديد درجة انتماء قيم الوثوقية إلى المجموعات العائمة المختارة في الشكل (5) والذي يبين المجموعات العائمة وتتابع

الانتماء المستخدمة لتعويم قيم الوثوقية للتوزيعات الاحتمالية الثلاثة سابقة الذكر
(R3، R2،R1).



الشكل (5) المجموعات العائمة المستخدمة لتعويم قيم الوثوقية

- تم تقسيم المجال السابق الذكر إلى خمس مجالات (مجموعات عائمة) تبعا لقيم الوثوقية وهي:

a. المجال من (0.9-0.91) تعتبر فيه الوثوقية منخفضة جداً (Very Low)

b. المجال من (0.9 - 0.94) تعتبر فيه وثوقية منخفضة (Low)

c. المجال من (0.93 - 0.97) تعتبر فيه وثوقية متوسطة (Medium)

d. المجال من (1 - 0.96) تعتبر فيه الوثوقية جيدة (Good)

e. المجال من (1 - 0.99) تعتبر فيه الوثوقية جيدة جداً (Very

Good)

إن مجال الدراسة المبين في الشكل (5) وكذلك المجموعات العائمة قابلة للتعديل بما يتلاءم مع طبيعة الجهاز أو حرجة النظام المدروس بحيث يمكن تثقيل إحدى المجموعات

أو جعل مجال الدراسة أكثر اتساعاً تبعاً لخصوصية التطبيق، وفي هذا البحث درسنا قيم الوثوقية في المجال بين (90% و 99%) لأن قيم الوثوقية الأدنى من ذلك تعتبر وثوقية ضعيفة ولا تتناسب مع الأنظمة الحرجة من حيث الوثوقية وهي الأنظمة قيد الدراسة .

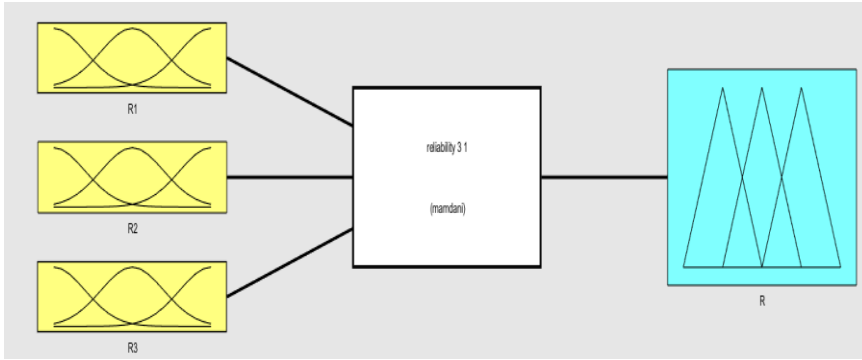
كما من الممكن في أبحاث لاحقة الاعتماد على تابع الانتماء الشبه المنحرف ومقارنة النتائج مع التابع المثلي المستخدم حالياً كونه الأكثر استخداماً في مجال التجهيزات الإلكترونية وتجهيزات الاتصالات

ومن الممكن أيضاً تقسيم مجال الدراسة إلى ثلاث مجموعات عائمة فقط (جيدة ، متوسطة ، ضعيفة) ولكن تم اعتماد التقسيم إلى خمس مجموعات كونه أدق، أما زيادة الدقة إلى عدد أكبر من المجموعات العائمة فيكون على حساب زيادة تعقيد العمليات الحسابية للنموذج ، حيث يرتبط عدد قواعد الاستدلال كما هو معلوم بعدد المدخلات وعدد المجموعات العائمة (في بحثنا استخدمنا 125 قاعدة للاستدلال) لذلك كان اختيارنا لخمس مجموعات عائمة تعتمد تابع الانتماء المثلي.

1-3-2- حساب قيمة R العائمة :

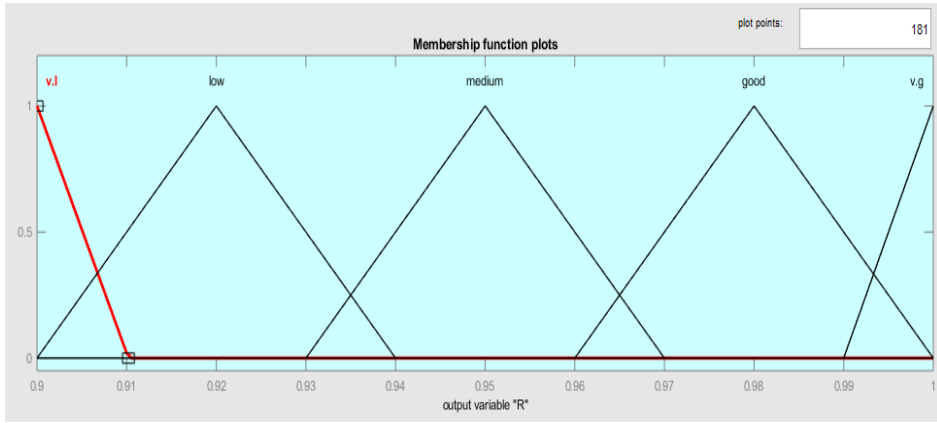
لحساب قيمة R وفق النموذج المقترح تم الاعتماد على (125) قاعدة من قواعد الاستدلال العائمة والذي يميز هذه القواعد وبالتالي يميز النموذج المقترح هو المرونة العالية وإمكانية التعديل في هذه القواعد بما يتناسب مع الخصائص المرتبطة بالنظام قيد الدراسة حيث يمكن على سبيل المثال دمج شرطين أو أكثر في شرط واحد في حال مستوى دقة معين مطلوب أو العكس زيادة الشروط للحصول على دقة أكبر كما يمكن التركيز على حالة معينة ودراستها وفق أكثر من شرط لكونها حالة خاصة مهمة، وفي بحثنا اعتبرنا أننا آراء الخبراء ترجح استخدام التوزيع الإحصائي الأسّي (exponential distribution) لدراسة فترة

الحياة المفيدة من عمر التجهيزة وهي ما تقابل في دراستنا حساب الوثوقية (R2) وبناءً عليه تم تثقيل قيمة (R2) في قواعد الاستدلال المستخدمة، وعلى سبيل المثال لو حصلنا على قيمة تصنف "جيدة" عند حساب (R1) وقيمة "جيدة" ل (R2) وقيمة "جيدة جداً" ل (R3) فإن قيمة (R2) ترجح الكفة لصالح أن الوثوقية جيدة وليست جيدة جداً وذلك تبعاً لقواعد الاستدلال المستخدمة في البحث. ويبين المخطط الصندوقي في الشكل (6) كل من عملية تعويم (R3،R2،R1) ومن ثم الحصول على قيمة عائمة ل (R).



الشكل (6) تعويم قيم الوثوقية التقليدية الثلاث للحصول على قيمة عائمة R

بعد الحصول على قيمة الوثوقية (R)، تخضع هذه القيمة للتصنيف ضمن المجموعات العائمة ذاتها المستخدمة في تعويم كل من (R3،R2،R1) وهي موضحة في الشكل (7) :



الشكل (7) المجموعات العائمة المستخدمة لاستنتاج قيمة R

1-3-3 - إزالة التعويم والحصول على قيمة محددة جديدة للوثوقية :

يوجد عدة طرق للحصول على قيمة حدية من أي متحول عائم وبالتالي الحصول على قيمته الصريحة ، نذكر من هذه الطرق [15] :

- (1) Max–membership principle.
- (2) Centroid method
- (3) Weighted average method
- (4) Mean–max membership
- (5) Centre of sums
- (6) Centre of largest area
- (7) First of maxima or last of maxima

تم في بحثنا استخدام الطريقة المركزية (Centroid Method) من أجل إزالة التضييب والحصول على قيمة دقيقة للوثوقية .

• الطريقة المركزية لإزالة التعويم (Centroid Method):

وتسمى هذه الطريقة أيضا بمركز الجاذبية (Center of Gravity) أو مركز المساحة (Center of Area) وهي من أكثر الطرق استخداما في مجال إزالة التعويم ، ويعبر عنه بالمعادلة الجبرية (7):

$$Z^* = \frac{\int \mu_c(z).z dz}{\int \mu_c(z).dz} \quad (7)$$

بحيث تمثل $\int \mu_c(z).dz$ المساحة المحددة بالخط البياني للتابع $\mu_c(z)$.

تم باستخدام برنامج MATLAB تطبيق النموذج المقترح على عينة تدريبية كبيرة وشاملة من (λ, t) ، بحيث حصلنا على القيمة المثلى لـ R لكل عينة، الجدول (2) يوضح ارتباط القيم التدريبية لـ (λ, t) بكل من $(R1, R2, R3)$ وهي قيم الوثوقية المحسوبة بالطرق التقليدية (التوزيعات الاحتمالية الثلاث).

وكون الدراسة أعدت لتشمل أغلب النظم والتجهيزات الإلكترونية ونظم وتجهيزات الاتصالات ، فقد تم تطبيق عينة تدريبية افتراضية كبيرة من البيانات على الدخل ، حيث جهدنا أن تكون العينة قادرة على تغطية نسبة مقبولة من البيانات المتوقع ورودها على دخل النظام ، وتم تدريب النموذج على هذه العينة وتتبع الخرج الموافق ، الأمر الذي مكنتنا من الحصول على علاقة رياضية تربط الدخل بالخرج. يوضح الجدول (2) بعض العينات التوضيحية من بيانات التدريب الشاملة.

جدول (2) بعض القيم من بيانات التدريب المستخدمة

λ	T	R1	R2	R3
0.00001489	50	0.9850375	0.999255777	1
0.00001481	3650	0.879144764	0.947378578	0.999999412
0.00001476	5900	0.848943556	0.916600098	0.999996841
0.00001466	10400	0.804589618	0.858589803	0.999977032
0.00001284	92300	0.52323568	0.305705824	0.953293084
0.00001202	129200	0.464712095	0.21161557	0.856229316
0.00001057	194450	0.390573065	0.12804974	0.522487071

بعد الحصول على القيم التقليدية للوثوقية وفق التوزيعات الثلاث (R3,R2,R1)، قمنا بإدخال هذه القيم الثلاث كمدخلات للنظام العائم المقترح لنحصر على مايقابلها من قيمة عائمة مثلى للوثوقية (R) والتي بدورها خضعت لعملية إزالة تعويم فصلنا على قيمة حدية لها، ونبين في الجدول (3) قيم R المقابلة لقيم (R3,R2,R1) في الجدول السابق.

استخدام المنطق العائم لتصميم نموذج عام لتحسين حساب الوثوقية في النظم والتجهيزات الإلكترونية
عموماً ونظم الاتصالات تحديداً

جدول (3) حساب قيم R من خلال قيم الوثوقية التقليدية الثلاثة اعتماداً على النموذج العائم

R1	R2	R3	R
0.9850375	0.999255777	1	0.992
0.879144764	0.947378578	0.999999412	0.95
0.848943556	0.916600098	0.999996841	0.95
0.804589618	0.858589803	0.999977032	0.948
0.52323568	0.305705824	0.953293084	0.903
0.464712095	0.21161557	0.856229316	0.903
0.390573065	0.12804974	0.522487071	0.903

ومن خلال هذه المحاكاة وإخضاع النتائج التي حصلنا عليها لدراسة دقيقة وبمساعدة (cftool) الأداة المساعدة لإيجاد المعادلة الرياضية والمنحني المطابق للمعطيات المقدمة من النموذج العائم تم الحصول على العلاقة التالية (8) والتي تعطي نموذجاً رياضياً عن النموذج العائم :

$$R = a\lambda + bt + c \quad (8)$$

حيث تعطي قيم الثوابت ضمن المجالات التالية :

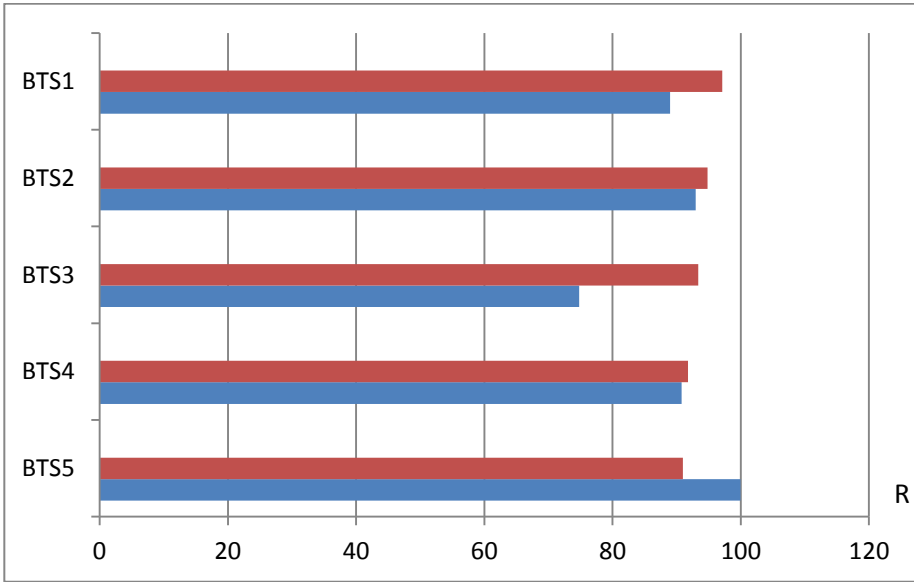
$$a = (-5.137e+16, 6.484e+16)$$

$$b = (-1.142e+06, 1.441e+06)$$

$$c = (-9.655e+11, 7.649e+11)$$

تعطي المعادلة (8) تمثيلاً رياضياً مقبولاً إلى حد كبير للنموذج القائم المقترح ، ويمكن اعتبار المعادلة السابقة توزيعاً احتمالياً جديداً يملك المرونة الكافية لتقييم وثوقية التطبيقات الحرجة على وجه الخصوص (وثوقية أعلى من 90 %) وذلك عند ضبط الثوابت في المعادلة السابقة تبعاً لعمليات قياس كل من (R1، R2، R3) .

من أجل تقييم النموذج المقترح تم تطبيقه على نظام اتصالات تم دراسته سابقاً في البحث [10] وهو مكون من خمس محطات خلوية وكانت النتائج للمحطات الخمس كما هو مبين في الشكل (8).



■ الوثوقية وفق توزيع وايبل

■ الوثوقية وفق النموذج المقترح

الشكل (8) مقارنة قيم الوثوقية وفق النموذج المقترح مع الوثوقية التقليدية باستخدام توزيع وايبل

استخدام المنطق العائم لتصميم نموذج عام لتحسين حساب الوثوقية في النظم والتجهيزات الإلكترونية
عموماً ونظم الاتصالات تحديداً

أما الوثوقية الكلية للنظام فكانت متقاربة بين الطريقتين مع ترجيح النموذج المقترح من حيث الدقة، حيث كانت النتائج كما في الجدول (4):

جدول (4) قيم الوثوقية الناتجة من خلال تطبيق توزيع وايبل ونموذجنا المقترح

الطريقة المستخدمة	الوثوقية الكلية	المحطة ذات الوثوقية الأعلى	أعلى وثوقية مسجلة
توزيع وايبل	0.99999926	BTS1	97.1
النموذج المقترح	0.99999979	BTS5	99.07446

وفي دراسة أخرى (16) تمت دراسة الوثوقية باستخدام المنطق العائم للأنظمة المشغلة للطائرات الحربية وتم حساب الوثوقية وفق عدد ساعات الطيران، قمنا بتطبيق بارامترات معدل الفشل في هذه الدراسة وكذلك عدد من النقاط الزمنية المختارة لحساب الوثوقية (عدد ساعات الطيران) وفق نموذجنا وكانت النتائج كما في الجدول (5):

جدول (5) حسابات الوثوقية وفق النموذج المقترح ومقارنتها مع نتائج الدراسة (16)

Flying Hours (h)	R(t) Classical Model (Empirical)	R(t) Fuzzy Model	Our Model
65	0.97315	0.9300	0.98
175	0.77347	0.7950	0.95
302	0.41286	0.4160	0.903

تم في المقارنة السابقة الاعتماد على المعاملات (β, α) في توزيع وايبل ذاتها المستخدمة في الدراسة (16) من أجل دقة المقارنة، وبمراجعة النتائج نلاحظ تقارب القيم عند قيم الوثوقية العالية وتباعدها بشكل منطقي عند قيم الوثوقية المتوسطة (175 ساعة تشغيل) والوثوقية الضعيفة (302 ساعة تشغيل) وهذا منطقي من حيث أن نموذجنا يهتم بقيم الوثوقية الحرجة (من 0.9 إلى 0.99) وهذا المجال يقابل في الدراسة المقابلة (من 0 إلى 0.99) وبالتالي من المنطقي أن تقابل قيم وثوقية متوسطة (0.77347) قيمة حرجة متوسطة (0.95) وأيضاً تقابل (0.41286) القيمة الأدنى في مجال نموذجنا وهي (0.903).

2- مناقشة النتائج:

نلاحظ من النتائج السابقة الإيجابيات التالية للنموذج:

- حصلنا من خلال النموذج العائم المقترح على معادلة رياضية تعتبر توزيعاً احتمالياً جديداً يشمل التوزيعات الاحتمالية الثلاث.
- تتناسب المعادلة الناتجة بعد تعديل قيم الثوابت مختلف المجالات والتطبيقات العلمية والعملية ، كونها تراعي ثلاث توزيعات احتمالية بدلا من توزيع واحد.
- يمكن احتساب قيم الوثوقية (R1 ، R2 ، R3) بأي طريقة تقليدية لحساب الوثوقية وليس فقط عن طريق التوزيعات الاحتمالية لمعدلات الفشل المذكورة في البحث ، ولكن تم اعتماد هذه التوزيعات لأنها تغطي وبشكل احتمالي كافة مراحل عمل التجهيزة على امتداد زمن عملها المفترض.
- يعتبر النموذج المقترح الجهاز قيد الدراسة أو النظام المدروس على حد سواء يعتبره صندوقاً أسوداً ، حيث من غير المهم الدراسة التفصيلية لأنواع الأخطاء

الحاصلة وتأثيراتها المتفرقة ، بل يكفي أن نعلم معدل الفشل الاجمالي والذي بناء عليه نقوم بحساب الوثوقية بثلاث طرق مختلفة ومن ثم إخضاعها للنموذج الرياضي للحصول على قيمة مثلى لـ R.

- تعتبر المعادلة الناتجة مكافئة إلى حد كبير للنموذج العائم وبالتالي يمكن توفير العمليات الحسابية الأكثر تعقيدا للحسابات العائمة والإكتفاء بالمعادلة الرياضية على أنها توزيع احتمالي يمكن أن يصطلح على تسميته " التوزيع العائم " Fuzzy Distribution.

- يصعب في الدراسات المماثلة لدراستنا التأكد بشكل مباشر من دقة النتائج حيث يتطلب ذلك مراقبة طويلة من قبل خبراء للنظام المدروس، ولكن كون النموذج المقترح يغطي كامل حياة التجهيزة أو النظام المدروس من خلال دمج ثلاث توزيعات احتمالية، فمن المتوقع الحصول على نتائج دقيقة ومقبولة.

3- التوصيات:

- دراسة توزيعات احتمالية مختلفة عن التوزيعات المستخدمة في البحث ومقارنة النتائج مع مخرجات توزيعنا الاحتمالي الجديد (Fuzzy Distribution).
- اختبار العديد من التوزيعات الاحتمالية للوقوف على التوزيعات الأكثر ملاءمة لنظم الاتصالات بشكل خاص.

- [1] MURPHY,B;LEVIDOW,B,2000– Windows 2000 dependability.
Proc, IEEE DSN.
- [2] CALIXTO, E, 2016 – Gas and Oil Reliability Engineering,
Modeling and Analysis. Gulf Professional Publishing, (2nd Ed.).
- [3] NAESS, A ; LEIRA, B J and BATSEVYCH, O, 2012 –
Reliability analysis of large structural systems. Probabilistic
Engineering Mechanic, 28, 164–168.
- [4] STAPELBERG, F 2009– Handbook of reliability, availability,
maintainability and safety in engineering design. Springer, London,
295–527.
- [5] POKORNI, J, 2021- Current state of the application of artificial
intelligence in reliability and maintenance. Vojnotehnički glasnik/Military
Technical Courier 69, no. 3, 578-593.
- [6] DAVRONBEKOV,D;MATYOKUBOV,K and ABDULLAYEVA,I
2020 - Evaluation of reliability indicators of mobile communication
system bases. EVALUATION, 11.
- [7] VPURBA, H; LU, J; ZHANG, G and PEDRYCZ, W, 2014 – A
fuzzy reliability assessment of basic events of fault trees through
qualitative data processing. Fuzzy Sets and Systems, 243,50–69.
- [8] ZHI–GANG, L; JUN–GANG, Z; and BO–YING, L 2016 –
Research on reliability evaluation method of complex multistate
system based on fuzzy fault tree. In 2016 International Conference
on Fuzzy Theory and Its Applications, pp. 1–4.
- [9] BARALDI, P; PODOFILLINI, L; MKRTCHYAN, L; ZIO, E; and
Dang, V. N 2015 – Comparing the treatment of uncertainty in

Bayesian networks and fuzzy expert systems used for a human reliability analysis application. Reliability Engineering & System Safety, 138, 176–193.

[10] DAVRONBEKOV, D.; MATYOKUBOV, U. K.; and ABDULLAYEVA, M. I 2020 – Evaluation of reliability indicators of mobile communication system bases. EVALUATION, 11.

[11] BALOUI J, E 2011– An evaluation of the systems reliability using fuzzy lifetime distribution. Journal of Applied Mathematics, Vol. 7, No. 28,73–80.

[12] BALOUI J, E 2014– Analyzing system reliability using fuzzy Weibull lifetime distribution. International Journal of Applied Operational Research, Vol. 4, 93–102.

[13] BRENNEMAN, E; SAHAY, C and LEWIS, E 2022 – Introduction to reliability engineering. John Wiley & Sons.

[14] ABDOLSHAH, M; SAMAVI, A; KHATIBI, A and MAMOOLRAFTAR M 2019 – A review of systems reliability analysis using fuzzy logic. Advanced Fuzzy Logic Approaches in Engineering Science, 362–377.

[15] SAADE,J & DIAB, B 2004– Defuzzification methods and new techniques for fuzzy controllers. 161–174.

[16] ZYLUK, A, KUZMA, K, GRZESIK, N, ZIEJA, M, and TOMASZEWSKA, J 2021– Fuzzy Logic in Aircraft Onboard Systems Reliability Evaluation—A New Approach. Sensors, 21(23), 7913.

إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام

نماذج التعلم العميق المعتمدة على الانتباه لتحسين

التنبؤ بالتقييمات

م. محمد ديب¹، أ.د. ناصر أبو صالح²

كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

المخلص

تستخدم أنظمة التوصية طرقاً معتمدة على ميزات المعطيات المتعلقة بكل من المستخدمين والمنتجات والتفاعلات السابقة فيما بينهم بهدف تقديم أفضل التوصيات من المنتجات للمستخدم. نظام التوصية التحليل العاملي للمصفوفة العصبوني (NeuMF) المعتمد على الفلتر التعاونية يستخدم فقط معرفات المستخدمين والمنتجات في حساب تقييمات المنتجات من أجل تقديم التوصيات المناسبة للمستخدمين الهدف، ولا يستخدم كامل ميزات المعطيات المتعلقة بالمستخدم والمنتج والتفاعلات فيما بينهم. في هذه الدراسة، نقوم بتحسين NeuMF بتسخير جميع ميزات المعطيات باستخدام التعلم العميق للاستفادة من العلاقات غير الخطية بين ميزات المعطيات والاستفادة من الميزات النصية، ونستخدم أيضاً نموذج XGBoost لتجميع خرج طبقات الشبكات العصبونية العميقة المستخدمة. تم تطبيق التجارب والمقارنات على مجموعات المعطيات الثلاث التالية: Book Crossing، Amazon Gift Cards، Shopify App Store. يتفوق النموذج المقترح المحسن على أنظمة التوصية الأساس قبل استخدام الميزات النصية بنسبة تخفيض خطأ تصل 20%-، ويعد استخدام الميزات النصية NeuMF-XT بنسبة تصل 60%- بالنسبة لمقاييس الخطأ MAE و RMSE.

الكلمات المفتاحية: التعلم العميق، الفلتر التعاونية، تضمين الكلمات، الانتباه، المعالجة المسبقة.

¹ طالب دكتوراه - قسم هندسة البرمجيات ونظم المعلومات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث.

² أستاذ دكتور - قسم هندسة البرمجيات ونظم المعلومات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث.

Enriching NeuMF System with Full Data Features Using Attention-Based Deep Learning Models to Improve Ratings Prediction

Eng. Mohammed Deeb³, Dr. Nasser Abu Saleh⁴

Faculty of Informatics Engineering, Al-Baath University

Abstract

Recommendation systems use methods based on data features related to users, products, and previous interactions between them to provide the best products recommendations to the user. The collaborative filtering-based recommendation system, Neural Matrix Factorization (NeuMF) only uses users and products identifiers in calculating products ratings to provide appropriate recommendations to the target users, and does not use the full data features related to the user, product, and interactions between them. In this study, we improve NeuMF by harnessing all data features using deep learning to take advantage of the non-linear relationships between the data features and taking advantage of the textual features. We also use the XGBoost model to aggregate the output of the deep neural networks' layers. Experiments and comparisons were applied to the following three datasets: Book Crossing, Shopify App Store, and Amazon Gift Cards. The proposed improved model outperforms the baseline recommendation systems before using the textual features with an error reduction of up to -20%, and after using textual features NeuMF-XT by up to -60% for MAE and RMSE error metrics.

Keywords— Deep Learning || Collaborative Filtering || Word Embedding || Attention || Preprocessing.

³ PhD Student - Department of Software Engineering and Information Systems, Faculty of Informatics Engineering.

⁴ Professor Dr. - Department of Software Engineering and Information Systems, Faculty of Informatics Engineering.

1- المقدمة

تلعب أنظمة التوصية دوراً مهماً في تسهيل عمليات البحث واختيار المنتجات والخدمات المناسبة للمستخدمين لتوفر عليهم الوقت والجهد في البحث ضمن أعداد ضخمة من تلك المنتجات المتوفرة في مختلف أنواع المواقع الخدمية، وهذا الدور مهم باعتبار أن أكثر من نصف سكان العالم (تقريباً 67.9%) يستخدمون الإنترنت في معظم أنشطتهم اليومية⁵.

تستخدم أنظمة التوصية معطيات المستخدمين والمنتجات لإجراء العمليات عليها بهدف إيجاد وتقديم أفضل التوصيات بالمنتجات للمستخدمين [24]، وتقسّم إلى 3 أصناف: الفلتر التعاونية التي تعتمد على تفاعلات مستخدم-عنصر، والفلتر المعتمدة على المحتوى التي تعتمد على معطيات المستخدم أو العنصر، ومزيج هجين من التصنيفين السابقين [38]. التحليل العاملي للمصفوفة MF [24] هو نظام توصية معتمد على الفلتر التعاونية يقوم بتمثيل كل مستخدم وعنصر بمتجه من الميزات الكامنة ويسقطها على مصفوفة من المتجهات الكامنة، ينتج من جدائها داخلياً مصفوفة تفاعل عنصر-مستخدم تمثل قيمها تفضيلات المستخدم لذلك العنصر (تقييمات). إنّ MF تعتمد فقط على العلاقات الخطية بين تقييمات المستخدم والعناصر مما يجعل أداؤها التنبؤي غير جيد كفايةً. طُبقت العديد من الدراسات لتطوير أنظمة MF للاستفادة من العلاقات غير الخطية بين ميزات المعطيات، من ضمنها المتعلقة بالتعلم العميق مثل نظام التحليل العاملي للمصفوفة العصبوني NeuMF [14]. يُستخدم نظام NeuMF بنيتين عصبونيتين وهما: GMF للتعلم من العلاقات الخطية وMLP للتعلم من العلاقات غير الخطية في تفاعلات مستخدم-عنصر [14]. مع ذلك تعاني NeuMF من نفس مشاكل أنظمة الفلتر التعاونية CF، إذ أنّ عدد التقييمات المقدمة من قبل المستخدمين قليل جداً بالنسبة للأعداد الهائلة المتوفرة من المنتجات وهذا ما يطرح مشاكل مثل تبعثر

⁵ احصائيات الإنترنت العالمي، في 12 آذار 2024: <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>

المعطيات والاقلاع البارد التي تؤثر سلباً على الأداء التنبؤي لأنظمة CF [33]. أُجريت العديد من الأبحاث من أجل حل تلك المشاكل من خلال استخدام نماذج تعلم الآلة وشبكات التعلم العميق العصبونية وذلك باستخدام كامل ميزات المعطيات المتعلقة بالمستخدم والعنصر [13، 27، 33]. إنّ ميزات المعطيات تملك معلومات مهمة تمثل خصائص المستخدم والعنصر، ويمكن الاستفادة منها في زيادة الدقة التنبؤية لأنظمة CF. تحمل الميزات النصية العديد من المعلومات المهمة التي توصف المستخدم والعنصر وأهمها التي تعبر عن مشاعر المستخدم تجاه العنصر ومدى تفضيله لها [7، 45]. يوجد العديد من الطرق التقليدية لتمثيل النصوص مثل BOW، TF-IDF، ولكنها لا تمثل مشاعر وأهمية الكلمات في النصوص ومراجعات المستخدمين [21، 45]. طُوّرت العديد من الطرق والنماذج لتحليل المشاعر وتصنيفها، إذ تم استخدام نماذج الشبكات العصبونية العميقة في تحليل المشاعر والآراء وقدمت تنبؤات بالتقييمات للمراجعات النصية بأداء عالي عند استخدامها نماذج مدربة مسبقاً لتضمين الكلمات [7، 21، 45]. بالإضافة لمشكلتي التبعرث والإقلاع البارد لدى نموذج NeuMF فإنّ دخله متبعرث عبارة عن أصفار تمثل مواضع معرفات المستخدمين أو العناصر (one-hot-encodings)، وتعتمد فقط على ميزة معرفات المستخدم والعنصر وهي لا تمثل سوى أنّ المستخدم قام بتفضيل العنصر [14]، وهذا غير كافي لتقديم أداء تنبؤي جيد.

في هذه الدراسة، سنقوم بالاستفادة من كامل ميزات المعطيات وخاصة الميزات النصية وذلك بتمكين النموذج من استخدام جميع ميزات المعطيات في طبقة الدخل، وتجنب التلاوم الزائد (Overfitting) والحصول على أداء جيد باستخدام نموذج تعلم الآلة XGBoost [4] كمكدس لنموذجي GMF، MLP ودمجها مع نموذج عصبوني نصي. تم تدريب واختبار 20 نموذج نصي من البنى العصبونية MLP [1، 14]، CNN [22، 25]، BiLSTM [12، 40، 42]، ونموذج هجين منها مع آلية الانتباه [26، 29، 41، 44]، بالإضافة إلى استخدام عدة نماذج مدربة مسبقاً لتضمين الكلمات Word2Vec [31]، FastText [20]، Glove [34]. تقدم الدراسة نموذجاً مقترحاً

NeuMF-XT يتفوق على جميع النماذج المقترحة، النموذج الأصلي NeuMF، وأنظمة الأساس بتطبيق التجارب عليها وإجراء المقارنات بينها بالنسبة لمعايير تقييم الدقة التنبؤية، مقياسي الخطأ MAE و RMSE وعلى 3 مجموعات للمعطيات Book Crossing [47]، Amazon Gift Cards [32]، Shopify App Store [36].

باقي البحث منسق كالتالي: الفقرة 2 تتحدث عن هدف البحث، الفقرة 3 تتحدث عن الأعمال السابقة المتعلقة بموضوع الدراسة، الفقرة 4 تشرح الخوارزميات والطرق المستخدمة في البحث، الفقرة 5 تعرض منهجية البحث وخطوات العمل المتبعة في معالجة المعطيات وبناء النماذج المقترحة، الفقرة 6 تعرض التجارب، أدوات البحث، مجموعات المعطيات، معايير التقييم، أنظمة الأساس، والتجارب والمقارنات للنماذج المقترحة لكل مرحلة، وأخيراً النتائج ومناقشتها في الفقرة 7 والتي تعرض ما تم التوصل إليه في هذه الدراسة.

2- هدف البحث

تعاني أنظمة CF من مشكلتي تبعثر المعطيات والاقلاع البارد بسبب قلة التقييمات التي تعتمد عليها في تفاعلات مستخدم-عنصر، ودخل NeuMF متبعثر جداً إذ يعتمد على طريقة One-hot-encoding لبناء متجهات معرفات المستخدمين بحجم العدد الكلي لهم ولا يحمل أي معلومات مفيدة سوى معرف المستخدم والعنصر. ونموذج MLP لا يحوي أي نوع من التنظيم في طبقاته والتي ستحسن من جودة النظام في التنبؤ. تقوم هذه الدراسة على تحسين وتمكين نظام NeuMF من استخدام كامل ميزات المعطيات بما فيها النصية لتحسين الدقة التنبؤية بالتقييمات من خلال تطوير بنية طبقات النموذج للحصول على أفضل النتائج، واستخدام نموذج تعلم الآلة XGBoost كطبقة لربط خرج طبقات النموذج المقترح، واستخدام بنى الشبكات العصبونية العميقة للاستفادة من الميزات النصية، وتمثيلاتها من خلال استخدام نماذج لتضمين الكلمات مدربة مسبقاً، والاستفادة من آلية الانتباه لزيادة الدقة التنبؤية للنموذج المقترح النهائي.

3- الأعمال ذات الصلة

استخدمت العديد من الدراسات نظام NeuMF كقالب في بناء أنظمة توصية جديدة تحل مشاكل النماذج والأنظمة مثل تبعثر المعطيات والإقلاع البارد بتطبيق مجموعة من خوارزميات تعلّم الآلة والتعلّم العميق مما يحسن الدقة التنبؤية لها. قدّم الباحثون في [13] نموذجاً جديداً يعتمد على نموذج NeuMF بتبديل البنية العصبونية MLP ببنية عصبونية مكررة LSTM ويدعى النموذج المقترح بـ G-LSTM. أجريت المقارنات مع نماذج عصبونية LSTM، RNN، BPR وذلك بالنسبة لمعايير التقييم HR و NDGC على مجموعتي معطيات من موقع تعليم صيني "أكاديمية جوني"، وقد تفوّق النموذج المقترح عليها من ناحية الدقة والفعالية. قام الباحثون في [27] باستبدال بنية النموذج MLP في النظام NeuMF ببنية عصبونية CNN لنمذجة تفاعلات مستخدم-عصر بشكل مباشر، حيث استُخدمت GMF لنمذجة الميزات الضمنية باستخدام الطريقة الخطية و CNN لنمذجة التفاعلات بالطريقة غير الخطية. تم استخدام مجموعة المعطيات MovieLens ومقارنة النتائج مع الأنظمة الأساس NeuMF، BPR، ItemKNN، GMF، eALS، إذ تفوّق النموذج المقترح على تلك الأنظمة بقيم 0.7068 و 0.4259 لمعايير التقييم HR و NDCG. قدمت الدراسة [7] نموذجاً جديداً InterSentiment للتنبؤ بتقييمات المراجعات من خلال ربط نموذج لتفاعلات مستخدم-عصر مع نموذج لتحليل المشاعر للمراجعات النصية. يقوم النموذج باستخدام طبقة GMF لدمج بنية MLP مع بنية CNN بحيث يكون دخل MLP هو المعارف الفريدة للمستخدم والعنصر أما دخل بنية CNN فهو الميزة النصية للمراجعات. تم استخدام 3 مجموعات معطيات: IMDB، Yelp-2013، Yelp-2014، واستخدام مقياس الخطأ RMSE كمعيار لمقارنة الدقة التنبؤية مع كل من النماذج MF، SVM، TFM، إذ أظهرت المقارنات تفوّق InterSentiment على تلك النماذج. من أجل تقليل مشكلتي التبعثر والإقلاع البارد التي تعاني منها أنظمة الفلترة التعاونية CF وبالأخص NeuMF، قدّمت الدراسة [33] نموذجاً هجيناً NeuMF++ يستخدم شبكات الترميز

التقائمي لإزالة الضوضاء Denoising Autoencoders للحصول على تمثيلات كامنة لميزات المستخدمين والعناصر لُستخدم كدخل لنظام NeuMF للتعلم من تلك الميزات. تمت المقارنات مع NeuMF، GMF، MLP، على مجموعة معطيات MovieLens وتفق النمؤج بقيمة خطأ $RMSE=0.8681$.

إن طرق تصنيف وتحليل النصوص التقليدية بحاجة لتطوير بسبب طبيعة النصوص المعقدة والشعورية، مما دعت الحاجة إلى استخدام طرق أفضل للتنبؤ وتحليل المشاعر من الميزات النصية والمراجعات. قَدّم الباحثون في الدراسة [45] نمؤج الشبكة التلافيفية المكررة ثنائية الاتجاه المعتمدة على الانتباه (BRCAN) وهو نمؤج ناتج عن دمج بنية BiLSTM وبنية CNN مع آلية الانتباه. تستخدم طريقة تضمين الكلمات Word2Vec للحصول على متجهات الكلمات ونمؤج BiLSTM لاستخراج معلومات السياق والاعتماديات الطويلة للجملة. أما نمؤج CNN يُستخدم لتحديد الكلمات التي لها دور أساسي في التصنيف وآلية الانتباه تعطي أوزان كبيرة للميزات المفتاحية من النص. أظهرت التجارب تفوق النمؤج المقترح في دقة التصنيف على 4 مجموعات للمعطيات وهي Yahoo Answers، Sogou News، Yelp Reviews، Douba، بالمقارنة مع أنظمة شبكية وحيدة الطبقة، هجينة، معتمدة على الانتباه. أيضاً اقترح الباحثون في الدراسة [21] نمؤجاً جديداً يستخدم بنية CNN لاستخراج واكتشاف الميزات السياقية وتقليل أبعاد الميزات، ويطبق الانتباه على خرج CNN للحصول على مستوى الانتباه لكل كلمة، وبنية BiLSTM للحفاظ على الاعتماديات الطويلة. بالنسبة لتهيئة أوزان تضمين الكلمات تم استخدام TF-IDF و GloVe للحصول على تمثيلات معبرة للنصوص. تمت مقارنة النمؤج المقترح مع نماذج تعلم آلة تقليدية تستخدم أوزان TF-IDF ونماذج عصبونية عميقة تستخدم أوزان TF-IDF و GloVe، ومعيار التقييم هو

دقة التصنيف على 4 مجموعات معطيات وهي US-airline، Sentiment140، SA4A، Sentiment140-MV.

في عمليات تصنيف النصوص وتحليل المشاعر، يتم استخدام الطبقات الكثيفة لربط نتائج الطبقات الخفية وإجراء عملية التصنيف النهائية للنموذج. هذه النماذج عرضة للتلاؤم الزائد بسبب تعلّم أوزان تلك الطبقة لكامل تعقيد مشكلة التصنيفات والتنبؤ. اقترح الباحثون في الدراسة [19] نموذجاً هجيناً يستخدم التعلّم العميق وتعلّم الآلة، إذ تتضمن بنية LSTM لتعلّم الاعتماديات الطويلة للسلاسل النصية وبنية RNN لاستخراج الميزات من تلك السلاسل. يتم معالجة خرج LSTM و RNN من خلال نموذج تعلّم الآلة XGBoost عوضاً عن الطبقات الكثيفة MLP من أجل عمليات التنبؤ النهائية. تفوّق النموذج على نماذج أساس CNN، RNN، CNN-LSTM، RNN-LSTM بمعايير تصنيف الدقة، الإصابة Precision، الاسترجاع Recall، قيمة F1 وذلك على مجموعة معطيات Twitter Airline Sentiment.

في هذه الدراسة، سنقوم بتطوير وتحسين نظام التوصية NeuMF باستخدام نموذج XGBoost كبديل لطبقة الربط بين GMF و MLP، وتمكين MLP من التعلّم من كامل ميزات المعطيات، بالإضافة إلى استخدام بنى عصبونية للتعلّم من الميزات النصية وتجربة أوزان تضمين للكلمات مختلفة ودمج تلك البنى مع NeuMF المُحسّن ومقارنة النتائج.

4- الخوارزميات والطرق المستخدمة

يتكون نظام التوصية NeuMF من ربط بنيتين شبكيتين وهما GMF و MLP [14]، ومن أجل تحسين بنية نظام التوصية استخدمت هذه الدراسة مجموعة من الطرق والنماذج النصية المدربة المسبقة وإضافة بنى شبكية عميقة بهدف تسخير جميع ميزات المعطيات المتوفرة وخاصة النصية من أجل تحسين الدقة التنبؤية لنظام NeuMF، وذلك

وفق منهجيات مقترحة تم تطبيق نتائجها على مجموعات معطيات مختلفة لإجراء التجارب ومقارنة النتائج النهائية مع النظام الأساس NeuMF وعدد من أنظمة التوصية.

4-1- إطار عمل نظام توصية عصبوني معتمد على الفترة التعاونية (NCF)

إطار عمل يضم 3 أنظمة توصية CF، تستخدم المعارف الفريدة للمستخدمين والعناصر مع التفاعلات فيما بينهم (التقييمات) في إيجاد تنبؤات بالتقييمات، وتلك الأنظمة هي التحليل العاملي للمصفوفة المعمّم GMF، البيريسيترون متعدد الطبقات MLP، والتحليل العاملي للمصفوفة العصبوني NeuMF المكوّن من ضم البنيتين السابقتين [14].

4-1-1- التحليل العاملي للمصفوفة المعمّم (GMF)

GMF هو نظام توصية يُعتبر تعميم وامتداد لنظام التحليلي العاملي للمصفوفة Matrix Factorization (MF) [14]، GMF مكوّن من عدة طبقات شبكية عصبونية تتمثل بطبقة دخل لمتجهات المعارف الفريدة للمستخدمين والعناصر، الشكل (1)، يليها طبقة تضمين Embeddings تمثل أوزانها المتجهات الكامنة الخاصة بالمستخدمين p_u والعناصر q_i . بعد ذلك تأتي طبقة مسطحة Flatten تقوم بتسطيح مصفوفتي التضمين ثنائية الأبعاد إلى متجهة وحيدة البعد، بذلك نحصل على متجهتين تمثلان كل من المستخدم والعنصر. يأتي بعدها طبقة جداء عنصر بعنصر \odot ، المعادلة (1). ثم يتم إدخال المتجهة الناتجة من عملية الجداء إلى طبقة خرج متمثلة بطبقة كثيفة Dense ذات تابع تنشيط غير خطي sigmoid [5] مهينة أوزانها بطريقة التهيئة LeCun uniform، لكن تم استخدام ReLu كتابع تنشيط في الدراسة باعتبار أنّ مشكلة البحث انحدار (هدف ذو قيم مستمرة - التقييمات Ratings). وتابع التحسين المستخدم هو هبوط التدرج العشوائي SGD. توضح المعادلة (2) خرج شبكة GMF (التقييم المتوقع):

$$\phi^{GMF} = p_u^{GMF} \odot q_i^{GMF} , \quad (1)$$

$$\hat{y}_{ui} = a_{out}(h^T(\phi^{GMF})) , \quad (2)$$

حيث h : متجهة أوزان طبقة الخرج، a_{out} : تابع التنشيط. يمكن الحصول على نظام MF من GMF باستخدام تابع تنشيط خطي Identity و h متجهة موحدة بقيم 1.

4-1-2- البيرسيبترون متعدد الطبقات (MLP)

MLP هي نوع من الشبكات العصبونية ذات التغذية الأمامية تتكون من طبقات متعددة كثيفة Dense متصلة بالكامل، تتمثل بطبقة الدخل، وأكثر من طبقة مخفية واحدة (تعلّم عميق)، وطبقة الخرج، الشكل (2). يتم حساب مجموع أوزان كل خلية عصبونية من الطبقات المذكورة باستخدام توابع تنشيط غير خطية. إنّ ضم الميزات الكامنة للمستخدم p_u والعنصر q_i غير كافي لنمذجة تأثير الفترة التعاونية ولذلك يقترح الباحثون في الدراسة [14] استخدام MLP لتعلّم التفاعلات والروابط غير الخطية بين تلك الميزات الكامنة. تابع التنشيط المستخدم هو ReLU [10] لأن sigmoid و tanh يعانيان من مشكلة تلاشي التدرج Vanishing Gradient التي تحدث بسبب التدرجات الصغيرة جداً الناتجة أثناء عملية الانتشار الخلفي لتحديث أوزان خلايا طبقات الشبكة والتي ستتلاشى بسبب عمق الشبكة ولن يتم تحديثها. استخدم الباحثون بنية هرمية تضيق نحو الخرج بنسبة 50% من عدد خلايا الطبقة السابقة. توضح المعادلة (3) خرج الشبكة MLP:

$$\phi^{MLP} = a_L(W_L^T(a_{L-1}(\dots a_2(W_2^T \begin{bmatrix} p_u^{MLP} \\ q_i^{MLP} \end{bmatrix} + b_1) \dots)) + b_L), \quad (3)$$

حيث W_x, b_x, a_x : مصفوفة الأوزان، الانحياز، وتابع تنشيط لخلية الطبقة x .

4-1-3- التحليل العائلي للمصفوفة العصبوني (NeuMF)

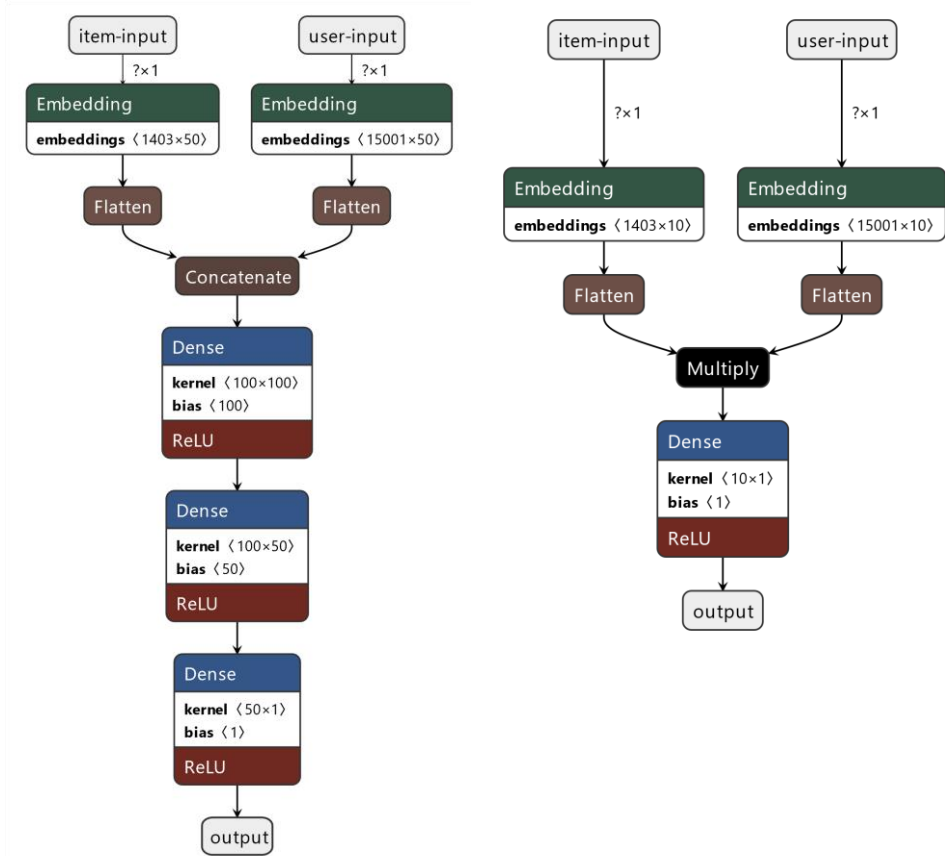
NeuMF هو نظام توصية CF مكون من دمج الطبقة المخفية الأخيرة لكل من GMF و MLP بطبقة ربط Concatenation، الشكل (3)، وبالتالي الاستفادة من العملية الخطية من نمذجة روابط الميزات الكامنة للمستخدمين والعناصر في نموذج GMF، والعملية غير الخطية من روابط الميزات من المعطيات في نموذج MLP [14].
توضح المعادلة (4) التقييم المتوقع للعنصر i من أجل المستخدم u :

$$\hat{y}_{ui} = \sigma \left(h^T \begin{bmatrix} \phi^{GMF} \\ \phi^{MLP} \end{bmatrix} \right), \quad (4)$$

حيث أن h : متجهة أوزان طبقة الربط، σ : تمثل تابع التنشيط.

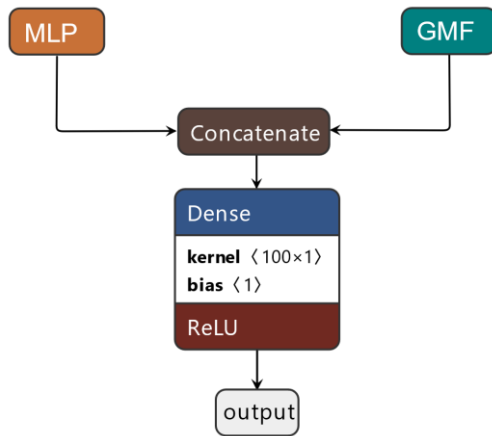
تابع التنشيط المستخدم هو ReLU وطريقة تهيئة الأوزان He_uniform. بالنسبة لتوابع التحسين Optimizers، كل من GMF و MLP تستخدم تابع التحسين Adam [23] لتحسين مقاييس الدقة والخطأ، أما NeuMF يستخدم تابع التحسين SGD، ومعدل التعلم يساوي 0.01. باعتبار أن النظام يقوم بالتنبؤ بالتقييمات التي تقع ضمن مجال بأعداد حقيقية مستمرة فإن المشكلة هي انحدار Regression وبالتالي سنستخدم مقاييس خطأ MAE و RMSE في تدريب واختبار النماذج.

إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام نماذج التعلّم العميق المعتمدة على الانتباه لتحسين التنبؤ بالتقييمات



الشكل (2): نموذج MLP.

الشكل (1): نموذج GMF.



الشكل (3): نموذج التحليل العائلي للمصفوفة العصبوني NeuMF.

4-2- الشبكات العصبونية العميقة للميزات النصية

تستخدم الشبكات العصبونية العميقة مع مختلف أنواع المعطيات الرقمية، النصية، الصور والفيديو في مختلف المهام والمسائل، مثل: التصنيف والتنبؤ بالتقييمات، تحليل المشاعر، ترجمة النصوص، معالجة الصور والفيديو [1، 11]. تتناول الدراسة 3 أنواع للشبكات العصبونية بهدف الاستفادة من الميزات النصية في مجموعات المعطيات المستخدمة، وهي البيرسبيترون متعدد الطبقات MLP [1، 14]، الشبكة العصبونية التلافيفية CNN [22، 25، 35، 43]، الشبكة المتكررة ذات الذاكرة الطويلة قصيرة المدى LSTM [8، 9، 15، 40]، بالإضافة إلى نموذج شبكي هجين مقترح يستخدم آلية الانتباه Attention في طبقاته.

بالنسبة للشبكات العصبونية المذكورة، إنّ طبقة الدخل عبارة عن سلاسل عددية تمثل الكلمات في الميزات النصية من مجموعات المعطيات المستخدمة. يليها طبقة تضمين Embedding لأوزان الكلمات E ذات حجم يساوي معجم الكلمات V و 300 بُعد لأوزان الطبقة d ، حيث $E \in \mathbb{R}^{d \times V}$. في البداية يتم تدريب الشبكات بدون أوزان تضمين للكلمات ومن ثم يتم تهيئتها بأوزان تضمين باستخدام أوزان ل 3 نماذج من نماذج تضمين الكلمات المدربة مسبقاً، وهي Word2Vec، FastText، GloVe. بالنسبة لطبقات الشبكة، تم استخدام تابع التنشيط ReLU، ومقاييس خطأ MAE و RMSE لتدريب واختبار الأداء التنبؤي للشبكات، وتابع التحسين هو Adam.

4-2-1- البيرسبيترون متعدد الطبقات (MLP)

MLP [11] هي نوع من الشبكات العصبونية ذات التغذية الأمامية، تتكون من طبقة مخفية أو أكثر من نوع الطبقة الكثيفة Dense المتصلة بالكامل ذات تابع تنشيط غير خطي. في هذه الدراسة، تم بناء الشبكة باستخدام 4 طبقات كثيفة Dense بعدد خلايا

(64، 32، 5، 1). بالإضافة إلى استخدام الطبقة المسطحة Flatten، وطبقة الإسقاط Dropout [39] بمعدل 20% لخلايا كل طبقة مما يقلل من التعرض لمشكلة التلاؤم الزائد، الشكل (4).

4-2-2- الشبكات العصبونية التلافيفية (CNN)

CNN هي نوع من الشبكات العصبونية ذات التغذية الأمامية طوّرت من أجل مهام الرؤية الحاسوبية [25] وتُستخدم في تصنيف النصوص [22] وتحليل المشاعر [43]. تتكون CNN من 3 مراحل: مرحلة الدخل (صورة ثنائية البعد، نصوص أحادية البعد)، مرحلة استخراج الميزات (على الأقل طبقة تلافيفية convolution وطبقة تجميع pooling)، ومرحلة التصنيف (على الأقل طبقة كثيفة Dense مثل شبكة MLP).

في هذه الدراسة، تم بناء شبكة CNN باستخدام اثنتين من الطبقات التلافيفية أحادية البعد Conv1D بعدد فلاتر 5 و 10، بعدها طبقة تجميع MaxPooling يليها طبقة تسوية الدفعة BatchNormalization [18] التي تحسن استقرار الشبكة بتسوية أوزان دخل كل طبقة على مستوى الميزة لكل العينات في الدفعة الصغرى mini-batch. يلي ذلك طبقة الإسقاط Dropout بمعدل 20% لخلايا الطبقة، يليها طبقتين Dense بحجم 5 و 1 من أجل عملية التنبؤ بالتقييمات وتحليل النصوص. تابع التنشيط المستخدم هو ReLU في كل من طبقتي Conv1D و Dense، الشكل (4).

4-2-3- الذاكرة الطويلة قصيرة المدى ثنائية الاتجاه (BiLSTM)

LSTM هي نوع من الشبكات العصبونية المتكررة طوّرت لحل مشكلة تلاشي التدرج (Vanishing Gradient) التي تعاني منها الشبكات العصبونية المتكررة RNN، بالإضافة إلى قدرتها على الاحتفاظ بالاعتماديات طويلة المدى [9، 15، 40]. تُستخدم

LSTM في المهام المتعلقة بالتسلسلات الزمنية من نصوص، صوت، فيديو، وتحليل المشاعر منها وتصنيفها، ترجمة اللغات، وأنظمة التوصية.

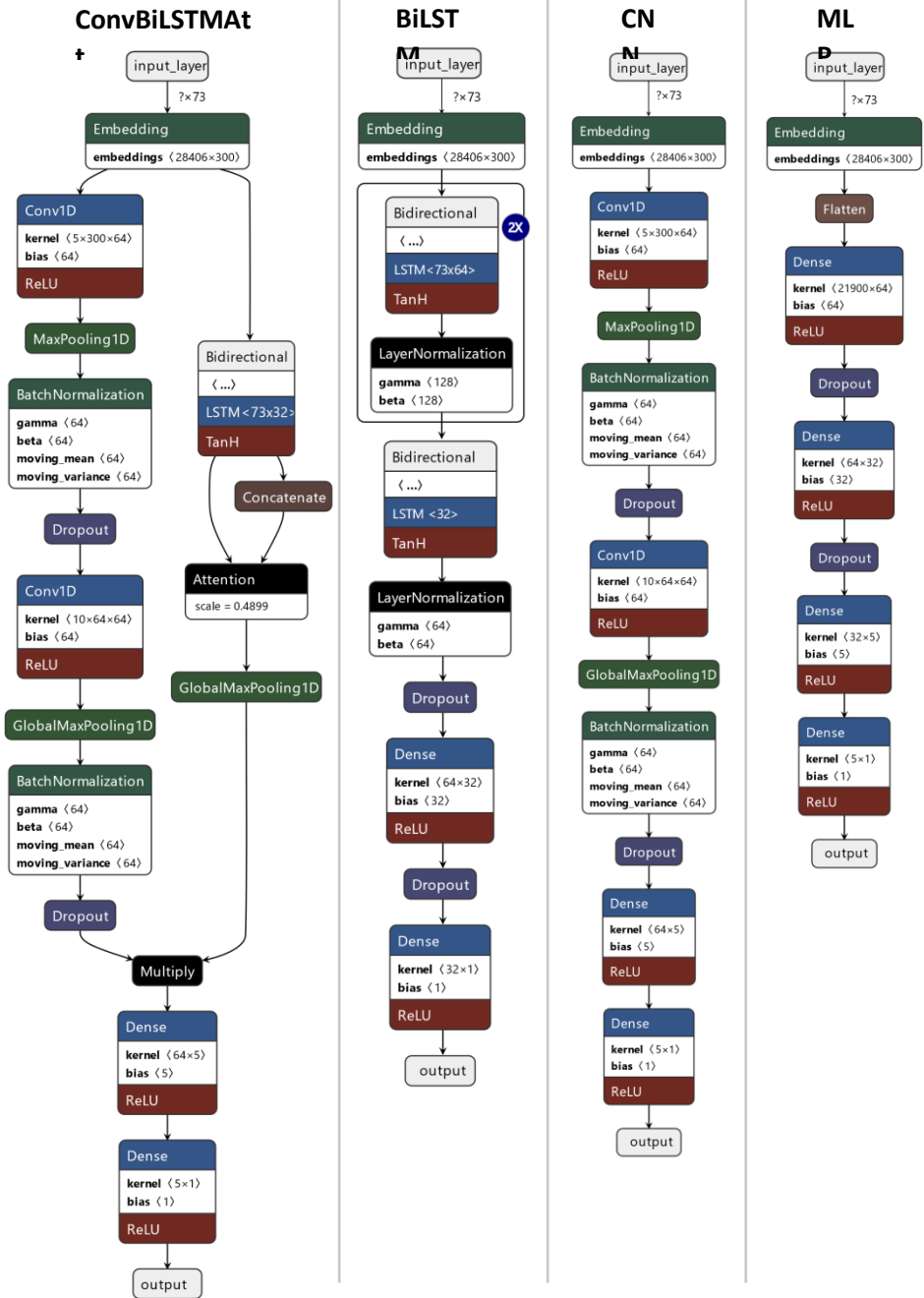
في هذه الدراسة، تم بناء شبكة BiLSTM باستخدام 3 طبقات BiLSTM بحجم 64، 64، 32، يلي كل منها طبقة تسوية الطبقة Layer Normalization [2] التي تحسن استقرار LSTM بتسوية أوزان دخل خلايا الطبقة بأكملها. يلي ذلك طبقة الإسقاط Dropout بمعدل 20% لخلايا الطبقة، يليها طبقتين Dense بحجم 32 و 1 من أجل عملية التنبؤ بالتقييمات وتحليل النصوص. تابع التنشيط المستخدم هو ReLU في طبقات Dense، tanh و sigmoid في طبقات LSTM، الشكل (4).

4-2-4- آليّة الانتباه Attention

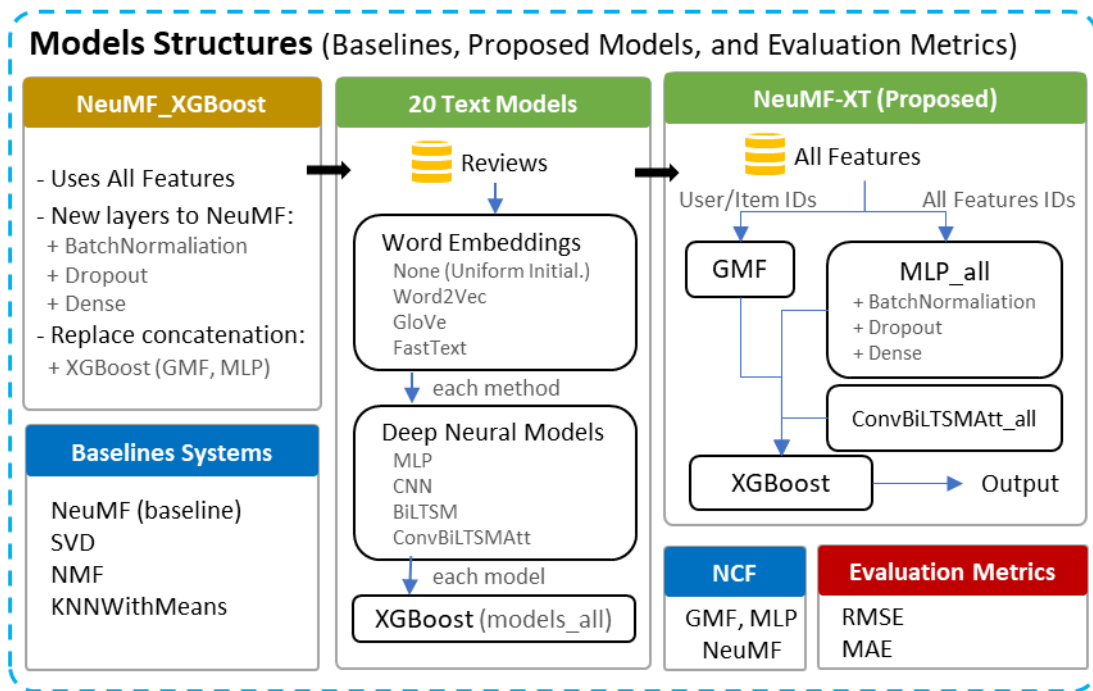
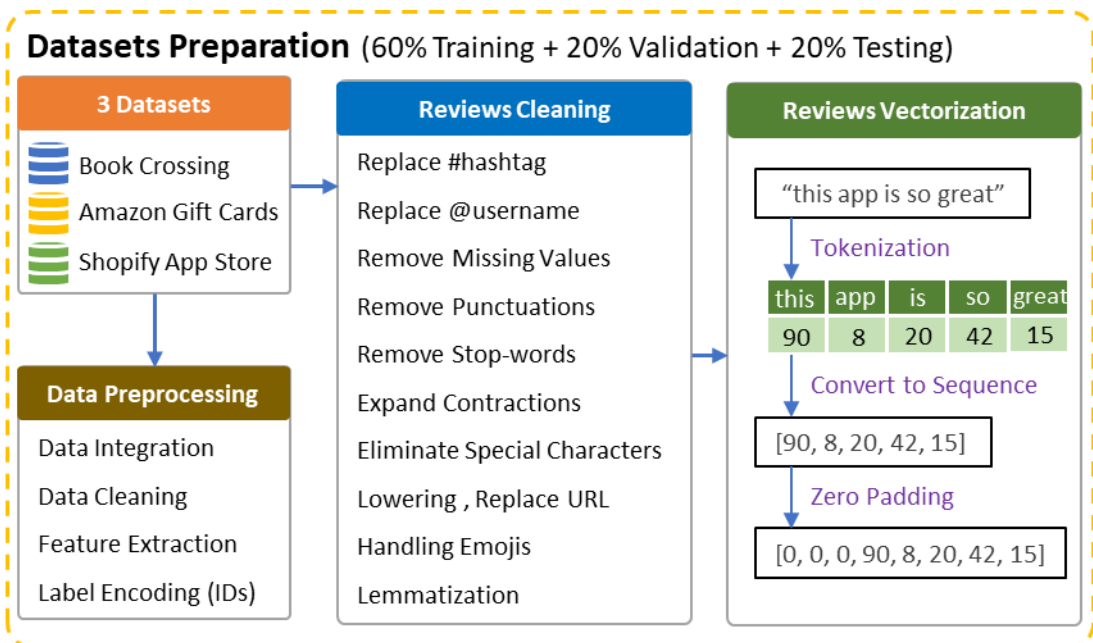
آليّة الانتباه هي بنية تُستخدم في الشبكات العصبونية لنمذجة التفاعلات طويلة المدى، وهي تُقدم متجهة سياق تساعد الشبكة في التركيز على الأجزاء الأكثر صلة في سلسلة الدخل (مثل الكلمات والعبارات المفتاحية الممثلة لمشاعر النص) [3، 16، 26، 29، 41، 46-44].

في هذه الدراسة، تم بناء نموذج عصبي هجين مكون من فرعين، الأول طبقات تلافيفية، والثاني طبقة مكررة ثنائية الاتجاه مع الانتباه. بنية النموذج عبارة عن طبقتين تلافيفيتين بعدد فلاتر 64 وحجم 5، 10 وتابع التنشيط ReLU يتخللها طبقة تجميع وتسوية بالدفعة وإسقاط بمعدل 20%. طبقة BiLSTM بعدد خلايا 32 وتابع التنشيط tanh. طبقة انتباه تأخذ الحالة الأخيرة للطبقة المخفية من BiLSTM وإضافة الانتباه إلى خرج الطبقة الكلي. ثم يتم دمج الفرعين بطبقة جداء عنصر بعنصر Multiply، يليها طبقتين كثيفتين Dense بحجم 5 و 1 بتابع تنشيط ReLU، الشكل (4).

إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام نماذج التعلّم العميق المعتمدة على الانتباه لتحسين التنبؤ بالتقييمات



الشكل (4): الشبكات العصبونية العميقة المبنية للتعامل مع الميزات النصية.



الشكل (5): منهجية البحث والطرق المستخدمة.

5- منهجية البحث

تتضمن منهجية البحث مرحلتين أساسيتين في إجراء هذه الدراسة لتطوير وتحسين نظام NeuMF، الشكل (5):

- مرحلة معالجة وإعداد مجموعات المعطيات التي يتم من خلالها إجراء التجارب والمقارنات بهدف اختيار النماذج ذات أفضل أداء تنبؤي (بأقل خطأ)، وتشمل عمليات المعالجة المسبقة لميزات المعطيات وعمليات تنظيف وتحويل للميزات النصية.
- مرحلة بناء النماذج المقترحة والمقارنات فيما بينها مع النظام الأساس NeuMF وأنظمة توصية CF أخرى، حيث تمت المقارنات على 3 مجموعات معطيات لشمولية النتائج واستخدام مقياسي الخطأ MAE و RMSE لمقارنة دقة التنبؤ.

5-1-1- مرحلة معالجة وإعداد مجموعات المعطيات

في هذه الدراسة قمنا باختيار مجموعات المعطيات الثلاث التالية: Book Crossing [47]، Amazon Gift Cards [32]، Shopify App Store [36]، وتطبيق مجموعة من عمليات المعالجة المسبقة عليها، ومعالجة الميزات النصية من خلال تنظيفها وتحويلها إلى سلاسل عددية.

5-1-1-1- المعالجة المسبقة للمعطيات Data Preprocessing

تم التحقق من كمالية وصحة المعطيات من خلال تفقد القيم المفقودة والخاطئة في ميزات مجموعات المعطيات وتصحيحها بإعطائها قيم تمثل العينة المنتمية لها وتشابه قيم العينات المشابهة لها. بعدها تم تنظيف المعطيات من العينات المكررة والميزات التي

تحتوي قيمة وحيدة فقط ولا تقدم أي أهمية في عملية التنبؤ، مثل: "Amazon Gift Cards (marketplace='us')"، إذ جميع قيم الميزة هي 'us' ولذلك تم حذف جميع الميزات المشابهة لها. تم حذف الميزات غير المهمة في إجراء الدراسة مثل عناوين الويب والصور للعناصر. قمنا باستخراج ميزات جديدة من خلال إيجاد معرفات فريدة لقيم كل ميزة من مجموعات المعطيات المستخدمة من أجل النماذج الشبكية العصبونية والتي تتطلب قيم عديدة كدخل لها.

بالنسبة للمجموعة Shopify App Store، فقد قمنا بدمج مجموعتي معطيات Apps.csv و reviews.csv للحصول عليها وإجراء عمليات التنظيف وضمان تكاملية المعطيات، بالإضافة إلى إعادة ترميز معرفات المستخدمين، المنتجات، والمراجعات لاحتوائها على قيم ذات طبيعة مختلفة (عددية ونصية) تُخل بإجراء العمليات عليها. من أجل الحصول على عينات معبرة وذات أهمية للتجارب اخترنا المستخدمين والمنتجات الذين لديهم أكثر من 3 مراجعات، إذ إنَّ اختيار قيمة أعلى ستقصي عدداً كبيراً من عينات التجربة. بالنسبة للمجموعة Book Crossing، قمنا باستخدام ميزاتنا المستخرجة كما هي [6]، وقمنا باستخراج معرفات عديدة فريدة لها كدخل للنماذج العصبونية العميقة.

يوضح كل من الجدول (1)، الجدول (2)، الجدول (3) الميزات المستخدمة والمستخرجة في استخراج معرفات فريدة لميزاتها (باستثناء rating) تمثيلها كدخل في نماذج الدراسة.

جدول (1): الميزات المستخدمة لمجموعة معطيات Book Crossing

الميزات المستخدمة	التوصيف
user_Age	عمر المستخدم
rating	تقييم المستخدم للكتاب
book_year_of_publication	تاريخ نشر الكتاب
book_num_pages	عدد الصفحات
user_ratings_mean	معدل تقييمات المستخدم
book_title_length	طول عنوان الكتاب
book_word_counts	عدد الكلمات
w2v_lemmatized_title_100_e	الميزة الأولى لتحليل المكون الأساسي ذو 100 بعد لعناوين
phocs_PCA_1	الكتب المطبق عليها عملية lemmatization
w2v_lemmatized_title_100_e	الميزة الثانية لتحليل المكون الأساسي ذو 100 بعد لعناوين
phocs_PCA_2	الكتب المطبق عليها عملية lemmatization
book_isbn_mean_ratings	معدل تقييمات الكتب
book_isbn_counts_ratings	عدد التقييمات الكتب
book_author_mean_rating	معدل تقييمات لكل مؤلف
book_author_count_rating	عدد تقييمات لكل مؤلف

جدول (2): الميزات المستخدمة والمستخرجة لمجموعة معطيات Amazon Gift Cards

الميزات المستخدمة والمستخرجة	التوصيف
customerID	رقم تعريف الزبون
reviewID	رقم تعريف المراجعة
productID	رقم تعريف المنتج
product_parent	صنف المنتج
product_title	اسم المنتج
rating	تقييم الزبون للمنتج
helpful_votes	عدد الزبائن الذين أعجبته المراجعة
total_votes	العدد الكلي للزبائن الذين قِيموا المراجعة
verified_purchase	تأكيد الشراء للمنتج من قبل الزبون
review_headline	عنوان المراجعة
review_body	جسم المراجعة النصية
review_date	تاريخ المراجعة

جدول (3): الميزات المستخدمة والمستخرجة لمجموعة معطيات Shopify App Store

التوصيف	الميزات المستخدمة والمستخرجة
رقم تعريف التطبيق	appId
رقم تعريف المراجعة	reviewId
اسم التطبيق	title
الشركة المُطَوِّرة	developer
تقييم الموقع	site_rating
المستخدم الذي كتب المراجعة	author
جسم المراجعة النصية	body
تقييم المستخدم للتطبيق	rating

5-1-2- تنظيف الميزات النصية Reviews Cleaning

بالنسبة للميزات النصية في مجموعات المعطيات المستخدمة، فقد قمنا بتطبيق مجموعة من عمليات تنظيف النصوص، مثل: حذف العينات ذات القيم المفقودة، حذف علامات التعجب والاستفهام وتبديلها بنقطة، حذف كلمات التوقف والمحارف الخاصة، تبديل الهاشتاج واسم المستخدم وعناوين URLs بقيمها فقط (حذف #، @)، توسيع الاختصارات (“she should have” -> “She should’ve”), تصغير حالة الأحرف، تحويل الرموز التعبيرية emojis إلى نص معبر عنها (😊): grinning face with smiling eyes).

تم تطبيق تلك العمليات على الميزة النصية مراجعات المستخدمين (reviews) لكل من مجموعتي المعطيات Amazon Gift Cards، Shopify App Store، بالإضافة إلى إجراء عملية Lemmatization لإعادة الكلمات لمصادرها لتوحيد المعنى الخاص بها في مجموعة معطيات Book Crossing للميزات النصية الممثلة للكتاب (عنوان الكتاب، تصنيفه، تصنيفه الفرعي، ملخص الكتاب).

5-1-3- تحويل المراجعات إلى سلاسل عددية Reviews Vectorization

بعد إجراء عمليات تنظيف النصوص على الميزات النصية يجب تحويلها إلى قيم عددية تمثلها لتكون مناسبة كدخل للشبكات العصبونية. في البداية، نقوم بتحويل نص المراجعات إلى متجهات من كلمات النص وتمثيلها بمعرفات فريدة ترمز لها في معجم الكلمات الخاص باستخدام عملية الترميز Tokenization لنحصل على سلسلة عددية تمثل قيمها المعرفات الخاصة بكل كلمة، وفي النهاية نقوم بحشو تلك السلاسل الناتجة بأصفار لتصبح بحجم متساوي ثابت لتكون دخلاً لنماذج الشبكات العصبونية المستخدمة في الدراسة.

قمنا باستخدام متوسط طول كلمات المراجعات مضافاً إليها الانحراف المعياري لتوزيعها الطبيعي للحصول على الطول الأعظمي الثابت للسلاسل العددية المستخدمة كدخل للنماذج، جدول (4).

جدول (4): حجم معجم الكلمات والطول الأعظمي لسلسلة الدخل مقاسة بعدد الكلمات

Shopify App Store	Amazon Gift Cards	Book Crossing	مجموعة المعطيات
73	54	264	الطول الأعظمي للدخل
28,405	31,516	12,755	حجم معجم الكلمات

بالنسبة لتقسيمات مجموعات المعطيات الثلاث، فقد قمنا بتقسيمها إلى 60% كمجموعة تدريب، 20% كمجموعة تحقق، 20% كمجموعة اختبار، أما حجم الدفعة=32 [30]. واستخدمنا مقاييس الخطأ RMSE و MAE لقياس دقة التنبؤ بالتقييمات لنماذج الدراسة.

5-2- مرحلة بناء النماذج المقترحة

يشرح هذا القسم التعديلات على نظام NeuMF لتسخير كامل ميزات المعطيات، والنماذج العصبونية العميقة للتعامل مع الميزات النصية وتحليل المشاعر منها. بالإضافة إلى شرح النموذج المقترح النهائي الناتج من جمع العمليات السابقة، الشكل (5).

5-2-1- نموذج التحليل العاملي للمصفوفة كامل الميزات NeuMF_XGBoost

النموذج الأساس NeuMF يتكون من ربط نموذجي GMF و MLP بطبقة ربط Concatenation. من أجل تمكين استخدام كامل ميزات المعطيات، قمنا بتعديل طبقة الدخل لتشمل كامل الميزات (معرفاتها IDs). ومن أجل تنظيم خرج نموذج MLP استخدمنا طبقة BatchNormalization لتسوية أوزان دخل طبقات النموذج لتسهيل تهيئة الأوزان وتسريع عملية التدريب واستقرار الشبكة للحصول على دقة أفضل. من أجل تقليل مشكلة التلاؤم الزائد استخدمنا طبقة الإسقاط Dropout بمعدل 20% من خلايا الطبقة.

إنّ نموذج الأساس NeuMF يستخدم طريقة Lecun uniform لتهيئة الأوزان مع تابع التنشيط ReLU ولكن في دراسة لاحقة [5] وجد الباحثون أنّ استخدام طريقة تهيئة الأوزان He_uniform تقدم أداءً أفضل للنماذج ولذلك استخدمنا تلك الطريقة في تهيئة أوزان النموذج لنحصل في النهاية على نموذج MLP_all. قمنا بتبديل طبقة الربط Concatenation بنموذج تعلم الآلة المكسب XGBoost لتكديس خرج طبقة GMF و MLP_all لنحصل على النموذج المقترح الأولي NeuMF_XGBoost. إنّ استخدام نموذج XGBoost سيساعد في إضافة نماذج أخرى مما يساهم في توسيع وظيفة النموذج.

5-2-2- النماذج العصبونية العميقة للتعامل مع الميزات النصية

بالنسبة للميزات النصية، فقد استخدمنا مجموعة من الشبكات العصبونية ذات طبقة التضمين Embedding لتحويل سلاسل النصوص إلى أوزان قابلة للتدريب لتعطي كل كلمة متجهات أوزان تُمثل مشاعر ومعنى كل كلمة في سياق النصوص (مراجعات المستخدمين، عناوين وتوصيفات الكتب). أولاً، قمنا ببناء 3 نماذج شبكية MLP، CNN، BiLSTM، الشكل (4)، وتهيئة أوزان طبقة التضمين بقيم عشوائية بدون استخدام أوزان نموذج تضمين كلمات مدربة مسبقاً مثل GloVe. ثانياً، بعد تدريب

إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام نماذج التعلّم العميق المعتمدة على الانتباه لتحسين التنبؤ بالتقييمات

النماذج الثلاث بدون أوزان نماذج تضمين قمنا باستخدام 3 نماذج لتضمين الكلمات مدربة مسبقاً لهيئة أوزان طبقات تضمين النماذج الشبكية، وهي Word2Vec، GloVe، FastText، جدول (5). هذه النماذج تقدم متجهات ذات 300 بُعد للكلمات تُمثل المعنى الدلالي وتموضعها في سياق النصوص. ثم تم تدريب النماذج العصبونية عليها في التنبؤ بالتقييمات Ratings.

جدول (5): نماذج تضمين الكلمات المدربة مسبقاً المستخدمة في الدراسة

الباحثون	عدد عينات التدريب	مجموعة المعطيات المدربة عليها	النماذج المدربة مسبقاً المستخدمة	المطورون	الخوارزميات والطرق في تمثيل الكلمات
(Mikolov et al., 2013) [31]	3 million words	Google News dataset (100 billion words)	GoogleNews-vectors-negative300.bin	Google	Word2Vec Word 2 Vector
(Joulin et al., 2017) [20]	1 million words	Wikipedia 2017, UMBC corpus and statmt.org news dataset (16B tokens)	wiki-news-300d-1M.vec	Facebook AI Research (FAIR) Lab	FastText
(Pennington et al., 2014) [34]	6 billion words	Wikipedia 2014 and Gigaword 5	glove.6B.300d.txt	Stanford University	GloVe Global Vectors

ثالثاً، في مرحلة لاحقة خلال إجراء الدراسة وجدنا أنه يمكن الاستفادة من فوائد شبكات CNN، BiLSTM، وتسخير آلية الانتباه لتحسين دقة تنبؤ النموذج. قمنا ببناء نموذج عصبوني هجين مكون من فرعين، الأول يعتمد على CNN، والثاني يعتمد على كل من BiLSTM وآلية الانتباه، الشكل (4). لنحصل بذلك على نموذج ConvBiLSTMAtt يستخدم قدرة الطبقات التلافيفية لـ CNN على استخراج واكتشاف الميزات الدلالية المحلية في كلمات ميزة الدخل النصية، وقدرة BiLSTM على الاحتفاظ

بالاعتماديات طويلة المدى بين ميزات الدخل النصية والتعلم منها. بالإضافة إلى طبقة الانتباه Attention التي تقدم أوزان الانتباه إلى خرج BiLSTM للتركيز على أهم الميزات التي تعبر عن مشاعر السياق المتمثلة بالتقييمات. رابعاً، قمنا باستخدام نموذج تعلم الآلة XGBoost لتكديس خرج كل من النماذج الشبكية على حدا مع مقابلاتها من نماذج تضمين الكلمات المدربة مسبقاً بحيث نحصل على نموذج يكسب خرج 4 نماذج شبكية لنفس النوع مستخدمةً 4 طرق لتهيئة أوزان طبقة التضمين None، Word2Vec، Glove، FastText. مثلاً، نموذج CNN_all هو نموذج نصي يكسب 4 نتائج معتمدة على كل من None، Word2Vec، Glove، FastText، و"all" ترمز إلى استخدام جميع طرق تهيئة الأوزان.

بالنسبة لبارامترات النماذج، فقد قمنا بمعايرة معدل التعلم للمُحسن Adam لكل النماذج وعدد الخلايا لطبقات MLP و BiLSTM وعدد وحجم فلاتر CNN لاختيار أفضل القيم لها، جدول (6).

يبين الجدول (7) قيم البارامترات الخاصة لكل نموذج عصبوني نصي، والجدول (8) يبين قيم البارامترات العامة المشتركة بين النماذج.

جدول (6): معايرة البارامترات المستخدمة في النماذج العصبونية النصية

النماذج	البارامترات	مجال القيم	الأفضل
MLP	units	(64, 128, 256)	64
	learning_rate	(0.001, 0.01, 0.1)	0.01
CNN	filters	(32, 64, 128)	64
	kernel_size	(3, 5, 10)	5
	learning_rate	(0.001, 0.01, 0.1)	0.01
BiLSTM	units	(16, 32, 64)	64
	learning_rate	(0.001, 0.01, 0.1)	0.001

إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام نماذج التعلّم العميق المعتمدة على الانتباه
لتحسين التنبؤ بالتقييمات

جدول (7): قيم البارامترات الخاصة للنماذج العميقة النصية المستخدمة في الدراسة

البارامترات المستخدمة	قيم البارامترات	النماذج
Dense عدد الخلايا في طبقات معدل الإسقاط تابع التنشيط في Dense	units=(64, 32, 5, 1) rate=0.2 activation='relu'	MLP
Conv1D عدد الخلايا في طبقات Dense عدد الخلايا في طبقات معدل الإسقاط تابع التنشيط في Conv1D تابع التنشيط في Dense نوع الحشو	filters=(64, 64) units=(5, 1) rate=0.2 activation='relu' activation='relu' padding='same'	CNN
BiLSTM عدد الخلايا في طبقات Dense عدد الخلايا في طبقات معدل الإسقاط تابع التنشيط في Dense	units=(64, 64, 32) units=(32, 1) rate=0.2 activation='relu'	BiLSTM
Conv1D عدد الخلايا في طبقات حجم الفلاتر معدل الإسقاط تابع التنشيط في Conv1D تابع التنشيط في Dense نوع الحشو BiLSTM عدد الخلايا في طبقات نمط التسجيل في طبقة Attention استخدام مُقيس في طبقة Attention Dense عدد الخلايا في طبقات	filters=(64, 64) kernel_size=(5, 10) rate=0.2 activation='relu' activation='relu' padding='same' units=32 score_mode='dot' use_scale=True units=5, 1	ConvBiLSTMAtt

جدول (8): قيم البارامترات العامة المشتركة للنماذج العميقة النصية المستخدمة

البارامترات العامة في النماذج	قيم البارامترات
طريقة التحسين	optimizer='adam'
تابع الخسارة	loss='mse'
معيار الخطأ	metrics=['mae']
تقسيمات مجموعة المعطيات	60% training, 20% validation, 20% testing
حجم الدفعة	batch_size=32
عدد دورات التدريب	epochs=10
حجم طبقة التضمين	embed_dim=300
أوزان طبقة التضمين	None, Word2Vec, FastText, GloVe
الطول الأعظمي لدخل طبقة التضمين	متوسط أطوال المراجعات + انحرافها المعياري

5-2-3- NeuMF-XT النموذج المقترح

إنّ ناتج المرحلة السابقة هو 20 نموذج عصبوني نصي (4 نماذج شبكية \times 4 نماذج تضمين + 4 نماذج شبكية مكدسة). قمنا بدمج كل نموذج نصي على حدا مع نموذج NeuMF_XGBoost لتمكينه من الاستفادة من كامل ميزات المعطيات العددية والفئوية والنصية. قمنا بإجراء عملية الدمج باستخدام نموذج XGBoost الخاص بنموذج NeuMF_XGBoost نفسه، لنحصل على نموذج ذو دقة تنبؤية أعلى. من خلال إجراء المقارنات واعتماد مقاييس الخطأ RMSE، MAE لمقارنة دقة أداء التنبؤ بالتقييمات لكل من النماذج الناتجة وجدنا أنّ النموذج الذي يربط NeuMF_XGBoost مع النموذج النصي ConvBiLSTMAAtt_all قدّم أفضل النتائج، ويدعى NeuMF-XT، الشكل (5).

6- التجارب

6-1- أدوات البحث

تم تطبيق تجارب الدراسة على بيئتي عمل محلية وسحابية، وهما:

- حاسب محمول بنظام Windows 11 Home 64bit ومعالج Intel Core i5 بسرعة 2.6GHz وذاكرة RAM 8GB، بطاقة الفيديو المستخدمة NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti 4GB وCUDA 11.2.

- بيئة عمل سحابية Google Collaboratory بنظام Ubuntu 22.04.3 LTS ومعالج Xeon بسرعة 2.3GHz وذاكرة RAM 12.7GB، بطاقة الفيديو المستخدمة NVIDIA Tesla T4 16GB وCUDA 12.2.

استخدمنا لغة بايثون 3.10.9 ومكتباتها NumPy, Pandas, Matplotlib, Sklearn في إجراء عمليات المعالجة على مجموعات المعطيات وعرض الأشكال لمقارنة النتائج، ومكتبات re، contractions، emoji، nltk لمعالجة النصوص. واستخدمنا مكتبة Tensorflow 2.10.1 لبناء وتدريب النماذج المقترحة واختبارها ومقارنة النتائج. استخدمنا بيئة عمل Anaconda Jupyter Notebook لكتابة وتوثيق الأكواد البرمجية.

6-2- مجموعات المعطيات

قمنا باستخدام مجموعات المعطيات الثلاثة التالية في الدراسة: Book Crossing، Amazon Gift Cards، Shopify App Store. قمنا باستخدام Book Crossing [6، 47] لاحتوائها على ميزات عديدة ومفيدة في عمليات التنبؤ بالتقييمات، مثل: الميزات الإحصائية، التمثيلات النصية، ميزات توصف الكتاب بأكثر قدر ممكن. واستخدمنا مجموعتي معطيات Amazon Gift Cards [32]، Shopify App Store [36] لاحتوائهما على الميزة النصية مراجعات المستخدمين للمنتجات والتي تعبر عن

مدى تفضيل المستخدم للمنتج، ومجموعة الكتب لا تحوي ميزة نصية معبرة عن تفضيلات المستخدم، إنما تحوي ميزات نصية تُمثل الكتاب فقط (عنوانه، تصنيفه، تصنيفه الرئيسي، ملخص شامل). أجرينا مجموعة من عمليات المعالجة المسبقة والتنظيف على كامل الميزات واستخلاص معرفات فريدة لقيم الميزات ما عدا ميزة التقييمات Rating وهي هدف التنبؤ.

تم تقسيم المجموعات إلى 60% للتدريب، 20% للتحقق، و20% اختبار. يوضح الجدول (9) خصائص مجموعات المعطيات الإحصائية ومجال التقييمات قبل وبعد معالجتها.

جدول (9): خصائص مجموعات المعطيات قبل وبعد معالجتها للدراسة

Shopify App Store		Amazon Gift Cards		Book Crossing		مجموعة المعطيات
بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	
الخصائص						
77,538	287,467	-	148,310	14,239	1,149,780	عدد العينات
1,402	179,656	-	142,467	1,091	278,858	عدد المستخدمين
15,000	2,169	-	1,776	603	271,379	عدد العناصر
76,155	283,864	-	148,310	603	271,379	عدد النصوص
لا يوجد	المؤلف: 151 الجسم: 186	لا يوجد	عنوان: 3 جسم: 2 تاريخ: 1	لا يوجد	العمر: 110,762 المؤلف: 1 الناشر: 2	القيم المفقودة
0.369%	0.074%	-	0.059%	2.164%	0.002%	كثافة التقييمات
-	(1, 5)	-	(1, 5)	-	(1, 10)	مجال التقييمات
19	22	23	15	69	14	عدد الميزات

6-3- معايير تقييم دقة التنبؤ

من أجل اختبار جودة النماذج ومقارنة الدقة التنبؤية لكل منها مع النظام الأساس NeuMF استخدمنا مقاييس الخطأ MAE متوسط الخطأ المطلق و RMSE جذر متوسط مربع الخطأ [37]، إذ كلما صغرت قيمها كانت دقة التنبؤ أفضل.

$$MAE = \frac{\sum_{j=1}^N |\hat{r}_j - r_j|}{N} \quad (6) \quad \left| \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (\hat{r}_j - r_j)^2}{N}} \quad (5)$$

ونسبة التخفيض في الخطأ RMSE أو MAE فتحسب من المعادلة (7):

$$\text{Reduction\%} = \frac{[RMSE|MAE]_{\text{model}} - [RMSE|MAE]_{\text{baseline}}}{[RMSE|MAE]_{\text{baseline}}} * 100, \quad (7)$$

6-4- أنظمة الأساس Baselines

من أجل مقارنة النموذج المقترح مع أنظمة CF مختلفة عن الأساس NeuMF استخدمنا مكتبة بايثون Surprise [17] والتي تقدم مجموعة من الأنظمة التي يمكن اختبار المعطيات عليها ومقارنة نتائجها مع النموذج المقترح. استخدمنا الأنظمة التالية: KNNWithMeans، [28] Non-negative Matrix Factorization (NMF)، [38] Singular Value Decomposition (SVD) [24].

6-5- التجارب والمقارنات خلال مراحل منهجية الدراسة

يُقدّم هذا القسم مجموعة من المقارنات وفقاً لمراحل بناء النماذج المقترحة، وذلك بالنسبة لمعايير دقة التنبؤ، مقاييس الخطأ RMSE و MAE ومقارنتها مع NeuMF الأساس.

في الجدول (10)، قمنا بمقارنة النموذج المحسن NeuMF_XGBoost مع النظام الأساس NeuMF وذلك على مجموعتي معطيات Book Crossing و Amazon

Gift Cards بالنسبة لقيمتي الخطأ RMSE و MAE، إذ حقق النموذج المحسن قيم $MAE = 0.4049$ و $RMSE = 0.8715$ بنسبة تخفيض 66.24% و 46.87% بالترتيب من أجل Book Crossing بالمقارنة مع قيم الأساس NeuMF. بالمثل من أجل Amazon Gift Cards، حقق النموذج المحسن قيم $MAE = 0.3189$ و $RMSE = 0.6659$ بنسبة تخفيض 9.15% و 22.88% بالترتيب. بعدها قمنا بتوسيع النموذج المحسن بنموذج شبكي نصي CNN بدون أوزان تضمين كلمات مدربة مسبقاً لنحصل نموذج NeuMF_XGBoost_CNN والذي حقق نتائج أفضل من الأساس والنموذج المحسن بقيم $MAE = 0.3133$ و $RMSE = 0.8283$ بنسبة تخفيض 73.88% و 49.50% بالترتيب لـ Book Crossing، وقيم $MAE = 0.1750$ و $RMSE = 0.4240$ بنسبة تخفيض 50.14% و 50.90% بالترتيب لـ Amazon Gift Cards. قمنا بعدها باستخدام مجموعة معطيات Shopify App Store والحصول على نفس النتائج.

جدول (10): مقارنة دقة تنبؤ النماذج المقترحة ونسبة تخفيض الخطأ مع الأساس NeuMF

Shopify App Store		Amazon Gift Cards		Book Crossing		مجموعة المعطيات
RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
النماذج						
0.8104	0.4111	0.8635	0.3510	1.6402	1.1993	NeuMF (الأساس)
0.5960	0.2670	0.6659	0.3189	0.8715	0.4049	NeuMF_XGBoost
(-26.46 %)	(-35.05 %)	(-22.88 %)	(-9.15 %)	(-46.87 %)	(-66.24 %)	
0.3333	0.1374	0.4240	0.1750	0.8283	0.3133	NeuMF_XGBoost_CNN
(-58.87 %)	(-66.58 %)	(-50.90 %)	(-50.14 %)	(-49.50 %)	(-73.88 %)	

من المقارنة السابقة وجدنا أن استخدام نموذج شبكي CNN للتعامل مع النصوص قدم أداءً تنبؤياً أفضل من النموذج الأساس والنموذج المحسن من NeuMF، لذلك قمنا

إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام نماذج التعلّم العميق المعتمدة على الانتباه لتحسين التنبؤ بالتقييمات

بناء مجموعة من النماذج العصبونية واستخدمنا عدة طرق لتهيئة أوزان تضمين الكلمات ودمجها مع النموذج المحسن NeuMF_XGBoost، ومن ثم قمنا بإجراء المقارنات عليها بالنسبة لقيم RMSE و MAE على كل من مجموعتي المعطيات Amazon Gift Cards و Shopify App Store، جدول (11) وجدول (12). من الجدولين وجدنا أنّ النموذج المقترح NeuMF_XGBoost+ConvBiLSTMAtt حقق أفضل دقة تنبؤ على مقاييس الخطأ MAE و RMSE بالنسبة لمعظم طرق تضمين الكلمات وكان أفضل نموذج هو النموذج NeuMF_XGBoost+ConvBiLSTMAtt_all والذي يكس نتائج النماذج النصية الأربعة المعتمدة على كل طريقة تضمين على النموذج ConvBiLSTMAtt، وكاختصار للنموذج المقترح أشرنا إليه بـ NeuMF_XT وهو أفضل نموذج في الدراسة، إذ حقق قيم MAE=0.1080 و RMSE=0.3297 لمجموعة معطيات Amazon Gift Cards، وقيم MAE=0.0585 و RMSE=0.2824 لمجموعة معطيات Shopify App Store.

جدول (11): مقارنة دقة تنبؤ النماذج المقترحة بحسب النماذج النصية لكل من أوزان تضمين الكلمات المدربة مسبقاً

لمجموعة المعطيات Amazon Gift Cards

All		Word2Vec		Glove		FastText		No Weights		أوزان تضمين الكلمات
RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
0.3663	0.1202	0.4459	0.1846	0.4521	0.1874	0.4519	0.1847	0.4488	0.1864	MLP
0.3407	0.1088	0.4192	0.1697	0.4266	0.1759	0.4279	0.1732	0.4338	0.1773	LSTM
0.3396	0.1101	0.4231	0.1740	0.4210	0.1754	0.4163	0.1722	0.4240	0.1750	CNN
0.3297	0.1080	0.4094	0.1659	0.4103	0.1673	0.4159	0.1707	0.4244	0.1751	ConvBiLSTMAtt
-	-	-	-	-	-	-	-	0.8635	0.3510	NeuMF (الأساس)

جدول (12): مقارنة دقة تنبؤ النماذج المقترحة بحسب النماذج النصية لكل من أوزان تضمين الكلمات المدربة مسبقاً

لمجموعة المعطيات Shopify App Store

All		Word2Vec		Glove		FastText		No Weights		أوزان تضمين الكلمات
RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
0.3170	0.0708	0.3514	0.1411	0.3525	0.1419	0.3493	0.1417	0.3595	0.1521	النماذج MLP
0.2971	0.0635	0.3281	0.1310	0.3322	0.1321	0.3281	0.1294	0.3314	0.1310	LSTM
0.2841	0.0595	0.3243	0.1284	0.3231	0.1307	0.3314	0.1286	0.3333	0.1374	CNN
0.2824	0.0585	0.3189	0.1286	0.3293	0.1304	0.3108	0.1255	0.3199	0.1263	ConvBiLSTMAtt
-	-	-	-	-	-	-	-	0.8104	0.4111	NeuMF (الأساس)

بعد الانتهاء من إجراء التجارب والمقارنات والحصول على أفضل نموذج وهو NeuMF_XT (والذي يتألف من دمج النموذج المحسن NeuMF_XGBoost مع نموذج الشبكة العصبونية النصي ConvBiLSTMAtt_all والذي بدوره يدمج 4 نماذج لـ ConvBiLSTMAtt معتمدة على كل طريقة تضمين) قمنا بإجراء مقارنات بين النموذج المقترح وعدة أنظمة CF، ولاحظنا تفوق NeuMF_XT على تلك الأنظمة، جدول (13) حيث قدم نسب تخفيض تصل إلى 60% لقيم RMSE و MAE على المجموعات الثلاث.

إغناء نظام NeuMF بكامل ميزات المعطيات باستخدام نماذج التعلّم العميق المعتمدة على الانتباه
لتحسين التنبؤ بالتقييمات

جدول (13): مقارنة دقة تنبؤ النموذج المقترح ونسبة تخفيض الخطأ مع أنظمة التوصية CF

Shopify App Store		Amazon Gift Cards		Book Crossing		مجموعة المعطيات
RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
0.8104	0.4111	0.8635	0.3510	1.6402	1.1993	NeuMF (الأساس)
0.9762	0.7103	0.8517	0.4948	2.6152	2.2970	NMF
(+20.46 %)	(+72.79 %)	(-1.36 %)	(+40.98 %)	(+59.45 %)	(+91.53 %)	
0.8287	0.3798	0.8289	0.4638	1.6399	1.2004	KNNWithMeans
(+2.25 %)	(-7.61 %)	(-4 %)	(+32.15 %)	(-0.02 %)	(+0.09 %)	
0.7522	0.3852	0.8224	0.4543	1.4868	1.1333	SVD
(-7.18 %)	(-6.31 %)	(-4.76 %)	(+29.43 %)	(-9.35 %)	(-5.50 %)	
0.2824	0.0585	0.3297	0.1080	0.9451	0.3297	NeuMF_XT
(-65.15 %)	(-85.77 %)	(-61.82 %)	(-69.23 %)	(-42.38 %)	(-72.51 %)	(النموذج المقترح)

7- النتائج ومناقشتها

من نتائج المقارنات السابقة، بملاحظة نسب التخفيض في خطأ MAE و RMSE للنموذج الأساس في الجدول (10)، فقد وجدنا أنّ النموذج المحسن NeuFM_XGBoost تفوق على الأساس بنسبة تخفيض جيدة لكل من قيمتي الخطأ MAE و RMSE على مجموعات المعطيات الثلاث، وذلك بسبب إضافة طبقات التسوية بالدفعات BatchNormaliztion، الإسقاط Dropout إلى بنية MLP في NeuMF والتي تمنع مشكلة التلاؤم الزائد وتزيد من استقرار النموذج، وتمكيننا للنموذج من إدخال كامل معرفات ميزات مجموعة معطيات التجربة، بالإضافة إلى استخدام مكس XGBoost الذي يدمج خرج كل من MLP_all و GMF معاً للحصول على نتائج أفضل من الأساس NeuMF. وجدنا أيضاً أنّ استخدام النموذج NeuFM_XGBoost_CNN (النموذج النصي CNN + النموذج المحسن) يتفوق

على كل من النموذج الأساس والمحسن وينسب تخفيض جيدة جداً تفوق 50% لكل من MAE و RMSE على مجموعات المعطيات الثلاث. وهذا ما شجعنا إلى متابعة بناء نماذج شبكية نصية مختلفة لمقارنة أدائها في تحسين الأداء التنبؤي للأساس NeuMF. وأيضاً لاحظنا أن النموذج المحسن في مجموعة Book Crossing قدم نسب تخفيض أعلى بالمقارنة مع نسب التخفيض بالنسبة لمجموعتي المعطيات الثانية والثالثة وذلك لأن المجموعة الأولى Book Crossing تحوي على ميزات ممثلة أكثر للعناصر (الكتب) والمستخدمين، وبالمثل نلاحظ أن النموذج المقترح NeuFM_XGBoost_CNN الذي يُمكن الأساس من الاستفادة من الميزات النصية قد حقق نسب تخفيض لمقاييس الخطأ MAE و RMSE لكل من مجموعتي المعطيات Amazon Gift Cards و Shopify و App Store أفضل من نسبة التخفيض لمجموعة المعطيات Book Crossing بالمقارنة مع النموذج المحسن وذلك لأن Book Crossing يحوي ميزات نصية لا تعبر عن مشاعر وآراء المستخدم حول المنتج، بينما Amazon Gift Cards و Shopify و App Store يحويان الميزة النصية (مراجعات المستخدم) والتي تعبر عن آراء المستخدم وتُقدّم معلومات مفيدة لتحسين الدقة التنبؤية.

بالنسبة للنماذج المقترحة المعتمدة على النماذج العصبونية النصية، وجدنا من نتائج المقارنات السابقة في الجدول (11) والجدول (12) أن جميع النماذج حققت قيم خطأ MAE و RMSE أقل من النموذج الأساس، وأفضلها كان النموذج المعتمد على ConvBiLSTMAtt والذي حقق أدنى خطأ في معظم التجارب لكل من نماذج تضمين الكلمات، إذ أن ConvBiLSTMAtt يعتمد على قدرة الطبقات التلافيفية في استخراج واكتشاف الميزات الدلالية المحلية (المعبّرة عن المشاعر) في كلمات السياق للدخل، وقدرة BiLSTM على الاحتفاظ بالاعتماديات الطويلة بين ميزات الدخل النصية، بالإضافة إلى قدرة الانتباه Attention في تقديم أوزان الانتباه إلى خرج BiLSTM

للتركيز على أهم الميزات المفتاحية التي تعبر عن مشاعر السياق المتمثلة بالتقييمات. بالنسبة لمجموعتي المعطيات Amazon Gift Cards و Shopify App Store وجدنا أنّ أفضل نموذج مقترح من هذه المقارنات هو النموذج NeuMF-XT الذي يضم النموذج المحسن NeuFM_XGBoost مع النموذج العصبوني النصي المكس ConvBiLSTMAtt_all. وقد حقق النموذج قيمة NSE [37] جيدة جداً تساوي 84% لـ Amazon Gift Cards و 88% لـ Shopify App Store، إذ أنّ القيمة تدل على مقدار تشابه التنبؤات مع التقييمات الحقيقية وقيمها بين $-\infty$ و 100%، القيمة 0% أي النموذج يشابه متوسط قيم الهدف أما 100% أي النموذج يقدم تنبؤات مماثلة تماماً للهدف.

من المقارنات في ال جدول (13) وجدنا أنّ النموذج المقترح NeuMF-XT تفوّق على كل من أنظمة التوصية CF: NeuMF، NMF، KNNWithMeans، SVD بالنسبة لقيم الخطأ MAE و RMSE، وحقق أفضل نسب تخفيض للخطأ بالنسبة للنموذج الأساس على مجموعات المعطيات الثلاث. بما أنّ نسب التخفيض الخاصة بالنموذج المقترح جيدة جداً وهي أفضل بكثير من أنظمة التوصية CF فإننا نقترح استخدام هذه المنهجية التي تقوم على استخدام نموذج مكس XGBoost لتحسين نتائج NeuMF وتوسيع مهام النظام الأساس ليتمكن إضافة نماذج عصبونية نصية تمكن النظام من الاستفادة من الميزات النصية المعبرة عن آراء المستخدمين مثل نموذج ConvBiLSTMAtt_all الذي يعتمد على خصائص كل من CNN و BiLSTM والانتباه لزيادة الدقة التنبؤية بتقييمات العناصر (كتاب، بطاقة هدية، تطبيق).

8- الاستنتاجات والتوصيات

في هذه الدراسة قمنا بتطوير بنية نظام NeuMF للحصول على نموذج ذو أداء تنبؤي أفضل من النظام الأساس NeuMF بأقل قيم ممكنة للخطأ MAE و RMSE في التنبؤ بالتقييمات. اقترحنا في هذه الدراسة نموذج NeuMF-XT والذي قمنا فيه بتعديل بنية نظام NeuMF بإضافة طبقات التسوية بالدفعات والإسقاط واستخدام نموذج تعلم الآلة XGBoost لتكديس كل من MLP_all و GMF للحصول على نموذج محسن NeuMF_XGBoost والذي قمنا أيضاً بربطه مع نموذج عصبوني نصي ConvBiLSTMAtt_all والذي يستفيد من قدرة الطبقات التلافيفية في استخراج واكتشاف الميزات الدلالية المحلية وقدرة BiLSTM على الاحتفاظ بالاعتماديات الطويلة بين ميزات الدخل النصية، وقدرة الانتباه في تقديم أوزان الانتباه إلى خرج BiLSTM للتركيز على أهم الميزات المفتاحية التي تعبر عن مشاعر السياق المتمثلة بالتقييمات. تُمكن المنهجية المقترحة النظام NeuMF من استخدام كامل ميزات المعطيات وخاصة النصية منها للحصول على نتائج جيدة بأفضل أداء تنبؤي بالتقييمات. أظهرت النتائج تفوق النماذج المقترحة بالنسبة لمجموعات المعطيات الثلاث Book Crossing، Amazon Gift Cards، Shopify App Store، بنسب تخفيض للخطأ تصل بين 60% و 70%.

بالنسبة للأعمال المستقبلية، النموذج المقترح قابل للتوسيع ليستفيد من ميزات غير النصية مثل: ميزات السلاسل الزمنية، ميزات الصور، الفيديو، الصوت وذلك بحسب المهام المطلوبة. يمكن استخدام نماذج لتضمين اللغات مثل BERT والشبكات العصبونية الصورية GNN وشبكات الخصومة التوليدية GAN مع الانتباه واختبار تأثيرها على الأداء التنبؤي للنموذج. استخدام النموذج المقترح في بناء أنظمة توصية تعتمد على طرق الترتيب Ranking لتقديم أفضل التوصيات. يمكن تطبيق النموذج المقترح على أنواع مختلفة من المهام ومجموعات المعطيات وإجراء التجارب والمقارنات عليها.

جدول (14): اختصارات لأسماء النماذج والتوابع المستخدمة في البحث

الاختصار	المعنى الكامل
NCF	Neural Collaborative Filtering
GMF	Generalized Matrix Factorization
MLP	Multi-Layer Perceptron
MLP_all	MLP تستخدم جميع ميزات المعطيات .all features
NeuMF	Neural Matrix Factorization
XGBoost	eXtreme Gradient Boosting
ReLU	Rectified Linear Unit
Adam	Adaptive Moments
CNN	Convolutional Neural Network
BiLSTM	Bidirectional
RNN	Recurrent Neural Network
ConvBiLSTMAtt	CNN+BiLSTM+Attention
(TextModelName)_all	نموذج نصي يستخدم XGBoost لتكديس 4 نماذج من أجل كل طريقة تضمين كلمات مدربة مسبقاً بالنسبة لكل نموذج عصبوني نصي، مثال: CNN_all هو نموذج نصي يكس 4 نتائج معتمدة على كل من None, Word2vec, FastText, Glove.
NeuMF-XT	نموذج مقترح يتألف من نموذج NeuMF معدّل بطبقات شبكية ونموذج مكس XGBoost لربط نتائج GMF و MLP، بالإضافة لنموذج عميق نصي Text model، والأفضل كان نموذج ConvBiLSTMAtt_all للتعامل مع الميزات النصية.
RMSE	Root Mean Square Error
MAE	Mean Absolute Error
NSE	Nash-Sutcliffe Model Efficiency

المراجع References

- [1] Aggarwal CC, 2023 - "**Neural Networks and Deep Learning: A Textbook**". Cham: Springer International Publishing.
- [2] Ba JL, Kiros JR, and Hinton GE, 2016. "**Layer Normalization**".
- [3] Bahdanau D, Cho K, and Bengio Y, 2014. "**Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate**".
- [4] Chen T and Guestrin C, 2016. "**XGBoost: A Scalable Tree Boosting System**", *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining - KDD '16*, pp. 785-794.
- [5] Datta L, 2020. "**A Survey on Activation Functions and their relation with Xavier and He Normal Initialization**", *ArXiv*, vol. abs/2004.06632.
- [6] Deeb M and Abu Saleh N, 2019. "**Performance Evaluation of Learning Models in Comparison with Recommendation Systems by Studying Data Features**", *Journal of Al-Baath University*, vol. 41, no. 51, pp. 11-52.
- [7] Feng S, Song K, Wang D, Gao W, and Zhang Y, 2021. "**InterSentiment: combining deep neural models on interaction and sentiment for review rating prediction**", *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, vol. 12, no. 2, pp. 477-488.
- [8] Gers FA, Schmidhuber J, and Cummins F, 2000. "**Learning to forget: continual prediction with LSTM**", *Neural Comput*, vol. 12, no. 10, pp. 2451-71.
- [9] Gers FA, Schraudolph NN, and Schmidhuber J, 2003. "**Learning precise timing with lstm recurrent networks**", *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 3, no. null, pp. 115-143.
- [10] Glorot X, Bordes A, and Bengio Y, 2011. "**Deep Sparse Rectifier Neural Networks**".

- [11] Goodfellow I, Bengio Y, and Courville A, 2016 - "***Deep learning***". Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- [12] Graves A and Schmidhuber J, 2005. "**Frame-wise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures**", *Neural Networks*, vol. 18, no. 5, pp. 602-610.
- [13] Guo T, Wen Y, Wang F, and Hou J, 2019. "**Learning Resource Recommendation Based on Generalized Matrix Factorization and Long Short-Term Memory Model**", in *2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, pp. 217-222, Sydney, Australia: IEEE.
- [14] He X, Liao L, Zhang H, Nie L, Hu X, and Chua T-S, 2017. "**Neural Collaborative Filtering**", in *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web*, pp. 173-182, Perth Australia: International World Wide Web Conferences Steering Committee.
- [15] Hochreiter S and Schmidhuber J, 1997. "**Long short-term memory**", *Neural Comput*, vol. 9, no. 8, pp. 1735-80.
- [16] Huang R, McIntyre S, Song M, E H, and Ou Z, 2018. "**An Attention-Based Recommender System to Predict Contextual Intent Based on Choice Histories across and within Sessions**", *Applied Sciences*, vol. 8, no. 12, p. 2426.
- [17] Hug N, 2020. "**Surprise: A Python library for recommender systems**", *Journal of Open Source Software*, vol. 5, no. 52.
- [18] Ioffe S and Szegedy C, 2015. "**Batch Normalization: Accelerating Deep Network Training by Reducing Internal Covariate Shift**".
- [19] James V and Alagarsamy S, 2022. "**RNN LSTM-based Deep Hybrid Learning Model for Text Classification using Machine Learning Variant XGBoost**", *International*

Journal of Performability Engineering, vol. 18, no. 8, pp. 545-551.

- [20] Joulin A, Grave E, Bojanowski P, and Mikolov T, 2017 - "**Bag of Tricks for Efficient Text Classification**". Valencia, Spain: Association for Computational Linguistics, 427-431p.
- [21] Kamyab M, Liu G, and Adjeisah M, 2021. "**Attention-Based CNN and Bi-LSTM Model Based on TF-IDF and GloVe Word Embedding for Sentiment Analysis**", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 23, p. 11255.
- [22] Kim Y, 2014. "**Convolutional Neural Networks for Sentence Classification**", in *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, pp. 1746-1751, Doha, Qatar: Association for Computational Linguistics.
- [23] Kingma DP and Ba J, 2014. "**Adam: A Method for Stochastic Optimization**".
- [24] Koren Y, Bell R, and Volinsky C, 2009. "**Matrix Factorization Techniques for Recommender Systems**", *Computer*, vol. 42, no. 8, pp. 30-37.
- [25] LeCun Y *et al.*, 1989. "**Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition**", *Neural Computation*, vol. 1, no. 4, pp. 541-551.
- [26] Liu G and Guo J, 2019. "**Bidirectional LSTM with attention mechanism and convolutional layer for text classification**", *Neurocomputing*, vol. 337, pp. 325-338.
- [27] Low YH, Yap W-S, and Tee YK, 2019. "**Convolutional Neural Network-Based Collaborative Filtering for Recommendation Systems**", Singapore, pp. 117-131: Springer Singapore.
- [28] Luo X, Zhou M, Xia Y, and Zhu Q, 2014. "**An Efficient Non-Negative Matrix-Factorization-Based Approach to Collaborative Filtering for Recommender Systems**",

IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 2, pp. 1273-1284.

- [29] Luong M-T, Pham H, and Manning CD, 2015. "**Effective Approaches to Attention-based Neural Machine Translation**".
- [30] Masters D and Luschi C, 2018. "**Revisiting Small Batch Training for Deep Neural Networks**".
- [31] Mikolov T, Sutskever I, Chen K, Corrado G, and Dean J, 2013. "**Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality**".
- [32] Ni J, Li J, and McAuley J, 2019. "**Justifying Recommendations using Distantly-Labeled Reviews and Fine-Grained Aspects**", in *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)*, pp. 188-197, Hong Kong, China: Association for Computational Linguistics.
- [33] Ong K, Ng K-W, and Haw S-C, 2021. "**Neural matrix factorization++ based recommendation system**", *FI1000Research*, vol. 10, p. 1079.
- [34] Pennington J, Socher R, and Manning C, 2014. "**Glove: Global Vectors for Word Representation**", in *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, pp. 1532-1543, Doha, Qatar: Association for Computational Linguistics.
- [35] Roy PK, 2020. "**Multilayer Convolutional Neural Network to Filter Low Quality Content from Quora**", *Neural Processing Letters*, vol. 52, no. 1, pp. 805-821.
- [36] Rustam F, Mehmood A, Ahmad M, Ullah S, Khan DM, and Choi GS, 2020. "**Classification of Shopify App User Reviews Using Novel Multi Text Features**", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 30234-30244.

- [37] Shan S, Ni H, Wang D, Chen G, and Sang X, "A Deep Learning Model with Attention-BiLSTM Networks Combining XGBoost Residual Correction for Short-Term Water Demand Forecast," In Review, preprint 2022, Accessed on: 2024-03-15 14:00:58.
- [38] Sharma R, Gopalani D, and Meena Y, 2017. "**Collaborative filtering-based recommender system: Approaches and research challenges**", in *2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICIT)*, pp. 1-6, Ghaziabad, India: IEEE.
- [39] Srivastava N, Hinton GE, Krizhevsky A, Sutskever I, and Salakhutdinov R, 2014. "**Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting**", *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 15, pp. 1929-1958.
- [40] Van Houdt G, Mosquera C, and Nápoles G, 2020. "**A review on the long short-term memory model**", *Artificial Intelligence Review*, vol. 53, no. 8, pp. 5929-5955.
- [41] Vaswani A *et al.*, 2017. "**Attention Is All You Need**".
- [42] Wang H *et al.*, 2021. "**A Stock Closing Price Prediction Model Based on CNN-BiSLSTM**", *Complexity*, vol. 2021, pp. 1-12.
- [43] Xiaoyan L, Raga RC, and Xuemei S, 2022. "**GloVe-CNN-BiLSTM Model for Sentiment Analysis on Text Reviews**", *Journal of Sensors*, vol. 2022, pp. 1-12.
- [44] Yao X, 2018. "**Attention-based BiLSTM Neural Networks for Sentiment Classification of Short Texts**", in *Proceedings of Information Science and Cloud Computing — PoS(ISCC 2017)*, p. 014, Guangzhou, China: Sissa Medialab.
- [45] Zheng J and Zheng L, 2019. "**A Hybrid Bidirectional Recurrent Convolutional Neural Network Attention-Based Model for Text Classification**", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 106673-106685.

- [46] Zhou P *et al.*, 2016. "**Attention-Based Bidirectional Long Short-Term Memory Networks for Relation Classification**", in *Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers)*, pp. 207-212, Berlin, Germany: Association for Computational Linguistics.
- [47] Ziegler C-N, McNee SM, Konstan JA, and Lausen G, 2005. "**Improving recommendation lists through topic diversification**", in *Proceedings of the 14th international conference on World Wide Web - WWW '05*, p. 22, Chiba, Japan: ACM Press.

محاكاة تأثير طريقة توضع الحاجر المادي في أنظمة

الري تحت السطحي لري محصول البطاطا

*م. مهند تقلا ** م. نور عبشي

الملخص

يعتبر الري بالتنقيط والري تحت السطحي من أكثر الوسائل المستدامة للري. إن تصميم نظام الري تحت سطحي يعتمد بشكل اساسي على معرفة نمط وتوزيع المياه حول المنقطات بحيث يتم تقليل ترطيب سطح التربة والترشيح العميق ، يهدف هذا البحث الى إجراء محاكاة لنظام ري تحت سطحي لري محصول البطاطا باستخدام برنامج Hydrus حيث كانت التربة المفترضة رملية لومية وذلك لأنه يفضل زراعة البطاطا في ترب متوسطة النفاذية ، وتم إجراء المحاكاة وفق 3 حالات (1) تم وضع المنقط على عمق (2.30cm) منقط على عمق (30cm) مع حاجر مادي افقي يبعد (10cm) عن المنقط. (3) منقط على عمق (30 cm) مع حاجر مادي يبعد (10 cm) عن المنقط ويتوضع بشكل مائل بزاوية (30°) عن الافق. وتم تحديد الحالة الأفضل بناء على توزيع المحتوى المائي في منطقة الجذر. اظهرت نتائج المحاكاة في الحالة (1) ميل المياه لتحرك نحو الأسفل وابتعادها عن منطقة الجذر ، وصلت المياه لارتفاع (17cm) اعلى المنقط و(30cm) اسفله (60cm تحت سطح الأرض) بينما ساهمت اضافة الحاجر المادي في انتشار المياه بشكل عرضي حيث وصلت المياه ايضا الارتفاع (17cm) أعلى المنقط ولكن مع زيادة المحتوى المائي عند نهاية عملية المحاكاة. بالنسبة للحالة (3) أدت إمالة الحاجر عن الأفق ، لتوجيه المياه نحو الاعلى حيث وصلت المياه لارتفاع (20cm) أعلى المنقط وكان هناك تسرب قليل للمياه أسفل الحاجر.

الكلمات المفتاحية:

الري تحت السطحي - Hydrus - محصول البطاطا - حاجر مادي.

* حاصل على شهادة الماجستير عام 2023 في اختصاص المكننة الزراعية - كلية الهندسة التقنية

- جامعة طرطوس - سورية

** حاصلة على شهادة الماجستير عام 2023 في اختصاص الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة -

كلية الهندسة التقنية جامعة طرطوس - سورية

A Simulation of the effect of the physical barrier placement method in subsurface irrigation systems for irrigating potato crop

***Eng.Mohanad Takla**Eng.Nour Abshi**

Abstract

Drip and subsurface irrigation are considered the most sustainable methods of irrigation. The design of a subsurface irrigation system depends mainly on knowing the pattern and distribution of water around the emitters to reduce the wetting of the soil surface and deep infiltration. This research aims to create a simulation of a subsurface irrigation system to irrigate the potato crop using the Hydrus program, the assumed soil was loamy sand, because it is preferable Growing potatoes in moderately porous soils. The simulation was created according to 3 cases: 1) The emitter was placed at a depth of (30cm). 2) A emitter was placed at a depth of (30cm) with a horizontal physical barrier (10cm)away from the emitter. 3) A emitter was placed at a depth of (30cm) with a physical barrier 10 cm away from the emitter and tilted at an angle of 30° from the horizon. The best condition was determined based on the distribution of water content in the root zone. The simulation results in case (1) showed the tendency of water to move downward and move away from the root zone, where the water reached a height of (17cm) above the dripper and (30cm) below it (60cm below the ground surface), while the addition of the physical barrier contributed to the spread of water horizontally, where it reached (17cm) above the emitter, but with increasing water content at the end of the simulation. As for the case(3), tilting the barrier above the horizon directed the water upward, as the water reached a height of (20cm) above the drip, and there was a slight water leakage below the barrier.

Keywords :Subsurface irrigation – Hydrus – potato crops – physical barrier

***Master's degree in 2023 in agricultural mechanization - Faculty of Technical Engineering - Tartous University – Syria.**

****Master's degree in 2023 in solar energy and renewable energies - Faculty of Technical Engineering - Tartous University - Syria**

1. المقدمة:

يعتبر الماء من العناصر المهمة لجميع الكائنات الحية حيث يستخدم في جميع القطاعات خاصة القطاع الزراعي، حيث يستهلك سنويا ما يصل إلى 83%، وما يصل إلى 90% في ذروة الطلب [1]. أدت زيادة التعداد السكاني إلى زيادة في الطلب على الماء والغذاء ومع ندرة المواد المائية لابد من اعتماد وسائل ري تسهم في صيانة واستدامة هذه الموارد. يعتبر الري التقليدي هو الأسلوب الشائع في سورية حتى الآن على الرغم من محدودية الموارد المائية، حسب وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي في سورية عام 2009 فإن نصيب الفرد من المياه المتجددة 700m^3 بالتالي تعد سورية من الدول الفقيرة مائيا لأن نصيب الفرد أقل من 1000m^3 في سنة، وهو ما يشير إلى الحاجة الملحة لترشيد استخدام المياه الزراعي باعتبارها المستهلك الأكبر للمياه في سورية [2]. تواجه صناعة أنظمة الري تحديات متزايدة بهدف تحسين كفاءة أنظمة الري والحد من الآثار البيئية مثل الملوحة وتلوث المياه الجوفية و تقليل استهلاك المياه المستخدمة في عملية الري وتقليل التكاليف. أصبح استخدام الري بالتنقيط (Drip irrigation) و الري تحت السطحي (Subsurface irrigation) في المحاصيل المزروعة أمراً شائعاً في عملية الانتاج الزراعي في مختلف أنحاء العالم حيث أصبح ينظر لكلا الطريقتين بأنهما من أكثر الوسائل المستخدمة للإدارة المستدامة للري [3]. يعرف الري بالتنقيط تحت السطحي (subsurface drip irrigation) (SDI) وفقاً لمعايير الجمعية الأمريكية للهندسة الزراعية (ASAE) بأنه "تطبيق المياه تحت سطح التربة من خلال منقذات بمعدلات تصريف في نفس نطاق الري بالتنقيط بشكل عام [4]. هناك مزايا كثيرة للري تحت السطحي أبرزها التطبيق المباشر للمياه داخل منطقة الجذر، تقليل كمية المياه المستخدمة في الري وتقليل نمو الأعشاب الضارة وزيادة إنتاجية المحاصيل. بالمقابل فإن عيوب الري تحت السطحي: تسرب المياه بعيدا عن

منطقة الجذر عند دفن الأنابيب على عمق كبير، وحدث ضغط زائد إذا تجاوز تصريف المنقط تصريف التربة حول مخرجه حيث يؤدي ذلك حدوث ظاهرة المدخنة و ظهور بقع رطبة غير مرغوب فيها في الحقل حيث يتشكل مسار تدفق تفضيلي يصعب إزالته بعد الحراثة ، كما قد يكون من الصعب تحديد مواقع التسريبات التي تسببها القوارض وإصلاحها خاصةً بالنسبة لأنظمة (SDI) العميقة بالإضافة لصعوبة مراقبة خطوط التنقيط بحثاً عن اقتحام الجذور [5]. يتطلب التصميم المناسب لأنظمة (SDI) معرفة أنماط توزيع المياه حول المنقطات بحيث تتطابق مع نمو الجذور وتقليل ترطيب سطح التربة والترشيح العميق ويعتمد الشكل الدقيق لحجم منطقة الترطيب وتوزيع المياه في التربة على العديد من العوامل أهمها الخصائص الهيدروليكية وظروف التربة الاولية ومعدل التصريف ، وتكرار تطبيق المياه وخصائص الجذر والتبخر والنتح[6]. هناك العديد من الدراسات التي تحدثت عن تحليل ونمذجة حركة المياه ضمن التربة حيث قام الباحث (COTA et al) عام 2003 باستخدام برنامج HYDRUS بإجراء محاكاة ثنائية البعد 2D لدراسة حركة الماء ضمن التربة حيث قام بتطبيق حالتين للري وهما الري المستمر والري المتقطع وتم تطبيق التجارب على ثلاثة أنواع من الترب (رملية ، لومية ، تربة مزدوجة(سلتية - لومية)) حيث بينت النتائج أن الري بالتنقيط تحت السطحي يمكن أن يحسن من اتاحة المياه للنباتات في الترب المتوسطة والمنخفضة النفاذية اذا تمت مراعاة الخصائص الهيدروليكية للتربة ، ولكن في الترب شديدة النفاذية يكون من الصعب تبليل المنطقة السطحية لتربة خصوصا اذا كانت المرشحات مدفونة بعمق كبير وذلك بسبب تحرك المياه لأسفل المنقط بسرعة[6]. قام الباحث (MAZIAR et al) في عام 2009 بمقارنة نتائج محاكاة برنامج HYDRUS مع النتائج المخبرية حيث أظهرت النتائج أن المحاكاة كانت دقيقة وبلغت قيمة الخطأ بين 0.011 و 0.045 لمحتويات الماء الحجمي ، وبين 0.98 و 4.36 سم لأبعاد الترطيب. [7]. أما الباحث

(EL-NESR et al) قام بنمذجة ومحاكاة ثلاث تقنيات (منقط مدفون على عمق 25cm -25cm منقط على عمق 15cm مع حاجز مادي بسمك 1cm وعرض 25cm يبعد 27cm عن سطح تربة ، يمكن ان يصنع من مادة البولي إيثيلين او المعادن - منقطين يعملان بشكل متتابع وذلك لإنشاء حاجز هيدروليكي) لتحسين توزيع المياه والمواد المذابة داخل منطقة الجذر والحد من تسرب المياه بعيدا عنها عن طريق برنامج HYDRUS حيث تم إجراء التجارب على الترب العارية والترب المزروعة بمحصول البطاطا وقد اشارت النتائج أن الحاجز المادي كان أكثر كفاءة من أنظمة الري بالتنقيط المزوج في تحسين توزيع المياه داخل منطقة الجذر [8]. قام الباحث (GORDANA et al) عام 2016 بإجراء دراسة إنتاجية واقتصادية لمحصول البطاطا تحت ظروف البعلية والري باستخدام الري بالرش والري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) حيث أظهرت النتائج تحقيق إنتاجية أعلى وأكثر ربحية مقارنة بالزراعة المروية البعلية. وقد كان الري بالتنقيط أكثر ربحية من الري بالرش ، حيث أدى استخدام الري تحت السطحي إلى زيادة إنتاج الدرنات بنسبة (40%) من المتوسط مقارنة بالري بالرش [9].

تنمو البطاطا بشكل أفضل في التربة الرملية الطميية أو الطميية الرخوة، جيدة الصرف، غير القشرية، ذات المحتوى العالي من المواد العضوية ودرجة الحموضة بين (5.5 - 6.5)، تتمتع درنات البطاطا بمعدل تنفس مرتفع وتتطلب كمية وافرة من الأكسجين في التربة. تسمح التربة الأخف بدخول الهواء الذي يسمح للبطاطا بالتنفس. كما توفر قوام التربة الأخف مقاومة أقل لتكوين الدرنات؛ مما يسمح للنبات بتخزين المزيد من السعرات الحرارية بالتالي تشكل درنات كبيرة ومتساوية الحجم بالتالي تحسن من الناحية الشكلية . كما أن التربة الرملية الأخف وزنا تجعل الحصاد أسهل [10][11].

2. مشكلة البحث وأهميته

تتلخص مشكلة البحث بقلة الموارد المائية في سورية و الحاجة لعملية الري عند زراعة المحاصيل الزراعية بهدف تحقيق الأمن الغذائي، نظرا للفوائد المائية الكبيرة عند استخدام أنظمة الري التقليدية ، ومع تراجع كمية الأمطار لابد من استخدام انظمة ري حديثة ذات كفاءة عالية في استخدام وإدارة المياه من ضمنها الري تحت السطحي ، وفي حال استخدام هذا النظام عند زراعة بعض المحاصيل في التربة النفوذية فإن المياه تميل للترشح أسفل المنقط مبتعدة عن منطقة الجذور، تكمن أهمية البحث في نمذجة ومحاكاة نظام الري تحت سطحي بوجود حاجر مادي واثر طريقة توضع في نمط الترطيب بحيث يتم تأمين المياه اللازمة عند أقل كمية استخدام للمياه.

3. هدف البحث

يهدف البحث لإجراء محاكاة ثنائية الأبعاد لدراسة تأثير طريقة توضع الحاجر المادي عند استخدام الري بالتنقيط تحت السطحي في ري محصول البطاطا كمثال والذي يزرع في تربة شديدة النفاذية باستخدام برنامج المحاكاة ل HYDRUS وفق 3 حالات:

(1) منقط على عمق (30cm).

(2) منقط على عمق (30cm) مع حاجر مادي افقي يبعد (10cm) عن المنقط.

(3) منقط على عمق (30 cm) مع حاجر مادي يتوضع بشكل مائل بزواوية 30 عن الافق يبعد (10 cm) عن المنقط.

4. مواد وطرائق البحث

1.4. نمذجة نظام SDI:

تم استخدام برنامج HYDRUS وهو عبارة عن حزمة برامج لمحاكاة حركة الماء والحرارة والمواد المذابة ثنائية وثلاثية الأبعاد في أوساط مسامية متغيرة الاشباع . تتكون حزمة البرامج من برنامج كمبيوتر حسابي وواجهة مستخدم تفاعلية قائمة على الرسومات [9]. من أجل إجراء محاكاة تم استخدام HYDRUS رقم الإصدار (2) ثنائي لبعد لمعرفة نمط توزيع المحتوى الرطوبي في نظام الري تحت السطحي وفق 3 حالات المذكورة في هدف البحث. يعتمد الحل العددي لبرنامج ل HYDRUS على معادلة ريتشارد التي تعبر عن جريان المياه من مصدر نقطي خلال الأوساط المسامية متغيرة الاشباع [12]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[rK(h) \frac{\partial h}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(h)}{\partial z} - S(h) \quad (1)$$

يوضح الجدول (1) شرح الرموز للعلاقة (1)

Θ	محتوى الماء الحجمي (L^3/L^3)
t	الزمن (T)
h	اجهاد الشد المائي (L)
r	الإحداثي (الأفقي) (L)
z	الإحداثي العمودي (L)
K(h)	الموصلية الهيدروليكية غير المشبعة (L/T)
S(h)	امتصاص الماء من الجذور والذي يعبر عن حجم الماء الذي تمت إزالته من وحدة حجم التربة لكل وحدة زمنية (L/LT).
θ_r	محتوى الماء المتبقي (L^3/L^3)
θ_s	محتوى الماء المشبع (L^3/L^3)

تم نمذجة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء باستخدام معادلة (van Genuchten) [12]:

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{(1 + (\alpha h)^n)^m} \quad (2)$$

حيث Se : الدرجة الفعالة للتشبع [-] ، θ_r و θ_s : محتويات الماء المتبقية والمشبعة $[L^3/L^3]$ ، على التوالي ، α : معلمة تجريبية $[L^{-1}]$ مرتبطة عكسيا بقيمة إدخال الهواء ، و n و m ثوابت تجريبية تؤثر على شكل منحنى الاستبقاء [-]. قيمة m مقيدة بـ $m = 1 - 1/n$.

يوضح الجدول (2) شرح الرموز للعلاقة (2)

θ_r	محتويات الماء المتبقية $[L^3/L^3]$
θ_s	محتويات الماء المشبعة $[L^3/L^3]$
α	معلمة تجريبية قيمتها عكس قيمة الهواء الداخل للوسط $[L^{-1}]$
n	ثابت تجريبي
m	ثابت تجريبي: $m = 1 - \frac{1}{n}$

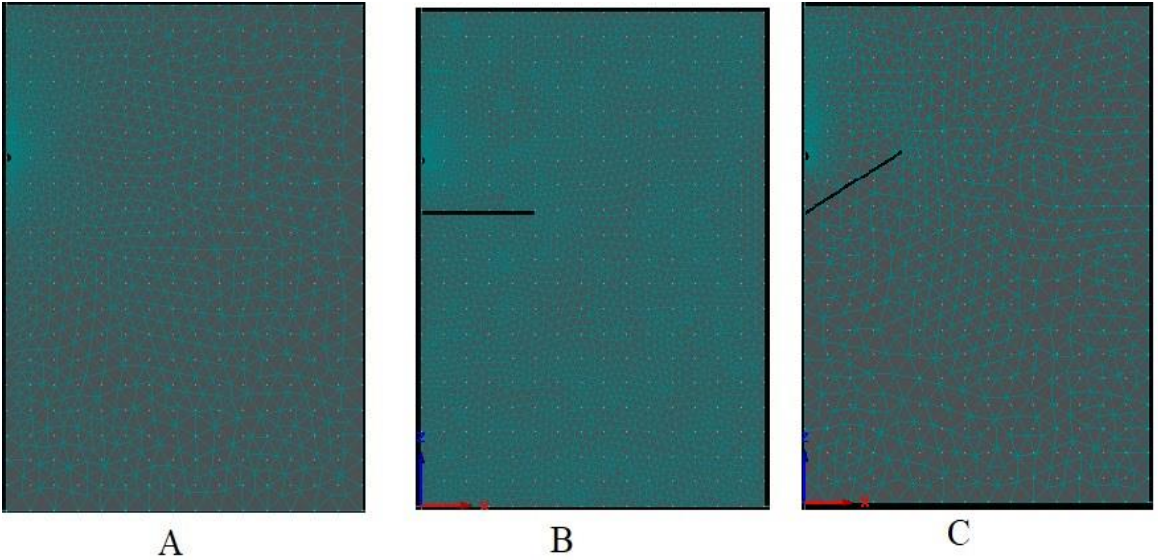
2.4. الشروط الأولية والحدية:

2.4.1 الشروط الأولية : كون نبات البطاطا يحتاج لترتب جيدة الصرف تم اجراء المحاكاة على ترب رملية لومية والتي تتمتع بالخصائص الهيدروليكية الموضحة في الجدول (3) والتي تم الحصول عليها من المكتبة الملحقة المزود بها برنامج Hydrus.

الجدول(3)الخصائص الهيدروليكية للتربة والتي سوف تستخدم في المعادلة (1) و(2):

0.41	الرطوبة المشبعة (θ_s)
0.065	الرطوبة المتبقية (θ_r)
4.42(cm/hour)	معامل التوصيل الهيدروليكي (k_s)
0.075	α
1.89	n

كان حجم العناصر المنتهية عند المنقط والزاوية العليا لشريحة التربة = (0.5cm) بينما كان البعد لباقي الأماكن (2cm) ولذلك لزيادة دقة النتائج. يوضح الشكل(1) شبكة العناصر المنتهية لكل حالة على حدة(A:حالة منقط على عمق (30 cm) - B: منقط على عمق (30 cm) مع حاجز مادي افقي يبعد (10 cm) عن المنقط - C: منقط على عمق (30cm) مع حاجز مادي يتوضع بشكل مائل بزاوية (30) عن الافق يبعد (10 cm) عن المنقط.



الشكل(1):مجموعة العناصر المنتهية للحالات المدروسة

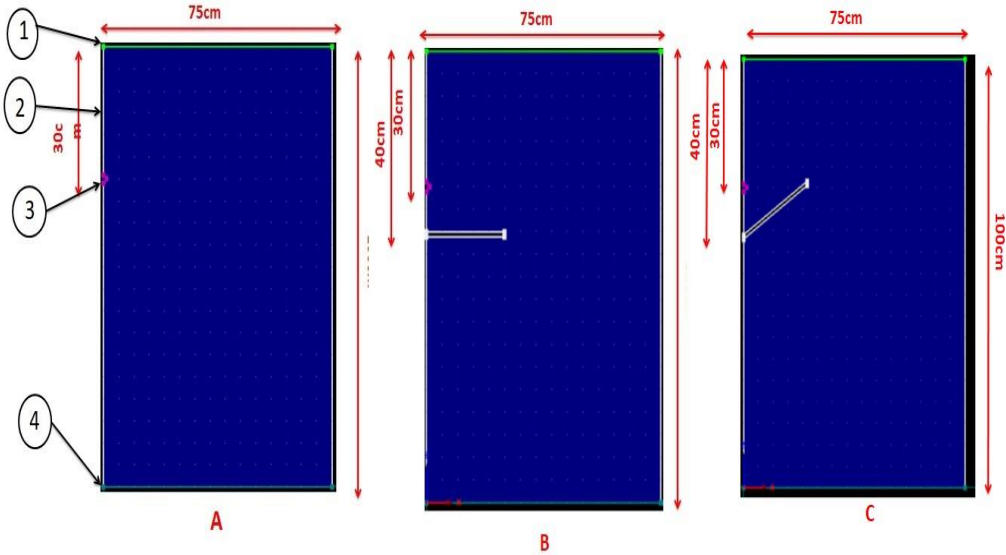
يوضح الشكل (2) النماذج الثلاث (A: حالة منقط على عمق (30 cm) - B: منقط على عمق (30 cm) مع حاجز مادي افقي يبعد (10 cm) عن المنقط - C: منقط على عمق (30cm) مع حاجز مادي يتوضع بشكل مائل بزواوية (30°) عن الافق يبعد (10 cm) عن المنقط.

2.2.4 الشروط الحدية: يوضح الشكل (A-2) النموذج للحالة (1) الحد ذو الرقم (1) هو الظروف الجوية و الحد (2) هو حد عدم تدفق و والحد (3) يمثل المنقط (تدفق متغير) والحد (4) هو التصريف الحر. بالنسبة للحاجز المادي في (B-2) و (C-2) تم اعتبار الحاجز المادي حد عدم تدفق.

تم فرض التبخر صفر بالنسبة للظروف الجوية وتم إهمال تأثير درجة الحرارة لأن الدراسة تركز على دراسة محتوى الرطوبة للتربة المدروسة. تم حساب التدفق المتغير المدخل إلى البرنامج من خلال العلاقة (3) حيث تم اعتبار التدفق (4L/h) بالتالي التدفق المتغير المدخل عند استخدام نظام الري بالتنقيط تباعد (40cm) بين المنقطات و يقطر (20mm) [13]:

$$q = \frac{Q}{2\pi.r.L} = \frac{4 \times 10^3 (cm^3/h)}{2\pi(1cm)(40cm)} = 16cm/hour \quad (3)$$

سيتم تطبيق المياه مرتين بفارق زمني 4hour وكان زمن المحاكاة 12hour.



الشكل (2): يوضح النماذج المنشأ للحالات الثلاث

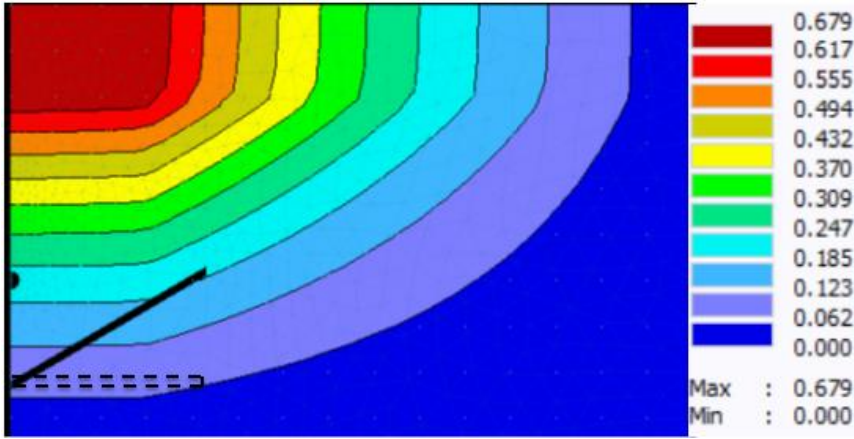
تم إدخال مواصفات الجذر الآتية لنبات البطاطا الموضحة بشكل الآتي:

الجدول (4): بارامترات توضع الجذور لنبات البطاطا [8]:

50 cm	العمق الأعظمي للجذر
10 cm	العمق لأقصى كثافة امتصاص للجذر
80 cm	أقصى نصف قطر للتجذير
15 cm	نصف قطر أقصى كثافة امتصاص للجذر
10000 cm ²	مساحة السطح المرتبطة بالنتج (AT)

يوضح الشكل (3) نمط امتصاص الجذر بعد إدخال مواصفات الجذر الموضحة في

الجدول (2) حيث يلاحظ تركيز امتصاص المياه عند السطح .

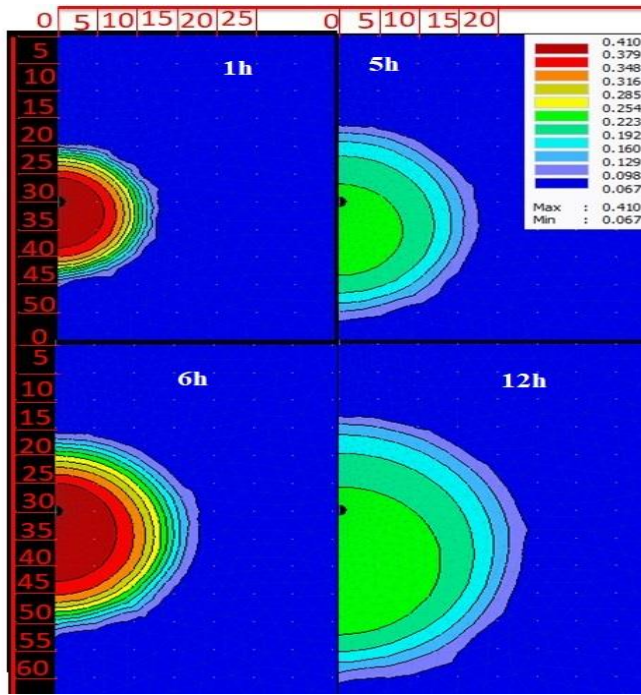


الشكل(3): نمط امتصاص الجذر لنبات البطاطا.

5. النتائج:

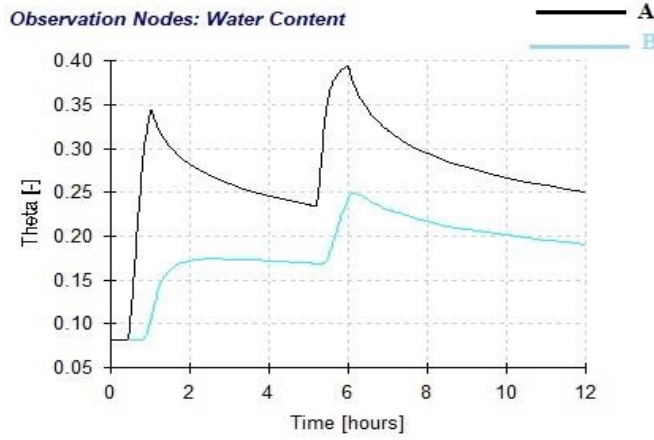
1.5. منقط على عمق (30cm) :

أظهرت نتائج المحاكاة الموضحة في شكل(4) تحرك المياه بشكل كبير نحو الأسفل مع شكل ترطيب شبه بيضوي حيث بعد نهاية عملية الري الأولى بلغ المحتوى المائي (0.4 cm^3/cm^3) بالقرب من المنقط ووصل تغير المحتوى المائي إلى 10cm أسفل المنقط و 5cm أعلاه وبعد مرور 4 ساعات قبل بداية عملية الري الثانية انخفض المحتوى عند المنقط ليصل إلى ($0.23 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) و وصول انتشار المياه أعلى المنقط لارتفاع (12cm) مع محتوى مائي منخفض بلغ ($0.11 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) ويعود سبب ارتفاع المياه على الرغم من عدم وجود تدفق إلى انتشار المياه بالخاصة الشعرية ، وبعد عملية الري الثانية بلغ المحتوى المائي 0.41 عند المنقط ووصل للارتفاع 15cm أعلى المنقط وبمحتوى مائي ($0.13 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) كما وصل الماء لعمق 23cm أسفل المنقط ولمحتوى مائي (0.1) وبعد مرور 6 ساعات على نهاية عملية الري كانت ابعاد الترطيب 17cm أعلى المنقط و30cm أسفله وانتشاط عرضي (20cm).



الشكل(4): يوضح توزيع المحتوى المائي لحالة منقط على عمق (30cm)

كما يبين المخطط في الشكل(5):تغير المحتوى المائي بالنسبة للزمن عند أعلى المنقط (B) وأسفل النقط (A) ب 10cm حيث يلاحظ ارتفاع المحتوى المائي اسفل المنقط حيث بلغ 0.35 عند نهاية عملية الري الأولى و الى 0.4 عند نهاية الري الثانية و لينخفض إلى 0.25 عند نهاية عملية المحاكاة بينما كان تغير المحتوى المائي اعلا المنقط على الشكل الآتي 0.18 عند نهاية عملية ري الاولى و 0.25 عند نهاية عملية ري ثانية و 0.2 عند نهاية زمن المحاكاة. يعود ذلك لميل المياه لتتحرك للأسفل المرشح نظرا لنفاذية التربة المدروسة.

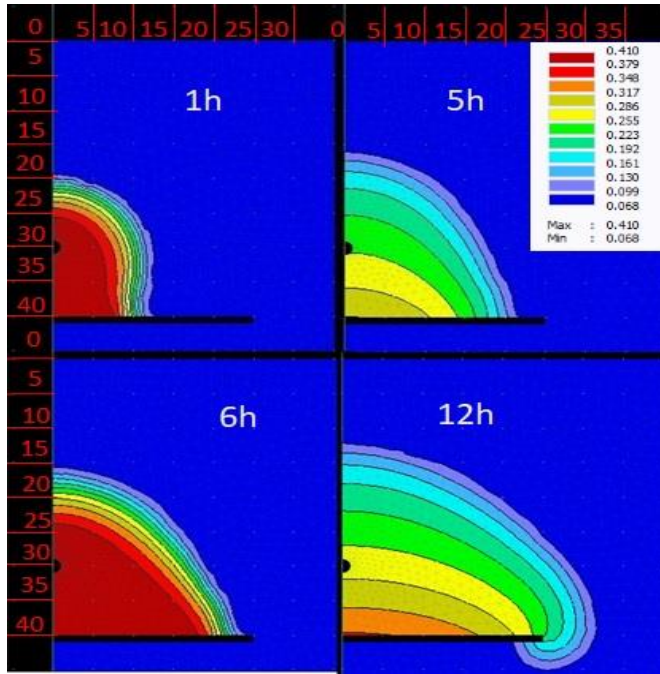


الشكل (5): تغير المحتوى المائي بالنسبة للزمن اعلى واسفل المنقط ب10cm

(A:اسفل المنقط – B:اعلى المنقط)

2.5. حالة منقط على عمق 30cm مع حاجز مادي:

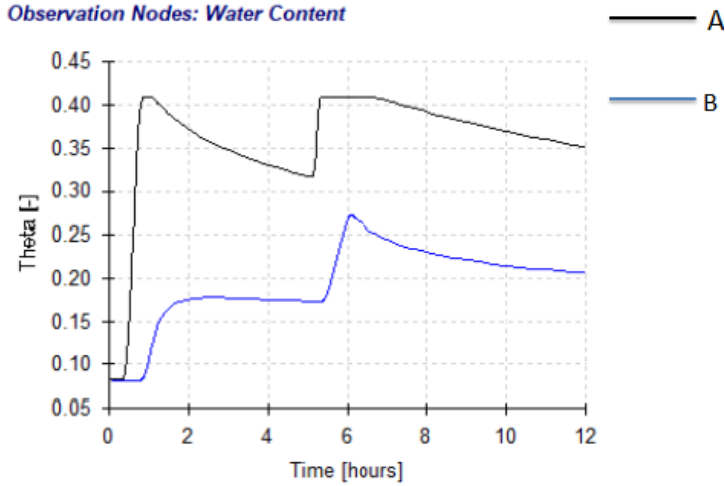
أظهر الحاجز قدرة واضحة في منع حركة المياه نحو الأسفل والابتعاد عن منطقة الجذر مع حركة الماء بشكل عرضي على طول الحاجز وتسرب القليل منها على أطراف الحاجز كما يظهر الشكل (6). بالنسبة لتوزيع المحتوى المائي عند المنقط فقد بلغ عند نهاية عملي الري الأولى 0.41 مع وصوله الارتفاع 8cm اعلى المنقط وانتشار عرضي بلغ 13cm مع توقف عملية الري ازداد انتشار المياه العرضي اكثر من الطولي حيث وصل ارتفاع المياه 12cm اعلى المنقط قبل عملية الري الثاني مع انتشار عرضي 16cm على مستوي المنقط وكانت قيمة المحتوى المائي عند لمنقط 0.24 مع بدء عملية الري الثانية عاد المحتوى المائي إلى 0.41 (القيمة الأعظمية) مع انتشار عرضي اسفل المنقط كمان ازداد المحتوى المائي على طول الحاجز المادي وعند نهاية عملية المحاكاة (بعد 6 ساعات من عملية الري الاخيرة) بلغ المحتوى المائي 0.266 مع انتشار على طول الحاجز وتسرب المياه نحو اسفل الحاجز ووصلت المياه إلى 17cm اعلى المنقط.



الشكل (6): يوضح توزيع المحتوى المائي لحالة منقط على عمق (30cm) مع حاجز

مادي

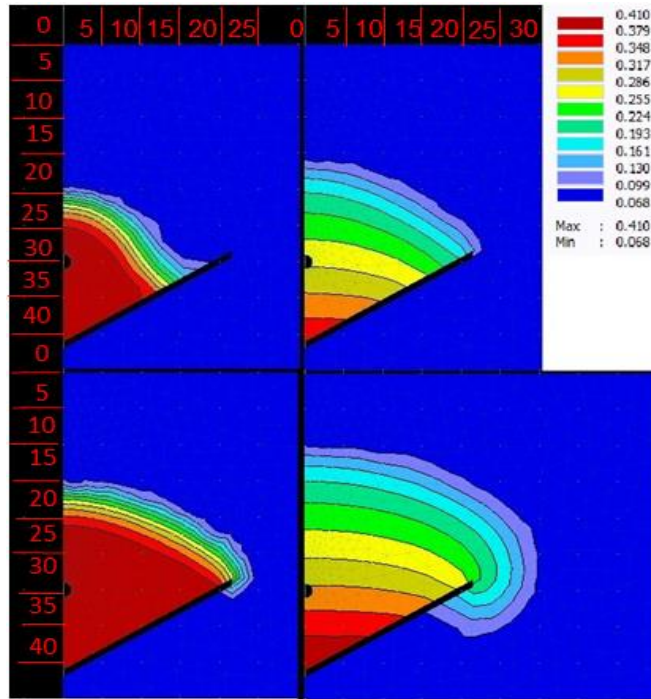
يظهر المخطط البياني ادناه الموضح بالشكل (7) تغير المحتوى المائي بالنسبة للزمن اعلى واسفل المنقط بـ 10cm حيث يظهر زيادة المحتوى المائي اسفل المنقط مقارنة بأعلى المنقط وذلك بسبب وجود الحاجز المادي حيث بلغت أعلى قيمة وصل لها المحتوى المائي أعلى المنقط (0.25) وأسفله (0.41) بينما في الحالة (1) كانت (0.23) أعلاه و أسفله (0.39). كما بلغت قيمة المحتوى المائي في الحالة (2) عند نهاية زمن المحاكاة (0.35) أسفل و (0.19) أعلى المنقط (10cm).



الشكل (7): المخطط البياني لتغير المحتوى المائي بالنسبة للزمن اعلى واسفل المنقط ب10cm للحالة (2) (A:اسفل المنقط - B:اعلى المنقط)

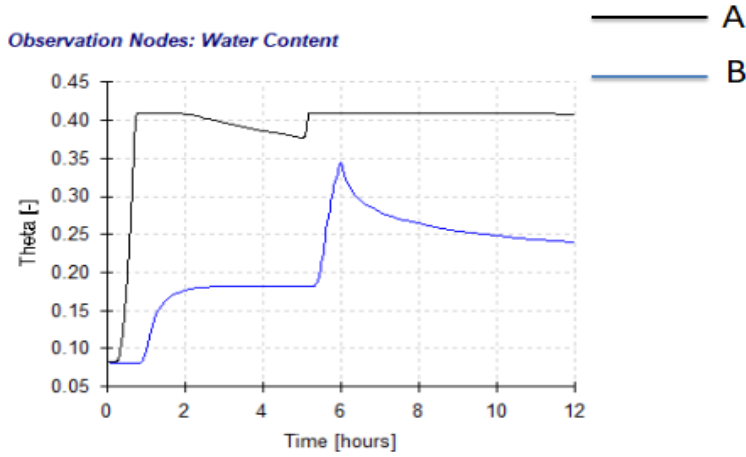
3.5. حالة منقط على عمق 30cm مع حاجز مادي مائل بزواوية 30° عن الأفق:

أظهرت نتائج المحاكاة تحسن في توجيه المياه نحو الأعلى مقارنة بكلا الحالتين السابقتين. حيث وصلت المياه الارتفاع (10cm) أعلى المنقط بعد نهاية عملية الري الأولى وبلغت قيمة المحتوى المائي (0.41) قرب المنقط و(0.173) اعلى المنقط ب (10cm) وبعد مرور 4 ساعات من نهاية عملية الري وقبل بداية عملية الري الثانية وصلت المياه لارتفاع (15cm) بمحتوى مائي بلغ (0.13) ،مع بداية عملية الري ازداد المحتوى ليعود إلى (0.41) عند المنقط ولتصل المياه لحدود الحاجز مع عدم تغير في الارتفاع فقط زيادة في الانتشار على طول الحاجز ومع مرور الوقت بعد 6 ساعات وصلت المياه الارتفاع (20cm) اعلى المنقط وتسرب المياه بشكل قليل اسفل الحاجز بينما بلغ المحتوى المائي 0.41 عند الحاجز وبعد ذلك بسبب زاوية ميل الحاجز التي ادت لتراكم المياه عند تلك المنقطة وأدت أيضا لزيادة تحرك الماء نحو الأعلى كما يظهر الشكل(8).



الشكل (8): يوضح توزيع المحتوى المائي لحالة منقط على عمق (30cm) مع حاجز مادي مائل بزاوية 30°

يظهر المخطط البياني الموضح بشكل (9) تغير المحتوى المائي اسفل لمنقط (A) وأعلى المنقط (B) ب 10cm حيث يلاحظ ثبات المحتوى المائي اسفل المنقط حيث بلغت في معظم الأحيان (0.41) بسبب ميل الحاجز ،بالمقابل فإن أعلى قيمة وصل لها المحتوى المائي أعلى المنقط كانت (0.35) وبعد ذلك تراجعت لتستقر عند (0.24).



الشكل (9): المخطط البياني لتغير المحتوى المائي بالنسبة للزمن اعلى واسفل المنقط ب 10cm للحالة (3) (A:اسفل المنقط - B:اعلى المنقط)

بالعودة إلى الأشكال (4) و (6) و (8) ونظارا لنمط امتصاص الجذور في الشكل (3) نجد ان الحاجز المادي بكلا الحالتين ساهم في منع حركة المياه نحو الأسفل بعيدا عن منطقة الجذر مقارنة بالحالة (1) حيث يلاحظ عدم تحرك المياه بشكل كبير نحو الاعلى عند نفس كمية المياه المطبقة في الحالات الثلاث، كما يلاحظ حركة المياه العرضية في الحالة (2) حيث وصلت المياه لارتفاع (15cm) تقريبا كما في الحالة (1) ولكن مع زيادة في المحتوى المائي عند نهاية زمن المحاكاة وذلك بالمقارنة بين مخطط تغير المحتوى المائي بالنسبة للزمن الشكل (6) و (4) ولكن عند إمالة الحاجز عن الأفق بزاوية 30° (الحالة (3)) زاد من حركة المياه نحو الأعلى مقارنة بالحالة (2) حيث وصلت لارتفاع 20cm اعلى المنقط .

6. الاستنتاجات:

1. في الترب النفوذة تميل المياه للتحرك نحو الأسفل بشكل كبير لذلك يجب عدم التعمق عند دفن أنابيب الري تحت السطحي.
2. في حال عدم استخدام الحاجز كان نمط الترطيب بشكل قطع ناقص مع تحرك المياه نحو الأسفل بشكل اكبر وابتعاده عن منطقة الجذر.
3. الحاجز المادي الأفقي ساهم بزيادة في الانتشار العرضي للمياه مع زيادة في كمية المحتوى المائي عند نهاية زمن المحاكاة مقارنة مع عدم وجود حاجز.
4. إن إمالة الحاجز بزواية 30° عن الأفق ساهم بتحريك المياه نحو الاعلى بشكل أفضل من الحاجز الافقي.

7. التوصيات:

1. استخدام حاجز مادي على عمق كبير في حال استخدام الري تحت السطحي في الترب شديدة النفاذية.
2. في حال عدم استخدام الحاجز المادي يجب مراعاة عدم وضع أنابيب الري على عمق كبير مع مراعاة عمق جذور النبات المراد ريه.
3. إمالة الحاجز المادي من أجل توفير المزيد من المياه في منطقة الجذر.
4. إجراء دراسة جدوى اقتصادي للري تحت سطحي مع حاجز مادي ودراسة أثر تطبيقه على صحة النبات.

8.المراجع:

- [1] Douh,B;BoujelbenA2011Improving Water Use Efficiency for a Sustainable Productivity of Agricultural Systems Using Subsurface Drip Irrigation,Journal of Agricultural Science and Technology. BP 47Sousse 4042.
- [2]Hamza,A;Mishaal,M;Arfa,M;Sillin,M2018The economic effects of using modern irrigation networks in Syrian agriculture, Egyptian Journal of Agricultural Economics,Vol28–No1(in Arabic)
- [3] Reich, D; Godin, R;Chavez JL; Broner I, 2009Subsurface drip irrigation (SDI). Fort collins,Colorado State University.
- [4] Sinobas,L,; Rodríguez, M,2015 A Review of Subsurface Drip Irrigation and Its Management. Research Group “Hydraulic of Irrigation” Technical University of Madrid,Spain. DOI: 10.5772–30702
- [5] Lamm, F, 2015 Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation, Kansas State University.chapter8.
- [6]Jrad,S,Alhasa,A2010–Irrigation Machines, Faculty of Agriculture, Tishreen University.

[7]] Kandelous ,M, Šimůnek,J, 2010 Numerical simulations of water movement in a subsurface drip irrigation system under field and laboratory conditions using HYDRUS-2D. Agricultural Water Management, Vol97-1070-1076

[8] N,Mohammad E, Šimůnek,J, 2013 HYDRUS simulations of the effects of dual-drip subsurface irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils. Irrig Sci, DOI 10.1007/s00271-013-0417-x

[9] MATOVIĆ,G, BROČIĆ,Z, DJURIČIN,S, GREGORIĆ,E, BODROŽA, D,2016 PROFITABILITY ASSESSMENT OF POTATO PRODUCTION APPLYING DIFFERENT IRRIGATION METHODS, Wiley Online Library, DOI: 10.1002-ird.1983.

[10] Jim,L,Darryl,W,Orin,M,Kristin,Y,2017-Organic Potato Production on California's Central Coast: A Guide for Beginning Specialty Crop Growers,P2

[11] Jim,L;Darryl,W;Orin,M;Kristin,Y,2017-Organic Potato Production on California's Central Coast: A Guide for Beginning Specialty Crop Growers,P4

[12] Genuchten,V. 1980A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J 44:892-898.

[13] Ghazouan,H;Rallo,G; Latrech,B; Douh,B; Boujelben,A; Provenzano,G,2019Assessing Hydrus-2D Model to Investigate the Effects of Different On-Farm Irrigation Strategies on PotatoCrop under Subsurface Drip Irrigation, www.mdpi.com/journal/water, 11, 540