

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 42 . العدد 15

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. ناصر سعد الدين
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 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 (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة		
32-11	عبدالمجيد كراوي أ.د. أحمد خضرو د. طلال خلاص	استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بالأيروبيوم بنسبة 0.02
62- 33	د. منتجب الحسن حسام شقوف	الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حمية ومصادر حرارية
90-63	آلاء سلامه أ.م. د. محمد فراس الحلبي	دراسة حول اختبار التماثل لفئة خاصة من البيانات
122-91	جوانا غطاس د. ندى محفوض	الفعالية الحيوية لخميرة <i>Saccharomyces cerevisiae</i> على بعض الجراثيم الممرضة
136-123	جهينه الغدير د. أحمد الفلاح د. سامح حمو	تحضير بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) في وسط حمضي ودراسة خواصه وثباته الحراري

استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أوكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%

طالب ماجستير: عبدالمجيد كراوي

قسم فيزياء الجسم الصلب - كلية العلوم - جامعة تشرين

اشراف: أ.د. أحمد خضرو + د. طلال خلاص

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين

الملخص

تعتبر دراسة الأكاسيد الشفافة (TCO) ذات أهمية علمية بالغة نظراً لتطبيقاتها العلمية الواسعة لذلك جاءت دراستنا لبعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أوكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بالأوروبيوم فمن خلال قياس طيف الأشعة تحت الحمراء لأوكسيد الألمنيوم النقي تبين وجود خمس ترددات اهتزازية وهي:

$$(3523 - 3457 - 2450 - 1647 - 719) \text{Cm}^{-1}$$

وخمس أعداد موجية لأوكسيد الألمنيوم المشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%:

$$(3511 - 2880 - 2321 - 1690 - 1130) \text{cm}^{-1}$$

وأظهرت الدراسة بأن قيم لامتصاصية ، ومعامل الامتصاص وقرينة الانكسار والطول الضوئي كانت في العينة المشابة بالأوروبيوم بنسبة 0,02% أكبر منه من مركب أوكسيد الألمنيوم النقي وهي على الترتيب $n=5.68$ $\alpha=34.96 \text{ cm}^{-1}$.

استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أكسيد الألمنيوم النقي
والمشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%

الكلمات المفتاحية: أكسيد الألمنيوم – طيف الأشعة تحت الحمراء – معامل الامتصاص –
قرينة الانكسار – الناقلية الضوئية.

Use the Infrared spectroscopy in the account of some physics pure aluminum oxide and doped 0.02% europium

Prof. Dr. Ahmad Khadrou – Dr. TallalKhalass – Abd-
almjeedkrowey

Physics Department – Faculty of Science– Tishreen University

MS student in solid body physics

Abstract

The study of transparent oxides (TCO) is of great scientific importance due to its wide scientific applications. Therefore, our study came to some of the physical properties of the compounds of both pure aluminum oxide and europium doped aluminum oxides. By measuring the infrared spectrum of pure aluminum oxide, it is found that there are five vibrational frequencies, namely:

(3523 – 3457 – 2450 – 1647 – 719) cm^{-1} and five vibrational frequencies for europium doped aluminum oxide at 0.02%:

(3511- 2880– 2321 – 1690 – 1130) cm^{-1} The study showed that the absorbance values, absorption coefficient, refractive index and optical length in the europium doped sample by 0.02% greater than that of the pure aluminum oxide compound and are respectively:

$$\alpha=34.96 \text{ cm}^{-1} \quad n=5.68$$

Key words :

aluminum oxide - Infrared spectrum - absorption coefficient - refractive index - Optical conductivity

(1) المقدمة:

تلعب تكنولوجيا أنصاف النواقل دوراً بالغ الأهمية في حياتنا اليومية ويرجع ذلك إلى خواصها المميزة التي جعلتها واحدة من أهم المواد. ومن أهم انصاف النواقل نذكر على وجه الخصوص الأكاسيد الناقلة الشفافة التي جذبت اهتمام العديد من الباحثين من خلال مساهمتها في تطوير عدة مجالات بحثية وصناعية نذكر منها تطبيقات الإلكترونيات الضوئية والبطاريات الشمسية [1-2].

تعتمد الدراسات التي تقوم على أساس مواد نصف ناقلة بصفة كبيرة على الأكاسيد الناقلة الشفافة وهذا بفضل خصائصها المميزة بالإضافة إلى انخفاض تكلفتها، ويعد أكسيد الألمنيوم من ضمن الأكاسيد الشفافة التي لاقت أهمية كبيرة لدى الباحثين وخاصة في السنوات الأخيرة وهذا بفضل خاصيته المزدوجة لكونه يمتلك شفافية عالية في المجال المرئي بالإضافة إلى امتيازه بناقلية كهربائية جيدة [3].

تعتبر مطيافية الأشعة تحت الحمراء من الطرائق الأساسية في دراسة المواد فهي تمكننا من التعرف على بنية المادة من دون التأثير على خصائصها وتعتمد على دراسة الأطياف الممتصة من قبل العينة ويحصر مجالها ما بين $[20 - 1400] \text{ cm}^{-1}$

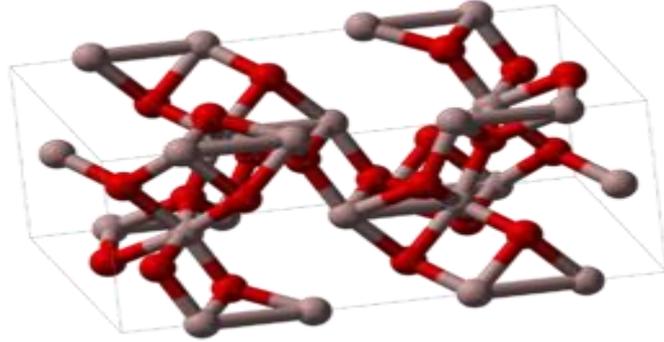
لا تكفي طاقة الإشعاع الأحمر لإحداث إثارة إلكترونية في معظم المواد إلا أنها كافية لإحداث اهتزازات امتطاط وانثناء في الروابط. وجميع أنواع هذه الروابط تستجيب لهذا المقدار من الطاقة لتحديث فيها اهتزازات من هذا النوع لذا تمتص في منطقة تحت الأحمر بشرط أن يؤدي الامتصاص إلى تغير في العزم القطبي، وهذه الاهتزازات مكتمة، وحدوثها يعني أن المركب يمتص طاقة تحت حمراء في جزء معين من الطيف [4]. إن أغلب التحليلات الطيفية تجري في المنطقة تحت الحمراء الوسطى

cm^{-1} [200 – 4000] حيث أن هذه المنطقة تحدث فيها أغلب الاهتزازات الجزيئية لتحديد البنية الجزيئية للمركبات المدروسة.

(2) الدراسة النظرية:

أكسيد الألمنيوم هو مركب كيميائي له الصيغة Al_2O_3 الشكل (1) ويطلق عليه أيضاً اسم ألومينا، يوجد على شكل نمطين يختلفان عن بعضهما في البنية البلورية، وبالتالي يختلفان أيضاً في الخصائص الفيزيائية والكيميائية بالإضافة إلى التطبيقات،

يتشكل أكسيد الألمنيوم من تسخين هيدروكسيد الألمنيوم إلى حوالي 400° فنحصل على مسحوق أبيض ناعم شغوف للرطوبة، ينحل في الحوامض يستخدم في الكروماتوغرافيا، في عمليات التجفيف، وفي إزالة ألوان المحاليل.



الشكل (1): البنية البلورية لأوكسيد الألمنيوم النقي

- مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

الأشعة تحت الحمراء هي أشعة كهرومغناطيسية لها كل خواص الضوء الأساسية والتي تتمثل بظواهر الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والانعراج والاستقطاب. وهي أشعة غير مرئية حرارية تنبعث من الشمس أو من منابع اصطناعية لها قدرة عالية على الاختراق والنفوذ وتنبعث كذلك من أجسامنا وترددها أقل من تردد الأشعة الحمراء في

استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أكسيد الألمنيوم النقي
والمشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%

الطيف الكهرومغناطيسي المرئي. حيث يقع طيف الأشعة تحت الحمراء بين الطيف
المرئي وطيف أشعة المايكروويف. وتنقسم إلى ثلاثة مناطق وهي على النحو التالي:

- الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR: وهي الأقرب إلى الأشعة المرئية وبالتحديد اللون
الأحمر وتقع ضمن المجال $[4000 - 12000] \text{ cm}^{-1}$.

- الأشعة تحت الحمراء البعيدة FIR: وهي الأقرب إلى أشعة المايكروويف وتقع ضمن
المجال

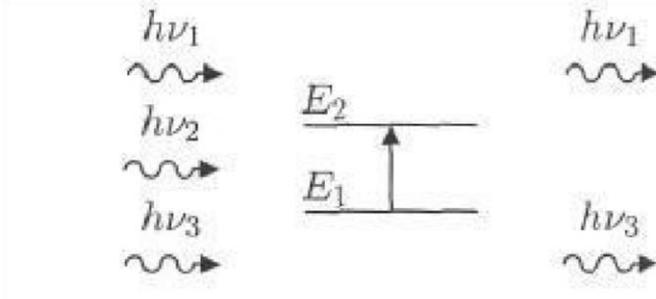
$[10 - 200] \text{ cm}^{-1}$.

- الأشعة تحت الحمراء الوسطى MIR: تقع بين المنطقتين السابقتين ضمن المجال
 $[200 - 4000] \text{ cm}^{-1}$.

إن أغلب التحليلات الطيفية تجري في المنطقة تحت الحمراء الوسطى $[200 - 4000] \text{ cm}^{-1}$ حيث أن هذه المنطقة تحدث فيها أغلب الاهتزازات الجزيئية لتحديد البنية
الجزيئية للمركبات المدروسة.

- مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

تهتز الجزيئات في الطبيعية في جميع الأنماط الاهتزازية، ولكن بسعات ضعيفة جداً ، مع
ذلك يملك الفوتون مركبة كهربائية جيبية ، إذا كان تواتر الفوتون يوافق تواتر اهتزاز
الأنماط العادية للجزيء، فإن الجزيء سوف يدخل في الرنين ويهتز بسعات كبيرة جداً ،
أو بعبارة أخرى الفوتون الذي طاقته تكون مساوية للطاقة الضرورية للجزيء حتى يمر من
حالة طاقة منخفضة إلى حالة مثارة يُمتص وتتحول طاقته إلى طاقة اهتزاز. كما في
الشكل(2).



الشكل (2) امتصاص الأشعة تحت الحمراء.

فقط الفوتون الذي طاقته $h\nu$ مساوية لطاقة الانتقال ($E_2 - E_1$) هو الذي يمتص وبالتالي يحدث خللاً في الإشعاع المنبعث. حيث يؤدي امتصاص بعض الفوتونات الواردة إلى ظهور خطوط توافق الفوتونات التي لم يتم انبعاتها في منحنى طيف ما تحت الحمراء للجزيء، ويميز هذا الامتصاص الروابط بين الذرات بما أن كل نمط اهتزاز يوافق حركة وحيدة للجزيء يوجد إذاً توافق مباشر بين تواتر الإشعاع الممتص وبنية الجزيء [5].

حيث تم قياس النفوذية T بدلالة التردد ν وتم حساب الامتصاصية A ومعامل الامتصاص α وعامل التخامد K وقرينة الانكسار n والناقلية الضوئية σ_{opt} :

1- النفوذية T : وتعرف بأنها النسبة بين شدة الإشعاع النافذ إلى شدة الإشعاع

الساقط ، وقد أخذت من الجهاز نفسه ومن ثم باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة تم حساب المعاملات الضوئية الأخرى .

2- الامتصاصية A : هي النسبة بين شدة الإشعاع الممتص إلى شدة الإشعاع

الساقط ، وتحسب من العلاقة [6]:

$$A = \log\left(\frac{100}{T\%}\right) = \log\left(\frac{1}{T}\right) \quad (1)$$

حيث T تمثل النفوذية .

استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%

3- معامل الامتصاص α : يعرف بأنه النسبة بين النقصان في فيض طاقة الإشعاع الساقط إلى واحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة الضوئية الساقطة داخل الوسط ، ويحسب من العلاقة [7]:

$$\alpha = 2.30 \frac{A}{d} \quad (2)$$

حيث A الامتصاصية ، d=1mm سمك المادة .

4- عامل التخميد k : يعرف بأنه كمية ما تمتصه الكثرونات المادة المدروسة من طاقة فوتونات الإشعاع الساقط عليها ، ويحسب من العلاقة [8]:

$$k = \frac{\alpha}{4\pi\nu} \quad (3)$$

5- قرينة الانكسار n : وهي النسبة بين سرعة الضوء في الخلاء إلى سرعته في الوسط ، وتحسب من العلاقة [9]:

$$n = \left(\frac{100 - T\%}{T\%} \right)^{1/2} \quad (4)$$

6- الطول الضوئي L : وهو مقلوب معامل الامتصاص [10]

$$L = \frac{1}{\alpha} \quad (5)$$

7- الناقلية الضوئية σ_{opt} : ترتبط الناقلية الضوئية بقرينة الانكسار وعامل التخميد وفقاً للعلاقة التالية [11]:

$$\sigma_{opt} = \frac{1}{30} nk\nu \quad (6)$$

هدف البحث:

يهدف هذا العمل إلى تحديد مجال ترددات الامتصاص أي ترددات عينات الاهتزاز لأطياف الأشعة تحت الحمراء IR لأوكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بالأوروبيوم 0.02% ، ومن ثم إيجاد الامتصاصية ، معامل الامتصاص ، عامل التخميد ، قرينة الانكسار، الطول الضوئي والناقلية الضوئية لتحسين المواصفات الفيزيائية لأوكسيد الألمنيوم .

مواد وطرق البحث :

تم استخدام المواد التالية في تحضير العينات:

- أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 (نسبة النقاوة 99%، الشركة TITAN BIOTECH LTD، المنشأ الهند).
- الأورويوم Eu (نسبة النقاوة 99% موقع أمازون للتسويق عبر الانترنت المنشأ ايطاليا).

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- 1- ميزان حساس نوع (SARTORIUS) ذو دقة مقدارها 10^{-4} gr موجود في كلية العلوم - قسم الفيزياء
- 2- هاون صغير من العقيق Gate Mortar.
- 3- فرن حراري ذو درجة حرارة عالية ($1200^{\circ}C$) مع منظم لدرجات الحرارة.

تحضير العينات:

- تحضر العينات بطريقة تفاعل الحالة الصلبة (Solid state reaction) حيث يتم مزج أوزان المساحيق المطلوبة لكل عينة وحسابها بطريقة الوزن الجزيئي وذلك للحصول على المركبات المطلوبة للدراسة حيث $Al_{1-x}Au_xO_3$; ($x=0.0-0.02$)
- ثم طحن هذه المواد في هاون عقيق طحناً جيداً ليصبح الخليط متجانس وتم غربلتها بغريال
- $90 \mu m$ ثم توضع في وعاء ونضيف الماء المقطر لزيادة عملية المزج ولتجانس المسحوق ، ثم نضعه على سخان لمدة 3 ساعات عند درجة الحرارة $100^{\circ}C$ يتم تحريكه الدوران تحصل عملية المزج والتجانس في المسحوق.
- بعد ذلك يوضع المسحوق على سخان بتماس مباشر مع الهواء فيتبخر الماء ثم نقوم بعملية تحميص أولية داخل الفرن (pre-sinter) وذلك لزيادة درجة تجانس المزيج حيث

استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%

نثبت درجة حرارة الفرن على الدرجة 700°C لمدة ثلاثة ساعات ثم نطفئ الفرن أي نوقف عملية التحميص ونترك العينة داخل الفرن حتى تبرد وتصل إلى درجة حرارة الغرفة وبذلك نتخلص من الماء الذي تبخر عند درجات الحرارة المرتفعة.

- نقوم بعد ذلك بطحن المسحوق الناتج عن عملية التحميص في مرحلتها الأولى ثم نجري عملية التحميص الثانية حيث نقوم بتثبيت درجة حرارة الفرن على درجة 100°C لمدة ساعة ثم نقوم برفع درجة الحرارة 50°C كل 15min حتى نصل لدرجة الحرارة 700°C حيث نثبت درجة حرارة الفرن عندها لمدة 3 ساعات لكي نحصل على البنية البلورية بشكلها الصحيح.

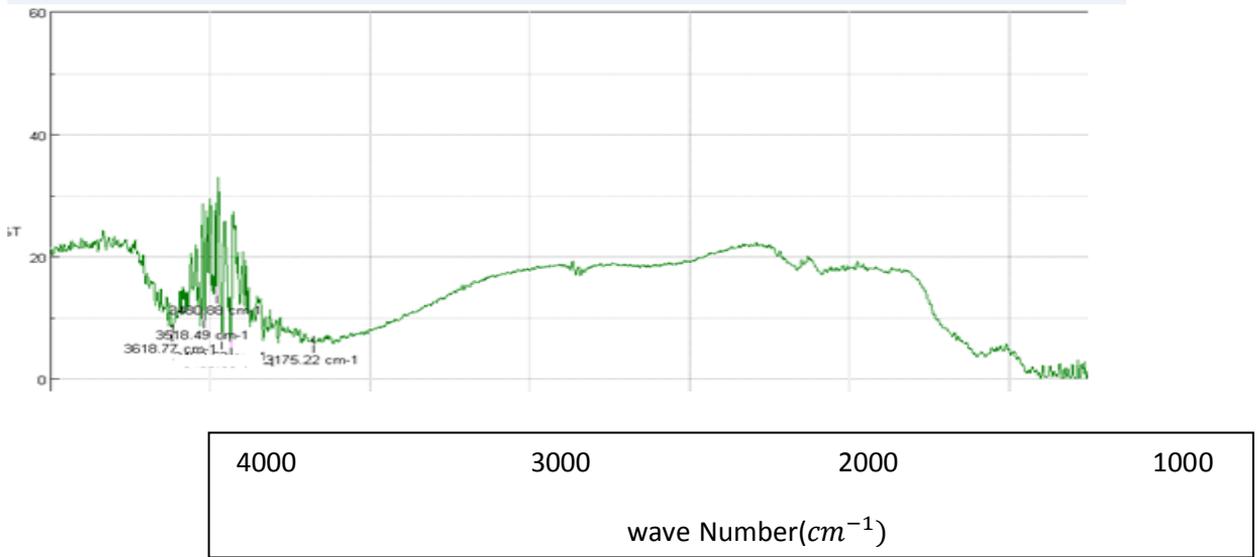
ولدراسة أطيف الأشعة تحت الحمراء استخدم جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء وهو جهاز بسيط مكوناته الأساسية هي مصدر للأشعة تحت الحمراء، وحامل للعينة وكاشف ويعتبر هذا الجهاز من أفضل الأجهزة الطيفية المستخدمة في التعرف على التركيب الكيميائي للمركبات، وهو موجود في كلية العلوم - جامعة تشرين يعمل ضمن المجال cm^{-1} [400 – 4000].

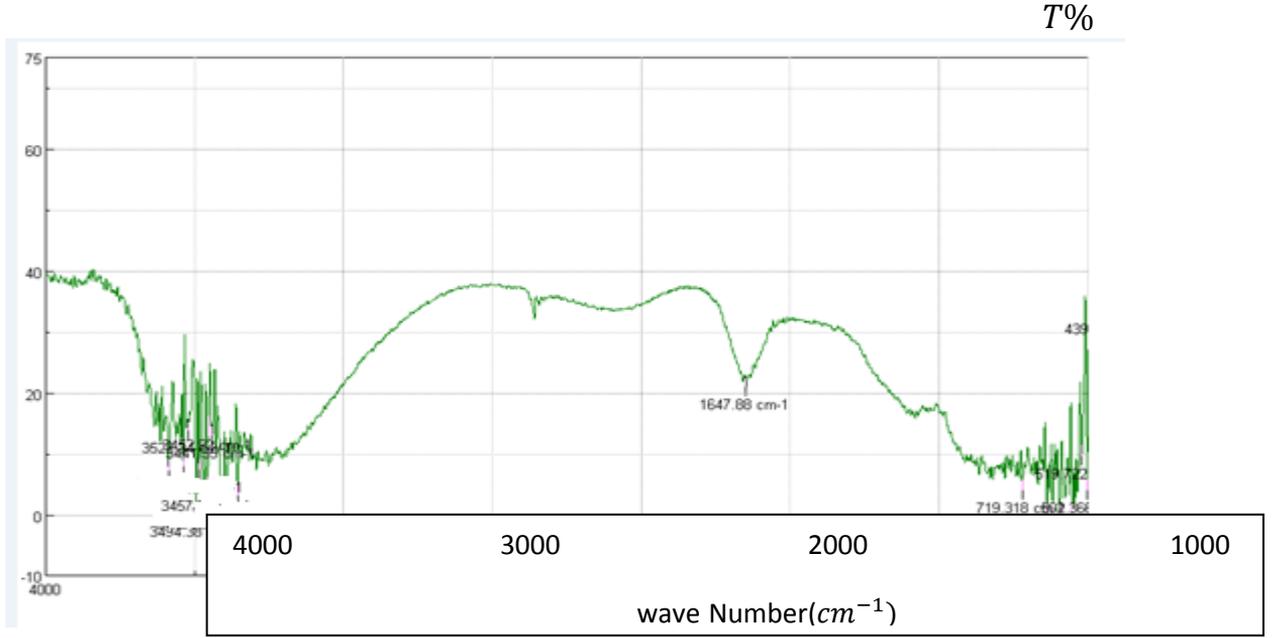
يتميز جهاز المطياف بأنه مرتبط بحاسوب آلي يقوم بتحليل الموجات المتجمعة على الكاشف وتخزين المعطيات ورسم الطيف الناتج عن الامتصاص ، أو يحدث انتقال اهتزازي للذرات بالنسبة لبعضها البعض في الجزيء مما يؤدي إلى تغير دوري في طول الروابط الكيميائية أو تغير في الزوايا بين الروابط الكيميائية في الجزيء. وقد تنتج كل حركة اهتزازية من حركة ذرتين أو قد تشمل مجموعة من الذرات المكونة له حيث يتعلق طول الموجة أو العدد الموجي الذي يحدث عنده هذا الامتصاص على عوامل عديدة منها كتلة الذرة ، قوة الروابط المكونة للجزيء والشكل الهندسي للذرات في الجزيء .

النتائج ومناقشتها :

تم قياس طيف IR لأوكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بأوروبيوم باستخدام مقياس الطيف asco نوع FT/IR-460 plus الموجود في المختبر المركزي لكلية العلوم - جامعة تشرين الذي يعمل ضمن المجال cm^{-1} [400 – 4000] .

$T\%$





الشكل (4): يمثل طيف FTIR لأكسيد القصدير المشاب بالأوروبيوم بنسبة (0.02%).

تم إجراء تحليل FTIR للعينات في درجة حرارة الغرفة $27^{\circ}C$ ضمن المجال $4000 - 400$ cm^{-1} حيث ظهرت بعض الحزم ضمن هذا المجال ومنها حزمة الامتصاص عند القمة الموافقة للعدد الموجي $3518cm^{-1}$ ، $1630cm^{-1}$ والتي تنتمي للنمط الاهتزازي لمجموعة الهيدروكسيل (vibration of hydroxyl group) وهذا يعود لامتصاص اهتزاز الماء، كما يظهر النمط الاهتزازي التمدد والانكماش (stretching vibrational mode) والذي ينتمي لمجموعة O-H [12]. كما تعتمد مواقع الحزم والقمم الامتصاصية على البنية البلورية للمادة والتركييب الكيميائي وأيضاً على مورفولوجيا المادة [13].

تم ايجاد مجموعة ترددات اهتزازية لأوكسيد الألمنيوم النقي تقع ضمن المجال العدد الموجي:

$$3523 - 3457 - 2450 - 1647) \text{ cm}^{-1} \text{ وهي: } [400 - 4000] \text{ cm}^{-1} \text{ (- 719)}.$$

كما تم ايجاد مجموعة ترددات اهتزازية لأوكسيد الألمنيوم المشوب بنسبة % 0.02 تقع ضمن المجال للعدد الموجي $[400 - 4000] \text{ cm}^{-1}$ وهي : (3511- 2880 - 2321 - 1690 - 1130) cm^{-1} .

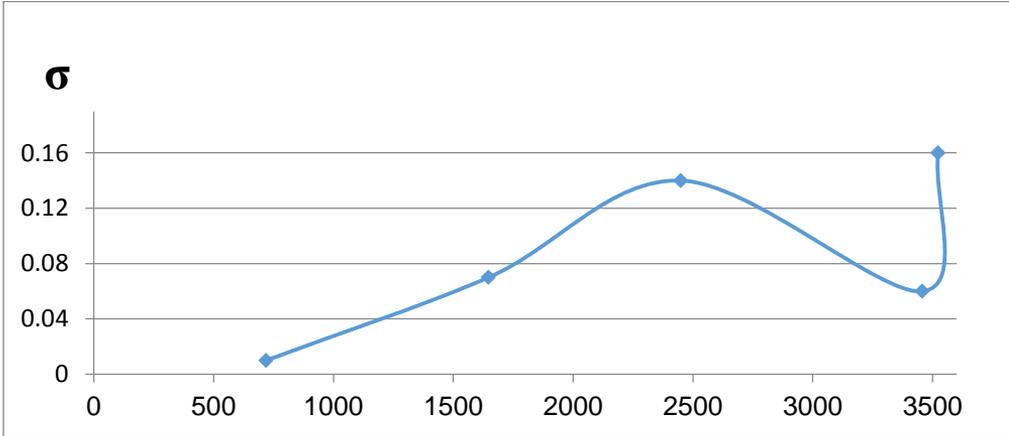
كما لوحظت قيمة امتصاصية عند حوالي التردد 3435 cm^{-1} تنتمي لمجموعة C-H وهذا يمكن أن يكون بسبب الامتزاز والتفاعل بين ذرات ثنائي أكسيد الكربون مع الماء خلال عملية التليد [14](sintering).

من طيف النفوذية بدلالة العدد الموجي المبين بالشكل (3) ثم حساب المقادير الفيزيائية لأوكسيد الألمنيوم النقي وهي الإمتصاصية ومعامل الإمتصاصية ومعامل التخماد، قرينة الانكسار، الطول الموجي، الناقلية الضوئية وهي مبينة بالجدول (1) **الجدول (1):** يبين تردد الاهتزازات لأوكسيد الألمنيوم النقي مع قيم النفوذية الموافقة لكل تردد، لامتصاصية ومعامل الامتصاص، عامل التخماد، قرينة الانكسار، الطول الضوئي والناقلية الضوئية.

ν	T%	n^2	A	n	$\alpha(\text{cm}^{-1})$	$K \times 10^{-4}$	L(cm)	nK ν	$\sigma_{opt}(\Omega. \text{cm})^{-1}$
3523	11	8,06	0,95	2,84	21,85	4,93	0,045	4,93	0,16
3457	2	43,56	1,69	6,60	38,87	0,89	0,025	2,03	0,06
2450	32	24,60	0,49	4,96	11,27	3,66	0,088	4,44	0,14
1647	22	3,53	0,65	1,88	14,95	7,22	0,066	2,23	0,07
719	1	98,80	2	9,94	46	0,50	0,021	0,35	0,01

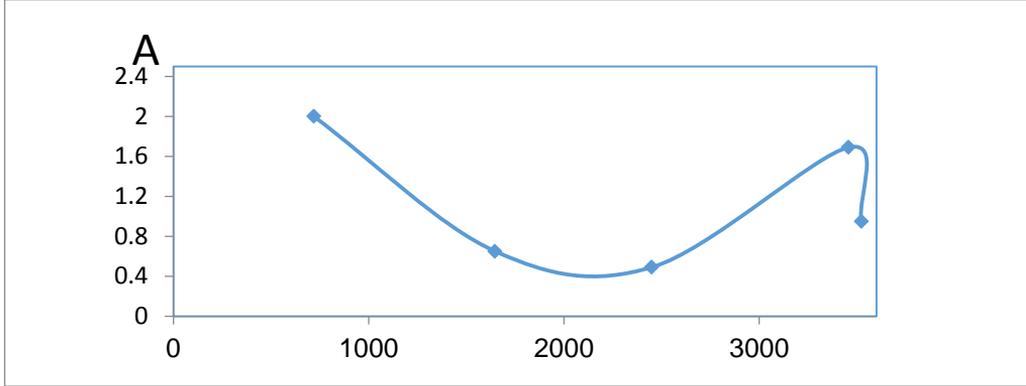
تم رسم تغيرات معامل الإمتصاص بدلالة العدد الموجي لأوكسيد الألمنيوم النقي كما في الشكل (5)

الشكل (5) يبين تغيرات معامل الامتصاص بدلالة العدد الموجي لأوكسيد الألمنيوم النقي
ولاحظنا بأن أكبر قيمة لمعامل الامتصاص كانت 46cm^{-1} المقابلة للعدد الموجي
 719cm^{-1} وأصغر قيمة لمعامل الامتصاص 11.27cm^{-1} المقابل
للعدد الموجي 2450cm^{-1}
كما تم رسم تغيرات الناقلية الضوئية بدلالة العدد الموجي لأوكسيد الألمنيوم النقي كما في
الشكل (6)



الشكل (6) يبين دراسة تغيرات الناقلية σ_{OPT} بدلالة العدد الموجي لأوكسيد الألمنيوم
النقي

حيث لاحظنا بأن أكبر قيمة للناقلية كانت $0.16 (\Omega. \text{cm})^{-1}$ المقابلة للعدد الموجي
 3523 وأصغر قيمة للناقلية $0.01 (\Omega. \text{cm})^{-1}$ المقابل للعدد الموجي 719



الشكل (7): تغيرات الامتصاصية بدلالة العدد الموجي لمسحوق أكسيد الألمنيوم النقي

وتم دراسة تغيرات الامتصاصية بدلالة العدد الموجي كما في الشكل (7) حيث نلاحظ أن الامتصاصية في العينة النقية تتراوح ما بين [0.49 - 2] ان أكبر قيمة للامتصاصية كانت 2 المقابلة للتردد 719 وأصغر قيمة للامتصاصية 0.49 المقابل للتردد 2450.

بعد اشابة أكسيد الألمنيوم بعنصر الأوروبيوم بنسبة (0,02%) ثم قياس طيف النفوذية T بدلالة التردد الاهتزازي كما في الشكل (4) حيث تم حساب المقادير الفيزيائية لأوكسيد الألمنيوم المشاب بالأوروبيوم 002% ممثلة بالامتصاصية ومعامل الإمتصاص وعامل التخامد وقرينة الإنكسار والطول الموجي والناقلية الضوئية للترددات الموافقة. وهو موضح في الجدول (2).

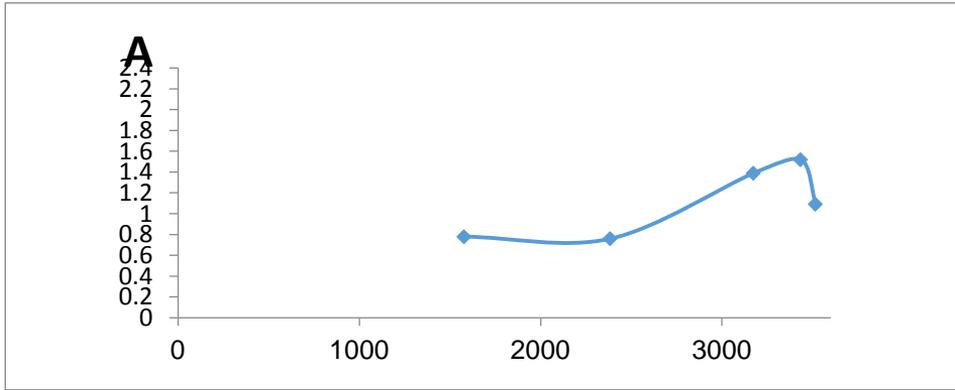
الجدول (2): يبين تردد الاهتزازات لأوكسيد الألمنيوم المشاب بالأوروبيوم بنسبة (0.02%) مع قيم النفوذية الموافقة لكل تردد، الامتصاصية ومعامل الامتصاص، عامل التخامد، قرينة الانكسار، الطول الضوئي والناقلية الضوئية.

ν	T%	n^2	A	n	$\alpha(cm^{-1})$	$K \times 10^{-4}$	L(cm)	nKv	$\sigma_{opt}(\Omega.cm)^{-1}$
3610	19	4.26	0.72	2.06	16.56	3.60	0.060	2.67	0.089
3185	11	8.09	0.95	2.84	21.85	5.38	0.045	4.86	0.162
2760	23	3.34	0.63	1.82	14.49	4.12	0.069	2.06	0.068

استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أكسيد الألمنيوم النقي والمشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%

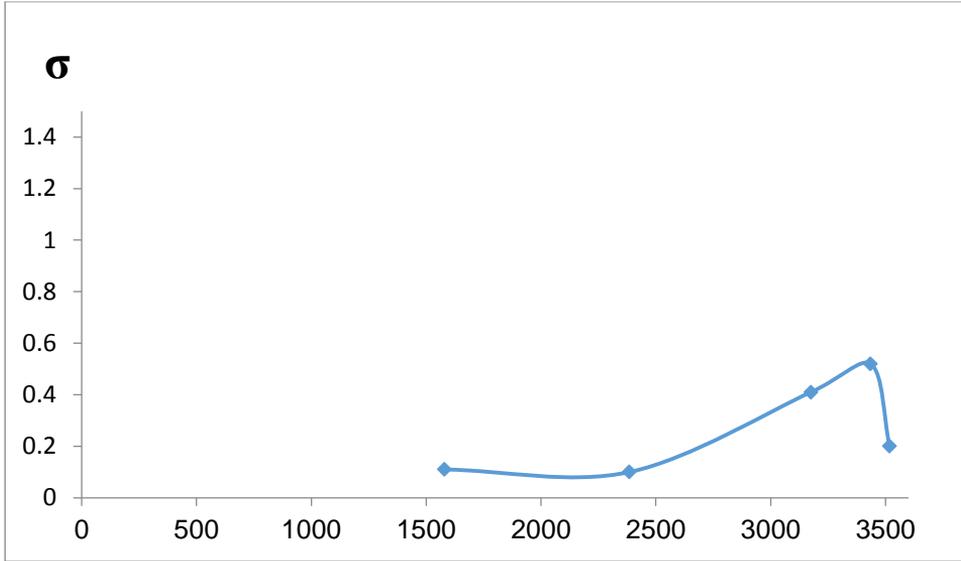
1589	26	2.84	0.58	1.68	13.34	6.59	0.074	1.75	0.058
1160	9	10.11	1.04	3.17	23.92	16.19	0.041	5.95	0.198

وتم دراسة تغيرات الامتصاصية بدلالة العدد الموجي لمسحوق أكسيد الألمنيوم المشاب بالأوروبيوم موضحا" ذلك بالشكل (8) حيث نلاحظ أن الامتصاصية في العينة النقية تتراوح ما بين [0.58 – 1.04] ان أكبر قيمة للامتصاصية كانت 1.04 المقابلة للعدد الموجي 1160 وأصغر قيمة للامتصاصية 0.58 المقابل للعدد الموجي 1589

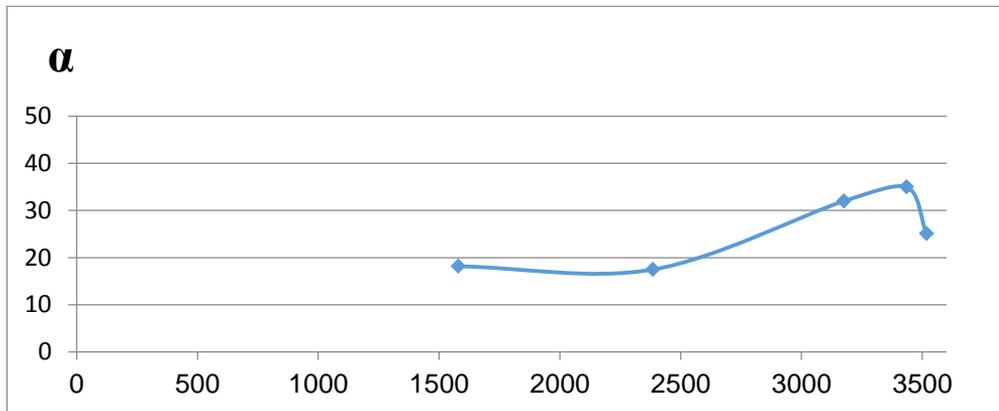


الشكل (8): تغير الامتصاصية بدلالة العدد الموجي لمسحوق أكسيد الألمنيوم المشاب بالأوروبيوم.

يبين الشكل (9) تغيرات الناقلية σ_{opt} بدلالة العدد الموجي للعينة المشابة وإن أكبر قيمة للناقلية كانت $0.28(\Omega. cm)^{-1}$ المقابلة للعدد الموجي 3511 وأصغر قيمة للناقلية $0.062(\Omega. cm)^{-1}$ المقابل للعدد الموجي 1130



الشكل (9) يبين دراسة تغيرات الناقلية σ_{OPT} بدلالة العدد الموجي لأوكسيد الألمنيوم المشوب بالأوروبيوم .



الشكل (10) يبين تغيرات معامل الإمتصاص بدلالة العدد الموجي لأوكسيد الألمنيوم المشوب

وتم دراسة تغيرات معامل الإمتصاص العدد الموجي كما في الشكل (10) ولاحظنا بأن أكبر قيمة لمعامل توهين كانت 28.06cm^{-1} المقابلة العدد الموجي 3511 وأصغر قيمة لمعامل التوهين

13.80 cm^{-1} المقابل العدد الموجي 1130.

نستنتج من الأشكال 6-8-9-10 بازدياد معامل الامتصاصية -تغيرات الناقلية -تغيرات الامتصاصية بازدياد التردد الاهتزازي وربما يعود ذلك الى تأثير الاشعاع على طبيعة المادة .

الاستنتاجات:

1. أظهر طيف FTIR لأكسيد الألمنيوم النقي بعض ترددات اهتزازية تقع ضمن المجال $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ وهي : $3523 - 3457 - 2450 - 1647 - 719 \text{ cm}^{-1}$
2. أظهر طيف FTIR لأكسيد الألمنيوم المشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02% ترددات اهتزازية تقع ضمن المجال $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ أبرزها :
3. $1130 - 1690 - 2321 - 2880 - 3511 \text{ cm}^{-1}$.
4. قيمة الامتصاصية بالنسبة للعينة النقية تتراوح ضمن المجال $[2 - 0.49]$ وبالنسبة للعينة المشابة فإن قيمة الامتصاصية تتراوح ضمن المجال $[1.22 - 0.60]$.
5. قيمة معامل الامتصاص تتراوح ضمن المجال للعينة النقية - $46 - 11.27 \text{ cm}^{-1}$.
6. قيمة قرينة الانكسار بالنسبة للعينة النقية تتراوح ضمن المجال $[1.88 - 9.94]$.

7. قيمة الطول الضوئي L بالنسبة للعينة النقية تتراوح ضمن المجال cm [0.021- 0.088]، وبالنسبة للعينة المشابهة فإن قيمة الطول الضوئي تتراوح ضمن المجال cm [0.035 – 0.072] .
8. قيمة الناقلية الضوئية σ_{opt} بالنسبة للعينة النقية تتراوح ضمن المجال $(\Omega cm)^{-1}$ [0.001 – 0.16]، وبالنسبة للعينة المشابهة فإن قيمة الناقلية الضوئية تتراوح ضمن المجال $(\Omega cm)^{-1}$ [0.062 – 0.28] .
9. أكبر قيم للإمتصاصية و معامل الامتصاص و قرينة الانكسار والطول الضوئي كانت أكبر في العينة المشابهة بالأوروبيوم بنسبة 0.02% المقابل للعددالموجي $3511cm^{-1}$.
10. أكبر قيم الإمتصاصية وقرينة الانكسار ومعامل الإمتصاص كان في العينة النقية من أجل العددالموجي $719 cm^{-1}$.

Reference:

- [1]- SICILIANO.P, 2000,Preparation characterization and applications of thin films for gas sensors prepared by cheap chemical method Sensors and Actuators B:chemical, Vol. 70, N°.1,p153-164.
- [2]- BURST. J. M, 2010,Permittivity-Engineered Transparent Conducting Tin Oxide Thin Films: From Deposition To Photovoltaic Applications,these de doctorate.
- [3]- GORDON.Roy G,2000, Criteria for Choosing Transparent Conductors, MRS Bulletin, Vol. 25, N°.8, p52-57.
Growth, Vol.268.
- [4]- ROUESSAC.F, ROUESSAC,A,2004,
Analyse Chimique Méthodes et Techniques Instrumentals Modernes,
Dunod, Paris.
- [5]- MAGET.V,2005, Développement de Méthodes de traitement de signaux spectroscopiques: estimation de linge de base et du spectre de raie, Univ Henri Poicré.
- [6]- SAKNI.L ,2017, Studying the structural of Fe doped tin oxide ,
Master thesis , Alwadi university.
- [7]- ALJAWAD,S. et al 2016, studying effect of doping on the structural and optical properties of tin oxide thin films , journal of engineering and technology, Vol.34.
- [8]- Mansour.M, 2012, studying the structural and optical properties of ZnO:Cu thin films by APCVD method , Vol.5.
- [9]- Zaid.A , 2012 ,studying the structural and optical properties of NiO thin films ,Master thesis, Dyala university , Iraq.
- [10]- FAISAL.M, et al,2015, SnO₂ doped ZnO nanostructures for highly efficient photocatalyst,Journal of Molecular catalysis A:chemical,Vol.39,pp.19-25.

- [11]-SALEH.S.A,Et al, 2016,Structural and Optical Properties of Nanostructured Fe-Doped SnO₂,Acta Physica Polonica A,Vol.129,PP.1220-1225.
- [12]- GNANAM.S, RAJENDRAN.V,2010, Preparation of Cd-doped SnO₂ nanoparticles by sol-gel route and their optical properties, Journal of Sol-Gel Science and Technology, Vol.56, pp. 128-133.
- [13]- Sharma.A,et al.,2012, Magnetic Properties of Fe and Ni Doped SnO₂ Nanoparticles, Nanomaterials and Nanotechnology, vol.1.
- [14]- Mohamed. S.H.,et al.,2012,SnO₂ dendrites-nanowires for optoelectronic and gas sensing applications, vol. 510, pp119-124.

استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في حساب بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات أكسيد الألمنيوم النقي
والمشاب بالأوروبيوم بنسبة 0.02%

الشروط المقاربة والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E- N:6) بوجود حمول حجمية ومصادر حرارية

حسام شقوف ‡

د. منتجب الحسن †

ملخص البحث:

يتعلق البحث بالنموذج الرياضي للجسم الصلب دقيق الاستقطاب ذي ست درجات حرية (ثلاث إزاحات وثلاثة توجهات مستقلة عن هذه الإزاحات) والتماتل المناحي والمتجانس والمعين بستة ثوابت مادية، وذي التشوهات الصغيرة، ويشغل في لحظة البدء، منطقة ثنائية الترابط، محدودة في الفضاء الإقليدي R^3 ، والمدرّوس من قبل الباحثين Eringen [2] و Nowacki [1]، والذي اختصاراً سنرمز له بالرمز (E-N:6). فيه هذا البحث، تم أولاً، كتابة نموذج لامي الرياضي للجسم المذكور بوجود حقلي قوى حجمية وعزوم حجمية وحقل مصادر حرارية. بعدها باستخدام طريقة كمونات نوفاتسكي المكتوبة بتقنية إغانتشاك- ديشليفيتش، تم كتابة المسألة لأجل الجزء الكموني والجزء الدوار لحقلي الإزاحات والدورانات ولأجل الحقل الحراري. وباقتراض أن كافة المسببات والنتائج تتغير توافقاً مع الزمن ويتردد ($\omega > 0$)، كتبنا المعادلات الموافقة، لأجل ساعات:الجزء الكموني والجزء الدوار لكلٍ من حقلي الإزاحات والدورانات، ولأجل سعة الحقل الحراري. بعدها تم عرض مبرهنين هامتين من أجل مؤثر هيلمهولتز البسيط ومن أجل جداء مؤثري هيلمهولتز البسيطين. في النهاية تمت مناقشة الشروط المقاربية من نوع Sommerfeld [3] للجزء الكموني والجزء الدوار لسعات الإزاحات والدورانات وكذلك لسعة

† أستاذ في قسم الرياضيات - كلية العلوم - جامعة البعث.

‡ طالب ماجستير في قسم الرياضيات - كلية العلوم - جامعة البعث.

الكلمات المفتاحية: الشروط المقاربية من نمط سومرفيلد لحل الجسم المرن دقيق الاستقطاب، بوجود حمول حجمية ومصادر حرارية.

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

الحرارة، واستنتجنا التمثيلات التكاملية المقابلة لهذه الشروط. وتم انتهاء البحث بعدد من المسائل للمناقشة.

The radiation conditions and the corresponding integral representation for the solution of the micropolar elastic body with no vanishing body loads and heat source harmonically varying in time

Dr. Mountajab Al-Hasan [†]

&

Husam Shakkouf [‡]

Abstract

This paper concerns the mathematical, linear model of elastic, homogeneous and isotropic micropolar body, of considerable microstructure and of infinitesimal elastic and microelastic deformations, and of sixth material constants in the frame of the linear theory of micropolar elasticity; proposed by Eringen [2] and Nowacki [1], and shortly called (E-N:6). In this paper, first we introduce the mathematical Lamé model for the considerable body in the case of the body loads and heat sources existence. Then, by using the Nowaki's potential method of Ignaczak-Dyzlewicz technique, we write the problem for the potential and rotational parts of the displacement and rotation vector fields and for the temperature field. Next, by assuming that all the causes and conclusions varying harmonically in time with frequency ($\omega > 0$) we derive the corresponding equations for the amplitudes of the potential and rotational parts of the displacement and rotation vector fields and for the amplitude of the temperature field. Then, we introduce two important theorems for the simple and double Helmholtz differential operator. Next, we discuss the Sommerfeld radiation conditions for the amplitudes of the potential and rotational parts of the displacement and rotation vector fields and for the amplitude of the temperature field, and we conclude the corresponding integral representations for these amplitudes. Finally, we end the paper by suggesting several problems for discussion.

[†] Professor At Department of Mathematics – Faculty of Science – Al-Baath University.

[‡] PH.D Student in Department of Mathematics – Faculty of Science – Al-Baath University.

Key words: The Sommerfeld radiation conditions for the solution of micropolar elastic body with no vanishing body loads and heat sources.

1. مقدمة :

قام العديد من الباحثين مثل Kupradse و Ignaczak وغيرهم باستنتاج الشروط المقاربية من نوع Sommerfeld للحل الموافق لجسم Hooke المرن والمتجانس والمتماثل المناحي المرنة وذلك في حال انعدام الحمل الحجمية [4,10]. بعدها قام نفس الباحث Ignaczak بمناقشة ذلك للحالة الحرارية للجسم في حالة انعدام الحمل حجمية والمصادر الحرارية. وفي [5,6] تم استنتاج الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية للحل لأجل جسم Hooke المرن المتجانس، والمتماثل المناحي، ولأجل الجسم المرن الاستقطابي، المتجانس والمتماثل المناحي من نوع Koiter-Mindlin، وذلك عندما تكون الحمل الحجمية متغيرة توافقياً مع الزمن. عودة لعام 2001 فقد تم في [8]، استنتاج الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة لأجل الحل للجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) المتجانس والمتماثل المناحي، في حال غياب الحمل الحجمية والمصادر الحرارية.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى مناقشة الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة لأجل الحل للجسم (E-N:6) المتجانس والمتماثل المناحي، بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية، متغيرة توافقياً مع الزمن.

3. أهمية البحث:

استنتاج معادلات الحل للجسم المعتبر بشكل أقل تعقيدا وهو ما يمكن الاستفادة منه في مخبر صناعات المواد

4. طرق لبحث:

سنستنتج الشروط المقاربية للحل للجسم المعتبر والتمثيلات التكاملية الموافقة وذلك باتباع تعميم للطريقة المستخدمة في [8]. لهذا الغرض نعتبر الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) المتجانس والمتماثل المناحي وذو ستة ثوابت مادية $(\mu > 0, \lambda > 0, \alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \varepsilon > 0)$ والذي حالته اللاغرانجية Ω المنطقة بسيطة الترابط وغير محدودة $\Omega := R^3 - N(O, a)$ حيث $N(O, a)$ هي الكرة المفتوحة في R^3 ، ذات المركز O ، ونصف القطر a . كما سنفترض أن كافة المقاطع التنسورية

الفيزيائية التي تصف الحالة الترموديناميكية للجسم تملك مركبات ملاءم بالقدر الكافي، تتبع لنقاط Ω وللزمن t . فيما يلي من أجل متطلبات البحث سنعرض معادلات Lamé للجسم (E-N:6) ومعادلات كمونات Nowacki-Ignaczak-Dyzlewicz، الموافقة، والمعادلات المستقلة المتعلقة بها [8,11].

(أ) إن معادلات Lamé الترموديناميكية للجسم المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6)، هي جملة المعادلات الاشتقاقية، الجزئية التالية، المحققة في $\Omega \times]0, \infty[$:

$$\square_2 \hat{\mathbf{u}} + (\lambda + \mu - \alpha) \mathbf{grad} \mathbf{div} \hat{\mathbf{u}} + 2\alpha \mathbf{curl} \hat{\boldsymbol{\phi}} - \nu_T \mathbf{grad} \hat{\boldsymbol{\theta}} + \hat{\mathbf{X}} = \mathbf{0} \quad (3.1)$$

$$\square_4 \hat{\boldsymbol{\phi}} + (\beta + \gamma - \varepsilon) \mathbf{grad} \mathbf{div} \hat{\boldsymbol{\phi}} + 2\alpha \mathbf{curl} \hat{\mathbf{u}} + \hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{0} \quad (3.2)$$

$$\mathbf{D} \hat{\boldsymbol{\theta}} - \eta_0 \mathbf{div} \hat{\mathbf{u}} = -\frac{\hat{\mathbf{Q}}}{\kappa} \quad (3.3)$$

حيث: $\square_2 = (\mu + \alpha) \bar{\nabla}^2 - \rho \partial_t^2$ و $\square_4 = (\gamma + \varepsilon) \bar{\nabla}^2 - 4\alpha - J \partial_t^2$ و $\bar{\nabla}^2$ هو مؤثر Laplace المتجهي؛ الذي يعطى بالعلاقة: $\bar{\nabla}^2 = \mathbf{grad} \mathbf{div} - \mathbf{curl} \mathbf{curl}$ ، المؤثر: $\mathbf{D} = \nabla^2 - \frac{1}{\kappa} \partial_t$ ، حيث: $\nabla^2 = \mathbf{div} \mathbf{grad}$ هو مؤثر Laplace السلمي، ∂_t المشتق الجزئي الزمني الأول؛ $\partial_t^2 = \partial_t \partial_t$ ، رمز النقطة، أيضاً يدل على المشتق الجزئي الزمني الأول، الرمزان: ρ و J ، على الترتيب، يرمزان للكتلة الحجمية، والعتالة الدورانية للجسم المعتبر، وهما مقداران ثابتان كون الجسم متجانس، كما أنهما موجبان. فيما سبق الرمزان $\hat{\mathbf{u}}$ و $\hat{\boldsymbol{\phi}}$ ، على الترتيب، يدلان على مقطع الإزاحة ومقطع التوجه، المتجهيان، الرمز: $\hat{\boldsymbol{\theta}} = T - T_0$ هو المقطع الحراري، والذي يدل على تغير الحرارة المطلقة T عن حرارة الحالة الطبيعية: T_0 للجسم. إضافة لما تقدم ذكره، الرمزان: $\hat{\mathbf{X}}$ و $\hat{\mathbf{Y}}$ ، على الترتيب، هما مقطع القوة الحجمية ومقطع العزم الحجمي، المتجهيان. الرمز: $\hat{\mathbf{Q}}$ هو مقطع المصادر الحرارية السلمي. الرمز: $\nu_T = (2\mu + 3\lambda) \alpha_T$ ، حيث: α_T هو معامل التمدد الخطي الحراري للجسم، الرمزان: $\kappa = \lambda_0 / c_\varepsilon$ ، $\eta_0 = \nu_T T_0 / \lambda_0$ ، حيث: λ_0 هو معامل التوصيل الحراري للجسم و c_ε هي الحرارة النوعية للجسم خلال تشوه ثابت له، كما أن: كما أن: $\nu_T / \eta_0 > 0$ ، $\kappa > 0$. فيما يلي سنعتمد مبرهنة Stokes-Helmholtz التالية، المكتوبة بتقنية Ignaczak-Dyzlewicz [11].

مبرهنة: إذا كان \vec{U} مقطوعاً متجهياً معرفاً ومستمرّاً في المنطقة بسيطة الترابط Ω

عندئذ يمكن كتابة هذا المقطع بالشكل التالي: $\mathbf{u} = \mathbf{u}_{(p)} + \mathbf{u}_{(s)}$

$$\text{div } \mathbf{u}_{(s)} = 0, \quad \text{curl } \mathbf{u}_{(p)} = \mathbf{0} \quad \text{حيث:}$$

بهذا الشكل يمكن كتابة المقاطع المتجهية المجهولة: $\hat{\mathbf{u}}, \hat{\boldsymbol{\phi}}$ والمعلومة: $\hat{\mathbf{X}}, \hat{\mathbf{Y}}$ بالشكل التالي في $]\Omega \times 0, \infty[$:

$$\hat{\mathbf{u}} = \hat{\mathbf{u}}_{(p)} + \hat{\mathbf{u}}_{(s)}, \quad \hat{\boldsymbol{\phi}} = \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} + \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} \quad (3.4)$$

$$\hat{\mathbf{X}} = \hat{\mathbf{X}}_{(p)} + \hat{\mathbf{X}}_{(s)}, \quad \hat{\mathbf{Y}} = \hat{\mathbf{Y}}_{(p)} + \hat{\mathbf{Y}}_{(s)} \quad (3.5)$$

حيث:

$$\text{curl } \hat{\mathbf{u}}_{(p)} = \mathbf{0}, \quad \text{curl } \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} = \mathbf{0}, \quad \text{div } \hat{\mathbf{u}}_{(s)} = 0, \quad \text{div } \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} = 0$$

$$\text{curl } \hat{\mathbf{X}}_{(p)} = \mathbf{0}, \quad \text{curl } \hat{\mathbf{Y}}_{(p)} = \mathbf{0}, \quad \text{div } \hat{\mathbf{X}}_{(s)} = 0, \quad \text{div } \hat{\mathbf{Y}}_{(s)} = 0$$

وللحصول، الآن، على معادلات تحريك الجسم بكمونات Nowacki تقنية Ignaczak وDyzlewicz، نتبع الآتي [11]. نعوض (3.4) و(3.5) في (3.1) و(3.2) و(3.3)، فنحصل على المعادلات التالية المحققة في $]\Omega \times 0, \infty[$:

$$\square_2 \hat{\mathbf{u}}_{(p)} + (\lambda + \mu - \alpha) \text{grad div } \hat{\mathbf{u}}_{(p)} - \nu_T \text{grad } \hat{\boldsymbol{\theta}} + \quad (3.6)$$

$$+ \square_2 \hat{\mathbf{u}}_{(s)} + 2\alpha \text{curl } \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} = -\hat{\mathbf{X}}_{(p)} - \hat{\mathbf{X}}_{(s)},$$

$$\square_4 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} + (\beta + \gamma - \varepsilon) \text{grad div } \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} + \square_4 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} + \quad (3.7)$$

$$+ 2\alpha \text{curl } \hat{\mathbf{u}}_{(s)} = -\hat{\mathbf{Y}}_{(p)} - \hat{\mathbf{Y}}_{(s)},$$

$$D \hat{\boldsymbol{\theta}} - \eta_0 \text{div } \hat{\mathbf{u}}_{(p)} = -\frac{\hat{Q}}{\kappa} \quad (3.8)$$

$$\text{grad div } \hat{\mathbf{u}}_{(p)} = \vec{\nabla}^2 \hat{\mathbf{u}}_{(p)}, \quad \text{grad div } \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} = \vec{\nabla}^2 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} \quad \text{بما أن:}$$

تصبح المعادلتان (3.6) و(3.7) بالشكل التالي في $]\Omega \times 0, \infty[$:

$$\square_1 \hat{\mathbf{u}}_{(p)} - \nu_T \text{grad } \hat{\boldsymbol{\theta}} + \square_2 \hat{\mathbf{u}}_{(s)} + 2\alpha \text{curl } \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} = -\hat{\mathbf{X}}_{(p)} - \hat{\mathbf{X}}_{(s)}, \quad (3.9)$$

$$\square_3 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} + \square_4 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} + 2\alpha \text{curl } \hat{\mathbf{u}}_{(s)} = -\hat{\mathbf{Y}}_{(p)} - \hat{\mathbf{Y}}_{(s)}, \quad (3.10)$$

$$\text{حيث: } \square_1 = (\lambda + 2\mu) \vec{\nabla}^2 - \rho \partial_t^2, \quad \square_3 = (\beta + 2\gamma) \vec{\nabla}^2 - 4\alpha - J \partial_t^2$$

ولنلاحظ الآن الآتي. نتحقق المعادلات (3.9) و(3.10) و(3.8)، إذا تحققت المعادلات المتجهية التالية في $[\Omega \times]0, \infty[$:

$$\begin{aligned} \square_1 \hat{\mathbf{u}}_{(p)} - \nu_T \mathbf{grad} \hat{\theta} &= -\hat{\mathbf{X}}_{(p)}, \quad D \hat{\theta} - \eta_0 \mathbf{div} \hat{\mathbf{u}}_{(p)} = -\frac{\hat{Q}}{\kappa}, \\ \square_3 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} &= -\hat{\mathbf{Y}}_{(p)}, \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\square_2 \hat{\mathbf{u}}_{(s)} + 2\alpha \mathbf{curl} \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} = -\hat{\mathbf{X}}_{(s)}, \quad \square_4 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} + 2\alpha \mathbf{curl} \hat{\mathbf{u}}_{(s)} = -\hat{\mathbf{Y}}_{(s)}$$

نسمي المعادلات (3.11) بمعادلات كمونات Nowacki وتقنية Ignaczak و Dyzlewicz للجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6). إن المعادلتين الأولى والثانية في (3.11) هما جملة معادلتين بالمجهولين $\hat{\mathbf{u}}_{(p)}$ و $\hat{\theta}$ ، والمعادلة الثالثة في (3.11) هي معادلة مستقلة ب $\hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)}$ ، أما المعادلتين الأخيرتين في (3.11) فهما جملة معادلتين بالمجهولين $\hat{\mathbf{u}}_{(s)}$ و $\hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)}$. فيمالي من أجل متطلبات البحث، سنفصل المعادلات المرتبطة السابقة.

أولاً: فصل جملة المعادلتين $_{1,2}$ (3.11): لهذا الغرض نضع:

$$\square_1 = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 - \rho \partial_t^2, \quad \mathbf{D} = \bar{\nabla}^2 - \frac{1}{\kappa} \partial_t, \quad (3.12)$$

$$\mathbf{D}_2 = \square_1 \mathbf{D} - \eta_0 \nu_T \partial_t \bar{\nabla}^2, \quad D_2 = \square_1 D - \eta_0 \nu_T \partial_t \nabla^2$$

بتطبيق المؤثر \mathbf{D} على طرفي المعادلة $_1$ (3.11) والمؤثر \square_1 على طرفي المعادلة $_2$ (3.11) وبالأخذ بعين الاعتبار أن:

$$\mathbf{div} \square_1 = \square_1 \mathbf{div}, \quad \mathbf{Dgrad} = \mathbf{grad} \mathbf{D} \quad (3.13)$$

من ثم بالاستفادة من المعادلتين $_{1,2}$ (3.11) مرة أخرى، نحصل بعد التبسيط والاختصار على المعادلتين المستقلتين التاليتين، المحققتين في $[\Omega \times]0, \infty[$:

$$\mathbf{D}_2 \hat{\mathbf{u}}_{(p)} = -\mathbf{D} \hat{\mathbf{X}}_{(p)} - \frac{\nu_T}{\kappa} \mathbf{grad} \hat{Q}, \quad D_2 \hat{\theta} = -\frac{1}{\kappa} \square_1 \hat{Q} - \eta_0 \partial_t \mathbf{div} \hat{\mathbf{X}}_{(p)} \quad (3.14)$$

وهما المعادلتان المستقلتان من أجل كل من $\hat{\mathbf{u}}_{(p)}$ و $\hat{\theta}$ ، والمحققتان في $[\Omega \times]0, \infty[$.

ثانياً: فصل جملة المعادلتين $_{4,5}$ (3.11): لهذا الغرض نطبق المؤثر \mathbf{curl} على كلتا المعادلتين الأخيرتين في (3.11)، نحصل على المعادلتين التاليتين في $[\Omega \times]0, \infty[$:

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\square_2 \mathbf{curl} \hat{\mathbf{u}}_{(s)} - 2\alpha \bar{\nabla}^2 \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} = -\mathbf{curl} \hat{\mathbf{X}}_{(s)}, \quad \square_4 \mathbf{curl} \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} - 2\alpha \bar{\nabla}^2 \hat{\mathbf{u}}_{(s)} = -\mathbf{curl} \hat{\mathbf{Y}}_{(s)}$$

الآن، بتطبيق المؤثر \square_4 على المعادلة الرابعة في (3.11)، والمؤثر \square_2 على المعادلة

الخامسة في (3.11)، من ثم بالاستفادة من المعادلتين السابقتين، نحصل بعد الاختصار

والتبسيط على المعادلتين المستقلتين التاليتين المحققتين في $[\infty, 0] \times \Omega$:

$$(\square_2 \square_4 + 4\alpha^2 \bar{\nabla}^2) \hat{\mathbf{u}}_{(s)} = -\square_4 \hat{\mathbf{X}}_{(s)} + 2\alpha \mathbf{curl} \hat{\mathbf{Y}}_{(s)} \quad (3.15)$$

$$(\square_2 \square_4 + 4\alpha^2 \bar{\nabla}^2) \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} = 2\alpha \mathbf{curl} \hat{\mathbf{X}}_{(s)} - \square_2 \hat{\mathbf{Y}}_{(s)} \quad (3.16)$$

ومن أجل متطلبات البحث أيضاً، نلزمنا دراسة الحالة الخاصة التالية؛ المسماة بالحالة

التوافقية، حيث المسببات والنتائج تتغير توافقياً مع الزمن بتردد $\omega > 0$. في هذه الحالة،

تأخذ المسببات الشكل التالي في $[\infty, 0] \times \Omega$:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{X}}_{(p)} &= \mathbf{X}_{(p)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} & \hat{\mathbf{Y}}_{(p)} &= \mathbf{Y}_{(p)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} \\ \hat{\mathbf{X}}_{(s)} &= \mathbf{X}_{(s)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} & \hat{\mathbf{Y}}_{(s)} &= \mathbf{Y}_{(s)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\hat{\mathbf{Q}} = \mathbf{Q}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t}$$

وتأخذ النتائج الشكل التالي في $[\infty, 0] \times \Omega$:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{u}}_{(p)} &= \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} & \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(p)} &= \boldsymbol{\phi}_{(p)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} \\ \hat{\mathbf{u}}_{(s)} &= \mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} & \hat{\boldsymbol{\phi}}_{(s)} &= \boldsymbol{\phi}_{(s)}(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t} \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\hat{\theta} = \theta(\mathbf{x}) e^{-i\alpha t}$$

وعندئذٍ تأخذ المعادلات السابقة الشكل التالي في Ω :

المعادلات (3.11) تأخذ الشكل التالي في Ω :

$$(\bar{\nabla}^2 + \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} - m \mathbf{grad} \theta = -\frac{\mathbf{X}_{(p)}}{\lambda + 2\mu}, \quad (3.19)$$

$$(\bar{\nabla}^2 + q) \theta + \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)} = -\frac{Q}{\kappa}, \quad (3.20)$$

$$(\bar{\nabla}^2 + \hat{\sigma}_3^2) \boldsymbol{\phi}_{(p)} = -\frac{\mathbf{Y}_{(p)}}{\beta + 2\gamma}, \quad (3.21)$$

$$(\bar{\nabla}^2 + \sigma_2^2) \mathbf{u}_{(s)} + s \mathbf{curl} \boldsymbol{\phi}_{(s)} = -\frac{\mathbf{X}_{(s)}}{\mu + \alpha}, \quad (3.22)$$

$$(\bar{\nabla}^2 + \hat{\sigma}_4^2) \boldsymbol{\varphi}_{(s)} + p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)} = -\frac{\mathbf{Y}_{(s)}}{\gamma + \varepsilon} \quad (3.23)$$

حيث:

$$\sigma_1 = \frac{\omega}{c_1}, \sigma_2 = \frac{\omega}{c_2}, \sigma_3 = \frac{\omega}{c_3}, \sigma_4 = \frac{\omega}{c_4}, \quad (3.24)$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, c_2 = \sqrt{\frac{\mu + \alpha}{\rho}}, c_3 = \sqrt{\frac{\beta + 2\gamma}{J}}, c_4 = \sqrt{\frac{\gamma + \varepsilon}{J}}, \quad (3.25)$$

$$s = \frac{2\alpha}{\mu + \alpha}, p = \frac{2\alpha}{\gamma + \varepsilon}, q = \frac{i\omega}{\kappa}, i = \sqrt{-1}, m = \frac{v_T}{\lambda + 2\mu}, \varepsilon = m \kappa \eta_0, \quad (3.26)$$

$$\tau_0^2 = \frac{4\alpha}{\beta + 2\gamma}, v_0^2 = 2p, \hat{\sigma}_3^2 = \sigma_3^2 - \tau_0^2 > 0, \hat{\sigma}_4^2 = \sigma_4^2 - v_0^2 > 0, \quad (3.27)$$

وإذا وضعنا:

$$\square_k^2 = \bar{\nabla}^2 + k^2, \square_k^2 = \nabla^2 + k^2 \quad (3.28)$$

فالمعادلات المستقلة (3.14) و(3.15) و(3.16) تأخذ في هذه الحالة الشكل التالي في Ω :

$$\square_{\mu_1}^2 \square_{\mu_2}^2 \mathbf{u}_{(p)} = -\frac{1}{\lambda + 2\mu} (\bar{\nabla}^2 + q) \mathbf{X}_{(p)} - \frac{m}{\kappa} \mathbf{grad} Q, \quad (3.29)$$

$$\square_{\mu_1}^2 \square_{\mu_2}^2 \theta = -\frac{1}{\kappa} (\nabla^2 + \sigma_1^2) Q + \frac{q \kappa \eta_0}{\lambda + 2\mu} \mathbf{div} \mathbf{X}_{(p)}, \quad (3.30)$$

$$\square_{\lambda_1}^2 \square_{\lambda_2}^2 \mathbf{u}_{(s)} = -\frac{1}{\mu + \alpha} (\nabla^2 + \hat{\sigma}_4^2) \mathbf{X}_{(s)} + \frac{s}{\gamma + \varepsilon} \mathbf{curl} \mathbf{Y}_{(s)}, \quad (3.31)$$

$$\square_{\lambda_1}^2 \square_{\lambda_2}^2 \boldsymbol{\varphi}_{(s)} = \frac{p}{\gamma + \varepsilon} \mathbf{curl} \mathbf{X}_{(s)} - \frac{\lambda + 2\mu}{(\mu + \alpha)(\gamma + \varepsilon)} (\bar{\nabla}^2 + \sigma_2^2) \mathbf{Y}_{(s)} \quad (3.32)$$

حيث λ_1 و λ_2 هي أصفار كثير الحدود من الدرجة الرابعة:

$$P_4(\lambda) \equiv \lambda^4 - (\sigma_2^2 + \hat{\sigma}_4^2 + ps) \lambda^2 + \sigma_2^2 \hat{\sigma}_4^2 \quad (3.33)$$

أما μ_1 و μ_2 هي أصفار كثير الحدود من الدرجة الرابعة:

$$Q_4(\mu) \equiv \mu^4 - [\sigma_1^2 + q(1 + \varepsilon)] \mu^2 + q \sigma_1^2 \quad (3.34)$$

ينتج عن المتراجحة 4 (3.27) وعن (3.24) و(3.25) و(3.26)، أن λ_1 و λ_2 تملك

القيم الحقيقية [8,9,11]:

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sigma_2^2 + \hat{\sigma}_4^2 + ps \pm \sqrt{\Delta_1})^{1/2} \quad (3.35)$$

حيث:

$$\sqrt{\Delta_1} = [(\hat{\sigma}_4 - \sigma_2)^2 + ps]^{1/2} [(\hat{\sigma}_4 + \sigma_2)^2 + ps]^{1/2} \quad (3.36)$$

في الوقت الذي تأخذ فيه μ_1 و μ_2 قيماً عقدية من الشكل:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \alpha_1 + i\beta_1, \quad \mu_2 = \alpha_2 + i\beta_2, \\ \beta_1 &\geq 0, \quad \beta_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (3.37)$$

تملك مربعاتها الشكل التالي:

$$\mu_{1,2}^2 = \frac{1}{2} [\sigma_1^2 + q(1+\varepsilon) \pm \sqrt{\Delta_2}] \quad (3.38)$$

حيث:

$$\Delta_2 = [\sigma_1^2 + q(1+\varepsilon)]^2 - 4q\sigma_1^2 \quad (3.39)$$

وإذا وضعنا:

$$\mathbf{A}_1 = \frac{1}{\lambda + 2\mu} (\bar{\nabla}^2 + q)\mathbf{X}_{(p)} + \frac{m}{\kappa} \mathbf{grad} Q, \quad \mathbf{B} = \frac{\mathbf{Y}_{(p)}}{\beta + 2\gamma}, \quad (3.40)$$

$$\mathbf{A}_2 = \frac{1}{\kappa} (\nabla^2 + \sigma_1^2)Q - \frac{q\kappa\eta_0}{\lambda + 2\mu} \mathbf{div} \mathbf{X}_{(p)}, \quad (3.41)$$

$$\mathbf{C}_1 = \frac{1}{\mu + \alpha} (\nabla^2 + \hat{\sigma}_4^2)\mathbf{X}_{(s)} - \frac{s}{\gamma + \varepsilon} \mathbf{curl} \mathbf{Y}_{(s)}, \quad (3.42)$$

$$\mathbf{C}_2 = -\frac{p}{\gamma + \varepsilon} \mathbf{curl} \mathbf{X}_{(s)} + \frac{\lambda + 2\mu}{(\mu + \alpha)(\gamma + \varepsilon)} (\bar{\nabla}^2 + \sigma_2^2)\mathbf{Y}_{(s)} \quad (3.43)$$

فتأخذ المعادلات المستقلة (3.29)-(3.32) و (3.21) الشكل التالي في Ω :

$$\square_{\mu_1}^2 \square_{\mu_2}^2 \mathbf{u}_{(p)} = -\mathbf{A}_1, \quad \square_{\mu_1}^2 \square_{\mu_2}^2 \theta = -\mathbf{A}_2, \quad (\bar{\nabla}^2 + \hat{\sigma}_3^2)\boldsymbol{\phi}_{(p)} = -\mathbf{B} \quad (3.44)$$

$$\square_{\lambda_1}^2 \square_{\lambda_2}^2 \mathbf{u}_{(s)} = -\mathbf{C}_1, \quad \square_{\lambda_1}^2 \square_{\lambda_2}^2 \boldsymbol{\phi}_{(s)} = -\mathbf{C}_2 \quad (3.45)$$

قبل الدخول في الفقرة القادمة التي تعطينا النتائج والمناقشة تلزماً المبرهنة التالية التي تعطينا تحويلان تكامليان حجميان سطحياً لأجل مؤثر هيلمهولتز الاشتقاقي ولأجل بيهلمهولتز الاشتقاقي في منطقة ثنائية الترابط يشغلها جزء من الجسم في اللحظة الابتدائية $t = 0$. لهذا الغرض نرسم بـ S_a لسطح الكرة $N(o, a)$ ولتكن $\xi \in \Omega$ نقطة

مادية ما تقع خارج السطح S_a ولنأخذ r كبير بالقدر الكافي بحيث أن الكرة المفتوحة $N(\xi, r)$ التي مركزها ξ ونصف قطرها r تحتوي الكرة المفتوحة $N(o, r)$. أخيراً لنرمز بـ S_r لسطح الكرة المفتوحة $N(\xi, r)$ وبـ Ω_r للمنطقة ثنائية الترابط في R^3 والمحصورة بين السطحين S_a و S_r والتي يشغلها جزء من الجسم (E-N:6) في لحظة البدء. عندئذ لدينا المبرهنة التالية [7]:

مبرهنة [7]:

(1) لتكن لدينا معادلة هيلمهولتز الاشتقاقية المتجهية ومعادلة هيلمهولتز الاشتقاقية السلمية، التاليتين المحققين في المنطقة ثنائية الترابط Ω_r :

$$\square_C^2 U(\mathbf{x}) = -A(\mathbf{x}) \quad (3.46)$$

$$\square_C^2 U(\mathbf{x}) = -E(\mathbf{x}) \quad (3.47)$$

حيث $U(\mathbf{x})$ دالة سلمية مجهولة و $A(\mathbf{x})$ دالة سلمية معلومة و $U(\mathbf{x})$ مقطع متجهي مجهول و $E(\mathbf{x})$ مقطع متجهي معلوم. عندئذ المعادلة الأولى تكافئ المعادلة التكاملية التالية في Ω_r :

$$\begin{aligned} U(\xi) = & \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega_r} A(\mathbf{x}) \frac{e^{iCR}}{R} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\ & + \frac{1}{4\pi} \left\{ \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left[\frac{e^{iCR}}{R} \frac{\partial U}{\partial n}(\mathbf{x}) \right. \right. \\ & \left. \left. - U(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{iCR}}{R} \right) \right] dS(\mathbf{x}) \right\} \quad (3.48) \end{aligned}$$

حيث: $R = |\mathbf{x} - \xi|$; $\mathbf{x}, \xi \in \Omega_r$

أما المعادلة المتجهية (3.47) فهي تكافئ المعادلة التكاملية التالية في Ω_r :

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\begin{aligned} \mathbf{U}(\xi) = & \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega_r} \mathbf{E}(\mathbf{x}) \frac{e^{iCR}}{R} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\ & + \frac{1}{4\pi} \left\{ \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left[\frac{e^{iCR}}{R} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial n}(\mathbf{x}) \right. \right. \\ & \left. \left. - \mathbf{U}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{iCR}}{R} \right) \right] dS(\mathbf{x}) \right\} \end{aligned} \quad (3.49)$$

في (3.48) و(3.49)، لدينا: $(\mathbf{x} \equiv (x_1, x_2, x_3)) d\Omega_r(\mathbf{x}) = dx_1 dx_2 dx_3$ ،

أما $\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial n}$ فهو مشتق الدالة \mathbf{U} وفق متجه واحدة الناظم $\mathbf{n} \equiv (n_1, n_2, n_3)$ ، على كل

من السطحين S_a و S_r ، والموجه نحو داخل S_a (في حال كونه ناظماً لـ S_a)، ونحو

خارج S_r (في حال كونه ناظماً لـ S_r)؛ $\left(\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial n} = \mathbf{n} \cdot \mathbf{grad} \mathbf{U} = n_i \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x_i} \right)$ ،

وإذا فرضنا: $\mathbf{U} \equiv (U_1, U_2, U_3)$ ، فإن: $\left(\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial n} := \left(\frac{\partial U_1}{\partial n}, \frac{\partial U_2}{\partial n}, \frac{\partial U_3}{\partial n} \right) \right)$ ، كما

أن الأدلة اللاتينية i, j, k, \dots تأخذ القيم 1, 2, 3، حيث نستخدم رموز Einstein.

(2) لتكن لدينا معادلة بيهيلمولتز الاشتقاقية السلمية ومعادلة بيهيلمولتز الاشتقاقية

المتجهية، التاليتين المحققين في المنطقة ثنائية الترابط Ω_r :

$$\square_{C_1}^2 \square_{C_2}^2 \mathbf{V}(\mathbf{x}) = -\mathbf{F}(\mathbf{x}) \quad (3.50)$$

$$\square_{C_1}^2 \square_{C_2}^2 \mathbf{V}(\mathbf{x}) = -\mathbf{L}(\mathbf{x}) \quad (3.51)$$

حيث $\mathbf{V}(\mathbf{x})$ دالة سلمية مجهولة و $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ دالة سلمية معلومة و $\mathbf{V}(\mathbf{x})$ مقطع متجهي مجهول

و $\mathbf{L}(\mathbf{x})$ مقطع متجهي معلوم. عندئذ المعادلة الأولى تكافئ المعادلة التكاملية التالية في Ω_r :

$$\begin{aligned}
 4\pi (C_1^2 - C_2^2) \mathbf{V}(\mathbf{y}) = & \int_{\Omega_r} \frac{e^{iC_1 R} - e^{iC_2 R}}{R} F(\mathbf{x}) d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\
 & + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{iC_1 R} - e^{iC_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\square_C^2 \mathbf{V}(\mathbf{x})] \right. \\
 & - [\square_C^2 \mathbf{V}(\mathbf{x})] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{iC_1 R} - e^{iC_2 R}}{R} + \\
 & + \frac{C_2^2 e^{iC_2 R} - C_1^2 e^{iC_1 R}}{R} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial n}(\mathbf{x}) \\
 & \left. - \mathbf{V}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{C_2^2 e^{iC_2 R} - C_1^2 e^{iC_1 R}}{R} \right\} dS(\mathbf{x})
 \end{aligned} \tag{3.52}$$

أما معادلة بيهلمولتز الاشتقاقية المتجهية (3.51)، فتكافئ في Ω_r المعادلة التكاملية المتجهية التالية:

$$\begin{aligned}
 4\pi (C_1^2 - C_2^2) \mathbf{V}(\mathbf{y}) = & \int_{\Omega_r} \frac{e^{iC_1 R} - e^{iC_2 R}}{R} \mathbf{L}(\mathbf{x}) d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\
 & + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{iC_1 R} - e^{iC_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\square_C^2 \mathbf{V}(\mathbf{x})] \right. \\
 & - [\square_C^2 \mathbf{V}(\mathbf{x})] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{iC_1 R} - e^{iC_2 R}}{R} + \\
 & + \frac{C_2^2 e^{iC_2 R} - C_1^2 e^{iC_1 R}}{R} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial n}(\mathbf{x}) \\
 & \left. - \mathbf{V}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{C_2^2 e^{iC_2 R} - C_1^2 e^{iC_1 R}}{R} \right\} dS(\mathbf{x}),
 \end{aligned} \tag{3.53}$$

حيث في (3.52) و(3.53): $R = |\mathbf{x} - \mathbf{y}|$; $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in \Omega_r$; كما أن: $C^2 = C_1^2 + C_2^2$.

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

5. النتائج والمناقشة:

أولاً: التمثيلات التكاملية في Ω_r لكل من ساعات الأجزاء الكمونية والأجزاء الدوارة للازاحات والدورانات، ولسعة الحقل الحراري في الجسم الصلب دقيق الاستقطاب (E-N:6)، عندما تتغير الحقول الفيزيائية توافقياً مع الزمن، حيث الحمول الترموديناميكية غير معدومة.

لإيجاد هذه التمثيلات التكاملية المطلوبة يكفي تطبيق المبرهنة السابقة على المعادلات المستقلة (3.44) و(3.45) لأجل الساعات: $\Phi_{(s)}$, $\mathbf{u}_{(s)}$, θ , $\Phi_{(p)}$, $\mathbf{u}_{(p)}$ ، وذلك باتباع مايلي.

أ) بتطبيق البند الأول من المبرهنة السابقة على المعادلة 3 (3.44)، حيث:

$$\mathbf{U} = \Phi_{(p)}, C = \hat{\sigma}_3, \mathbf{E} = \mathbf{B} \quad (4.1)$$

يأخذ التمثيل التكاملي لـ $\Phi_{(p)}$ الشكل التالي في Ω_r :

$$\begin{aligned} \Phi_{(p)}(\xi) = & \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega_r} \mathbf{B}(\mathbf{x}) \frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\ & + \frac{1}{4\pi} \left\{ \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left[\frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} \frac{\partial \Phi_{(p)}}{\partial n}(\mathbf{x}) \right. \right. \\ & \left. \left. - \Phi_{(p)}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} \right) \right] dS(\mathbf{x}) \right\} \quad (4.2) \end{aligned}$$

حيث: $R = |\mathbf{x} - \mathbf{y}|$

ب) أما بتطبيق البند الثاني من المبرهنة على معادلة بيهمولتز الاشتقاقية المتجهية 1 (3.44) المتعلقة بـ $\mathbf{u}_{(p)}$ ، فنجد:

$$\begin{aligned}
 4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2) \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y}) &= \int_{\Omega_r} \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \mathbf{A}_1(\mathbf{x}) d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\
 &+ \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\square_C^2 \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{x})] \right. \\
 &- [\square_C^2 \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{x})] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} + \\
 &+ \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial \mathbf{u}_{(p)}}{\partial n}(\mathbf{x}) \\
 &\left. - \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \right\} dS(\mathbf{x})
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

وبما أن:

$$\square_C^2 \mathbf{u}_{(p)} = (\bar{\nabla}^2 + \mu_1^2 + \mu_2^2) \mathbf{u}_{(p)}, \quad \mu_1^2 + \mu_2^2 = \sigma_1^2 + q(1+\mathcal{E}) \tag{4.4}$$

فينتج عن ذلك وعن بحسب (3.19) أن:

$$\square_C^2 \mathbf{u}_{(p)} = q(1+\mathcal{E}) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta - \frac{\mathbf{X}_{(p)}}{\lambda + 2\mu} \tag{4.5}$$

وبذلك فتصبح المعادلة (4.3) بالشكل:

$$\begin{aligned}
 4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2) \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y}) &= \int_{\Omega_r} \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \mathbf{A}_1(\mathbf{x}) d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\
 &+ \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} \left[q(1+\mathcal{E}) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta - \frac{\mathbf{X}_{(p)}}{\lambda + 2\mu} \right] \right. \\
 &- \left[q(1+\mathcal{E}) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta - \frac{\mathbf{X}_{(p)}}{\lambda + 2\mu} \right] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} + \\
 &+ \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial \mathbf{u}_{(p)}}{\partial n}(\mathbf{x}) \\
 &\left. - \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \right\} dS(\mathbf{x})
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

ولكن ينتج عن (4.6) وعن العلاقتين [7,11]:

$$\left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left(u \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial n} - \mathbf{v} \frac{\partial u}{\partial n} \right) dS(\mathbf{x}) = \int_{\Omega_r} (u \bar{\nabla}^2 \mathbf{v} - \mathbf{v} \nabla^2 u) d\Omega_r(\mathbf{x}) \quad (4.7)$$

$$\nabla^2 \left(\frac{e^{i k R}}{R} \right) = \nabla^2 \left(\frac{1}{R} \right) - k^2 \frac{e^{i k R}}{R} \quad (4.8)$$

أن التمثيل التكاملي لـ $\mathbf{u}_{(p)}$ يملك الشكل الأخير التالي في Ω_r :

$$\begin{aligned} 4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2) \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y}) = & \int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \left[\mathbf{A}_1 - \frac{1}{\lambda + 2\mu} \bar{\nabla}^2 \mathbf{X}_{(p)} \right] + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\lambda + 2\mu} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \mathbf{X}_{(p)} \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\ & + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [q(1+\mathcal{E}) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \right. \\ & - [q(1+\mathcal{E}) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} + \\ & \left. + \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial \mathbf{u}_{(p)}}{\partial n}(\mathbf{x}) \right. \\ & \left. - \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \right\} dS(\mathbf{x}) \quad (4.9) \end{aligned}$$

(ج) أما بتطبيق البند الثاني من المبرهنة على معادلة بيهلمولتز الاشتقاقية السلمية 2 (3.44) المتعلقة بـ θ ، من ثم بالاستفادة من المعادلة:

$$\square_C^2 \theta = (\sigma_1^2 + q \mathcal{E}) \theta - \frac{q \mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)} - \frac{Q}{\kappa} \quad (4.10)$$

نجد أن التمثيل التكاملي لـ θ يملك الشكل الأخير التالي في Ω_r :

$$\begin{aligned}
 4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2) \theta(\mathbf{y}) = & \int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} [A_2 - \frac{1}{\kappa} \nabla^2 Q] + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\kappa} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} Q \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\
 & + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\sigma_1^2 + q\mathcal{E})\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \right. \\
 & - [(\sigma_1^2 + q\mathcal{E})\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} + \\
 & \left. + \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial \theta}{\partial n}(\mathbf{x}) \right. \\
 & \left. - \theta(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \right\} dS(\mathbf{x}), \quad (4.11)
 \end{aligned}$$

(د) أما بتطبيق البند الثاني من المبرهنة على معادلة بيهلمولتز الاشتقاقية المتجهية

1 (3.45) المتعلقة بـ $\mathbf{u}_{(s)}$ ، من ثم بالاستفادة من المعادلة:

$$\begin{aligned}
 \square_C^2 \mathbf{u}_{(s)} = & (\bar{\nabla}^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2) \mathbf{u}_{(s)} = \\
 = & (\hat{\sigma}_4^2 + ps) \mathbf{u}_{(s)} - s \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)} - \frac{\mathbf{X}_{(s)}}{\mu + \alpha} \quad (4.12)
 \end{aligned}$$

نجد أن التمثيل التكاملي لـ $\mathbf{u}_{(s)}$ يملك الشكل الأخير التالي في Ω_r :

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\begin{aligned}
 4\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2) \mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{y}) = & \int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} \left[\mathbf{C}_1 - \frac{1}{\mu + \alpha} \bar{\nabla}^2 \mathbf{X}_{(s)} \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\mu + \alpha} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \mathbf{X}_{(s)} \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\
 & + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\hat{\sigma}_4^2 + ps) \mathbf{u}_{(s)} - s \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \right. \\
 & - [(\hat{\sigma}_4^2 + ps) \mathbf{u}_{(s)} - s \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} + \\
 & \left. + \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \frac{\partial \mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{x})}{\partial n} \right\} dS(\mathbf{x}) \\
 & - \mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \left. \right\} dS(\mathbf{x}) \quad (4.13)
 \end{aligned}$$

(ه) أما بتطبيق البند الثاني من المبرهنة على معادلة بيهلمولتز الاشتقاقية المتجهية 2 (3.45) المتعلقة بـ $\boldsymbol{\varphi}_{(s)}$ ، من ثم بالاستفادة من المعادلة:

$$\begin{aligned}
 \square_C^2 \boldsymbol{\varphi}_{(s)} = & (\bar{\nabla}^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2) \boldsymbol{\varphi}_{(s)} = \\
 = & (\sigma_2^2 + ps) \mathbf{u}_{(s)} - p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)} - \frac{\mathbf{Y}_{(s)}}{\gamma + \varepsilon} \quad (4.14)
 \end{aligned}$$

نجد أن التمثيل التكاملي لـ $\boldsymbol{\varphi}_{(s)}$ يملك الشكل الأخير التالي في Ω_r :

$$\begin{aligned}
 4\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)\Phi_{(s)}(\mathbf{y}) = & \int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} \left[\mathbf{C}_2 - \frac{1}{\gamma + \varepsilon} \bar{\nabla}^2 \mathbf{Y}_{(s)} \right] + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{\gamma + \varepsilon} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \mathbf{Y}_{(s)} \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \\
 & + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\sigma_2^2 + p s) \mathbf{u}_{(s)} - p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \right. \\
 & - [(\sigma_2^2 + p s) \mathbf{u}_{(s)} - p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} + \\
 & \left. + \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \frac{\partial \Phi_{(s)}(\mathbf{x})}{\partial n} \right\} \\
 & - \Phi_{(s)}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \left. \right\} dS(\mathbf{x}) \quad (4.15)
 \end{aligned}$$

إن التمثيلات التكاملية الخمسة السابقة يمكن كتابتها بالشكل التالي الأكثر اختصاراً في Ω_r :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y}) = & \frac{1}{4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2)} \left[\int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \left[\mathbf{A}_1 - \frac{1}{\lambda + 2\mu} \bar{\nabla}^2 \mathbf{X}_{(p)} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\lambda + 2\mu} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \mathbf{X}_{(p)} \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \right. \\
 & \left. + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \right. \right. \\
 & \left. - [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \right) \right\} \\
 & - \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \right. \\
 & \left. - [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \right) \right\} \left. \right], \quad (4.16)
 \end{aligned}$$

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\begin{aligned}
 \theta(\mathbf{y}) = & \frac{1}{4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2)} \left[\int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} [A_2 - \frac{1}{\kappa} \nabla^2 Q] + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\kappa} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} Q \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \right. \\
 & \left. + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_2^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{divu}_{(p)}] \right. \right. \\
 & \left. \left. - [(\mu_2^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{divu}_{(p)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \right) \right\} \right. \\
 & \left. - \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_1^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{divu}_{(p)}] \right. \right. \\
 & \left. \left. - [(\mu_1^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{divu}_{(p)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \right) \right\} \right], \tag{4.17}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_{(p)}(\mathbf{y}) = & \frac{1}{4\pi} \left\{ \int_{\Omega_r} \mathbf{B}(\mathbf{x}) \frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \right. \\
 & \left. + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) \left[\frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} \frac{\partial \Phi_{(p)}}{\partial n}(\mathbf{x}) \right. \right. \\
 & \left. \left. - \Phi_{(p)}(\mathbf{x}) \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} \right) \right] dS(\mathbf{x}) \right\} \tag{4.18}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{y}) = & \frac{1}{4\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \left[\int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} \left[\mathbf{C}_1 - \frac{1}{\mu + \alpha} \bar{\nabla}^2 \mathbf{X}_{(s)} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\mu + \alpha} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \mathbf{X}_{(s)} \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \right. \\
 & \left. + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\lambda_2^2 - \sigma_2^2) \mathbf{u}_{(s)} - s \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \right. \right. \\
 & \left. \left. - [(\lambda_2^2 - \sigma_2^2) \mathbf{u}_{(s)} - s \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \right) \right\} \right. \\
 & \left. - \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\lambda_1^2 - \sigma_2^2) \mathbf{u}_{(s)} - s \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \right. \right. \\
 & \left. \left. - [(\lambda_1^2 - \sigma_2^2) \mathbf{u}_{(s)} - s \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \right) \right\} \right] \quad (4.19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \boldsymbol{\varphi}_{(s)}(\mathbf{y}) = & \frac{1}{4\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)} \left[\int_{\Omega_r} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} \left[\mathbf{C}_2 - \frac{1}{\gamma + \varepsilon} \bar{\nabla}^2 \mathbf{Y}_{(s)} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{\gamma + \varepsilon} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \mathbf{Y}_{(s)} \right\} d\Omega_r(\mathbf{x}) + \right. \\
 & \left. + \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\lambda_2^2 - \hat{\sigma}_4^2) \mathbf{u}_{(s)} - p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \right. \right. \\
 & \left. \left. - [(\lambda_2^2 - \hat{\sigma}_4^2) \mathbf{u}_{(s)} - p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \right) \right\} \right. \\
 & \left. - \left(\int_{S_a} + \int_{S_r} \right) dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\lambda_1^2 - \hat{\sigma}_4^2) \mathbf{u}_{(s)} - p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \right. \right. \\
 & \left. \left. - [(\lambda_1^2 - \hat{\sigma}_4^2) \mathbf{u}_{(s)} - p \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \right) \right\} \right] \quad (4.20)
 \end{aligned}$$

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

لنختبر الآن التكاملين المتعلق بـ $\mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y})$ و $\theta(\mathbf{y})$ عندما $r \rightarrow \infty$. باستخدام خواص التكامل السطحي والاحداثيات الكروية (r, ψ, φ) فإن جزئي التكاملين السطحيين: $\mathbf{I}_{S_r}^{(1)}$ و $\mathbf{I}_{S_r}^{(1)}$ على S_r ، المتعلقين بـ $\mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y})$ و $\theta(\mathbf{y})$ ، على الترتيب، يأخذان الشكل التالي:

$$\mathbf{I}_{S_r}^{(1)} = \int_{S_r} \frac{dS_r}{r^2} \{ r e^{-\beta_1 r} e^{i\alpha_1 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_1 \right) [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] + e^{-\beta_1 r} e^{i\alpha_1 r} [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \quad (4.21)$$

$$- r e^{-\beta_2 r} e^{i\alpha_2 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_2 \right) [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] - e^{-\beta_2 r} e^{i\alpha_2 r} [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \},$$

$$\mathbf{I}_{S_r}^{(2)} = \int_{S_r} \frac{dS_r}{r^2} \{ r e^{-\beta_1 r} e^{i\alpha_1 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_1 \right) [(\mu_2^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] + e^{-\beta_1 r} e^{i\alpha_1 r} [(\mu_2^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \quad (4.22)$$

$$- r e^{-\beta_2 r} e^{i\alpha_2 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_2 \right) [(\mu_1^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] - e^{-\beta_2 r} e^{i\alpha_2 r} [(\mu_1^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \}$$

حيث: $dS_r = r^2 \sin \psi d\psi d\varphi$ ، $0 \leq \psi \leq \pi$ ، $0 \leq \varphi \leq 2\pi$

من التكاملين السابقين ينتج أنه: أولاً) إذا كان التابعين $\mathbf{u}_{(p)}$ و θ يحققان في جوار

اللانهاية ($r \rightarrow \infty$) الشروط المقاربية:

$$r e^{-\beta_1 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_1 \right) [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] = \mathbf{0}(1)$$

$$r e^{-\beta_2 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_2 \right) [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] = \mathbf{0}(1) \quad (4.23)$$

$$e^{-\beta_1 r} [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] = \mathbf{0}(1)$$

$$e^{-\beta_2 r} [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] = \mathbf{0}(1)$$

وكان التكامل الحجمي التالي متقارباً:

$$\mathbf{I}_{\Omega}^{(1)} := \int_{\Omega} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} \left[\mathbf{A}_1 - \frac{1}{\lambda + 2\mu} \nabla^2 \mathbf{X}_{(p)} \right] + \frac{1}{\lambda + 2\mu} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} \mathbf{X}_{(p)} \right\} d\Omega(\mathbf{x}) \quad (4.24)$$

حيث الرمز: $\mathbf{f}(r) = \mathbf{0}(1)$ يعني أن: $\mathbf{f}(r) \rightarrow \mathbf{0}$ عندما $r \rightarrow \infty$ ،
إذا تحققت الشروط السابقة فإن التكامل السطحي $\mathbf{I}_{S_r}^{(1)}$ يؤول إلى الصفر ويأخذ التمثيل
التكاملي (4.16) الشكل التالي في Ω :

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y}) = & \frac{1}{4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2)} \left[\mathbf{I}_{\Omega}^{(1)} + \right. \\ & + \int_{S_a} dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \right. \\ & - [(\mu_2^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \right) \left. \right\} \\ & - \int_{S_a} dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \right. \\ & \left. - [(\mu_1^2 - \sigma_1^2) \mathbf{u}_{(p)} + m \mathbf{grad} \theta] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \right) \right\} \left. \right], \quad (4.25) \end{aligned}$$

حيث: $\mathbf{y} \in \Omega$

ثانياً) إذا كان التابعين $\mathbf{u}_{(p)}$ و θ يحققان في جوار اللانهاية ($r \rightarrow \infty$) الشروط المقاربية:

$$\begin{aligned} r e^{-\beta_1 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_1 \right) [(\mu_2^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(1) \\ r e^{-\beta_2 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_2 \right) [(\mu_1^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(1) \\ e^{-\beta_1 r} [(\mu_2^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(1) \\ e^{-\beta_2 r} [(\mu_1^2 - q) \theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(1) \end{aligned} \quad (4.26)$$

وكان التكامل الحجمي التالي متقارباً:

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{\Omega}^{(2)} := & \int_{\Omega} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R} - e^{i\mu_2 R}}{R} [A_2 - \frac{1}{\kappa} \nabla^2 Q] + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\kappa} \frac{\mu_2^2 e^{i\mu_2 R} - \mu_1^2 e^{i\mu_1 R}}{R} Q \right\} d\Omega(\mathbf{x}) \end{aligned} \quad (4.27)$$

حيث الرمز: $f(r) = 0(1)$ يعني أن: $f(r) \rightarrow 0$ عندما $r \rightarrow \infty$ إذا تحققت الشروط السابقة فإن التكامل السطحي $I_{S_r}^{(2)}$ يؤول إلى الصفر ويأخذ التمثيل

التكاملي (4.17) الشكل التالي في Ω :

$$\begin{aligned} \theta(\mathbf{y}) = & \frac{1}{4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2)} [\mathbf{I}_{\Omega}^{(2)} + \\ & + \int_{S_a} dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_2^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \right. \\ & - [(\mu_2^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \right) \left. \right\} \\ & - \int_{S_a} dS(\mathbf{x}) \left\{ \frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [(\mu_1^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \right. \\ & - [(\mu_1^2 - q)\theta - \frac{q\mathcal{E}}{m} \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \right) \left. \right\} \end{aligned} \quad (4.28)$$

حيث: $\mathbf{y} \in \Omega$. وإذا وضعنا الآن:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{\Omega}^{(3)} := & \int_{\Omega} \mathbf{B}(\mathbf{x}) \frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} d\Omega(\mathbf{x}) , \\ \mathbf{I}_{\Omega}^{(4)} := & \int_{\Omega} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} [C_1 - \frac{1}{\mu + \alpha} \bar{\nabla}^2 \mathbf{X}_{(s)}] + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\mu + \alpha} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \mathbf{X}_{(s)} \right\} d\Omega(\mathbf{x}) , \\ \mathbf{I}_{\Omega}^{(5)} := & \int_{\Omega} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R} - e^{i\lambda_2 R}}{R} [C_2 - \frac{1}{\gamma + \varepsilon} \bar{\nabla}^2 \mathbf{Y}_{(s)}] \right. \\ & \left. + \frac{1}{\gamma + \varepsilon} \frac{\lambda_2^2 e^{i\lambda_2 R} - \lambda_1^2 e^{i\lambda_1 R}}{R} \mathbf{Y}_{(s)} \right\} d\Omega(\mathbf{x}) \end{aligned} \quad (4.29)$$

فإعادة نفس العملية على الأجزاء التكاملية السطحية على S_r في باقي التمثيلات التكاملية المتعلقة بـ $\varphi_{(p)}(\mathbf{y})$ و $\mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{y})$ و $\varphi_{(s)}(\mathbf{y})$ يمكن أن نضع نتائجنا بالمبرهنة التالية:

مبرهنة:

(1) إذا كان التكاملان الحجميان $\mathbf{I}_{\Omega}^{(2)}$ و $\mathbf{I}_{\Omega}^{(1)}$ متقاربان، وتحققت الشروط المقاربية لتالية:

$$\begin{aligned} e^{-\beta_1 r} [\mathbf{u}_{(p)} + m_1 \mathbf{grad} \theta] &= \mathbf{0}(1) \\ e^{-\beta_2 r} [\mathbf{u}_{(p)} + m_2 \mathbf{grad} \theta] &= \mathbf{0}(1) \\ e^{-\beta_1 r} [\theta - h_1 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(1) \\ e^{-\beta_2 r} [\theta - h_2 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(1) \\ e^{-\beta_1 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_1 \right) [\mathbf{u}_{(p)} + m_1 \mathbf{grad} \theta] &= \mathbf{0}(r^{-1}) \quad (4.30) \\ e^{-\beta_2 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_2 \right) [\mathbf{u}_{(p)} + m_2 \mathbf{grad} \theta] &= \mathbf{0}(r^{-1}) \\ e^{-\beta_1 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_1 \right) [\theta - h_1 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(r^{-1}) \\ e^{-\beta_2 r} \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\mu_2 \right) [\theta - h_2 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] &= 0(r^{-1}) \end{aligned}$$

حيث الرمز $\mathbf{f}(r) = \mathbf{0}(r^{-1})$ يعني أن: $r\mathbf{f}(r) = \mathbf{0}(1)$ ، والرمز $f(r) = 0(r^{-1})$ يعني أن: $rf(r) = 0(1)$ ، كما أن:

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{m}{\mu_2^2 - \sigma_1^2}, \quad m_2 = \frac{m}{\mu_1^2 - \sigma_1^2}, \\ h_1 &= \frac{q\mathcal{E}}{m(\mu_2^2 - q)}, \quad h_2 = \frac{q\mathcal{E}}{m(\mu_1^2 - q)} \end{aligned} \quad (4.31)$$

عندئذ يتحقق التمثيلان التكاملان التاليان:

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\begin{aligned}
 & 4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2) \mathbf{u}_{(p)}(\mathbf{y}) = \mathbf{I}_{\Omega}^{(1)} \\
 & - (\mu_1^2 - \sigma_1^2) \int_{S_a} \left\{ \frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\mathbf{u}_{(p)} + m_2 \mathbf{grad} \theta] \right. \\
 & - [\mathbf{u}_{(p)} + m_2 \mathbf{grad} \theta] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \right) \left. \right\} dS(\mathbf{x}) + \\
 & + (\mu_2^2 - \sigma_1^2) \int_{S_a} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\mathbf{u}_{(p)} + m_1 \mathbf{grad} \theta] \right. \\
 & - [\mathbf{u}_{(p)} + m_1 \mathbf{grad} \theta] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \right) \left. \right\} dS(\mathbf{x}), \quad (4.32)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 4\pi(\mu_1^2 - \mu_2^2) \theta(\mathbf{y}) = \mathbf{I}_{\Omega}^{(2)} \\
 & - (\mu_1^2 - q) \int_{S_a} \left\{ \frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\theta - h_2 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \right. \\
 & - [\theta - h_2 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_2 R}}{R} \right) \left. \right\} dS(\mathbf{x}) + \\
 & + (\mu_2^2 - q) \int_{S_a} \left\{ \frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\theta - h_1 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \right. \\
 & - [\theta - h_1 \mathbf{div} \mathbf{u}_{(p)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\mu_1 R}}{R} \right) \left. \right\} dS(\mathbf{x}), \quad (4.33)
 \end{aligned}$$

(2) إذا كان التكامل الحجمي $\mathbf{I}_{\Omega}^{(3)}$ متقارب وحقق $\Phi_{(p)}$ الشروط المقاربية :

$$\Phi_{(p)} = \mathbf{0}(1), \quad \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\hat{\sigma}_3 \right) \Phi_{(p)} = \mathbf{0}(r^{-1}) \quad (4.34)$$

عندئذ يتحقق التمثيل التكامل التالى:

$$4\pi \Phi_{(p)}(\mathbf{y}) = \mathbf{I}_{\Omega}^{(3)} + \int_{S_a} \left[\frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} \Phi_{(p)} - \Phi_{(p)} \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\hat{\sigma}_3 R}}{R} \right) \right] dS(\mathbf{x}) \quad (4.35)$$

(3) إذا كان التكاملان الحجميان $\mathbf{I}_{\Omega}^{(4)}$ و $\mathbf{I}_{\Omega}^{(5)}$ متقاربان وكانت $\mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{y})$ و $\Phi_{(s)}(\mathbf{y})$

تحقق في جوار اللانهاية، الشروط المقاربية:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}_{(s)} &= \mathbf{0}(1), & \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)} &= \mathbf{0}(1) \\
 \boldsymbol{\varphi}_{(s)} &= \mathbf{0}(1), & \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)} &= \mathbf{0}(1) \\
 \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\lambda_1\right)[\mathbf{u}_{(s)} - s_1 \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] &= \mathbf{0}(r^{-1}) \\
 \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\lambda_2\right)[\mathbf{u}_{(s)} - s_2 \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] &= \mathbf{0}(r^{-1}) \\
 \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\lambda_1\right)[\boldsymbol{\varphi}_{(s)} - p_1 \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] &= \mathbf{0}(r^{-1}) \\
 \left(\frac{\partial}{\partial r} - i\lambda_2\right)[\boldsymbol{\varphi}_{(s)} - p_2 \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] &= \mathbf{0}(r^{-1})
 \end{aligned} \tag{4.36}$$

حيث:

$$s_1 = \frac{s}{\lambda_2^2 - \sigma_2^2}, \quad s_2 = \frac{s}{\lambda_1^2 - \sigma_2^2}, \quad p_1 = \frac{p}{\lambda_2^2 - \sigma_4^2}, \quad p_2 = \frac{p}{\lambda_1^2 - \sigma_4^2} \tag{4.37}$$

عندئذ يتحقق التمثيلان التاليتان:

$$\begin{aligned}
 4\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)\mathbf{u}_{(s)}(\mathbf{y}) &= \mathbf{I}_{\Omega}^{(4)} \\
 -(\lambda_1^2 - \sigma_2^2) \int_{S_a} \left\{ \frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\mathbf{u}_{(s)} - s_2 \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \right. \\
 &\quad \left. - [\mathbf{u}_{(s)} - s_2 \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \right) \right\} dS(\mathbf{x}) \\
 &\quad + (\lambda_2^2 - \sigma_2^2) \int_{S_a} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\mathbf{u}_{(s)} - s_1 \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \right. \\
 &\quad \left. - [\mathbf{u}_{(s)} - s_1 \mathbf{curl} \boldsymbol{\varphi}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \right) \right\} dS(\mathbf{x})
 \end{aligned} \tag{4.38}$$

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

$$\begin{aligned}
 4\pi(\lambda_1^2 - \lambda_2^2) \boldsymbol{\varphi}_{(s)}(\mathbf{y}) &= \mathbf{I}_{\Omega}^{(5)} \\
 -(\lambda_1^2 - \hat{\sigma}_4^2) \int_{\hat{S}_a} \left\{ \frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\boldsymbol{\varphi}_{(s)} - p_2 \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \right. \\
 -[\boldsymbol{\varphi}_{(s)} - p_2 \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_2 R}}{R} \right) \Big\} dS(\mathbf{x}) & \quad (4.39) \\
 +(\lambda_2^2 - \hat{\sigma}_4^2) \int_{\hat{S}_a} \left\{ \frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \frac{\partial}{\partial n} [\boldsymbol{\varphi}_{(s)} - p_1 \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \right. \\
 -[\boldsymbol{\varphi}_{(s)} - p_1 \mathbf{curl} \mathbf{u}_{(s)}] \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{e^{i\lambda_1 R}}{R} \right) \Big\} dS(\mathbf{x}) &
 \end{aligned}$$

6. الاستنتاجات والمقترحات:

أولاً: الاستنتاجات: في البحث تم استنتاج الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة لأجل الجزء الكموني والجزء الدوار لكل من سعة مقطع الإزاحة وسعة مقطع التوجه ولأجل سعة المقطع الحراري، التي توافق الحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية، متغيرة توافقياً مع الزمن. تمثل هذه النتائج تعميم لنتائج البحث [8]، حيث نتائج البحث [8] هي حالة خاصة من نتائج البحث، لأجل حالة انعدام الحمل الترموديناميكية.

ثانياً: فيمايلي يمكن أن نقترح المسائل التالية، الجديدة، للمناقشة:

- i. إيجاد حلول المعادلات التكاملية التي تم الحصول عليها في البحث إما بالطرق التحليلية أو بالطرق العددية.
- ii. إيجاد التمثيلات التكاملية والشروط المقاربية المتعلقة بها لأجل المرن دقيق الاستقطاب، أعقد من الجسم $\mathbf{u}_{(p)}, \theta, \boldsymbol{\varphi}_{(p)}, \mathbf{u}_{(s)}, \boldsymbol{\varphi}_{(s)}$ المرن دقيق الاستقطاب السابق.
- iii. إيجاد الحلول التحليلية أو الحلول العددية للمعادلات التكاملية التي يتم الحصول عليها في المسألة ii.

المراجع

- [1] –Nowacki, W , **1986** - Theory of Asymmetric Elasticity , Warsaw , PWN.
- [2] – Eringen , A .C, **1966** - Linear theory of micropolar elasticity, J.Math. Mech., 15 , 909 – 930.
- [3]-Sommerfeld A.,**1950**-Mechanics of Deformable Bodies,New York.
- [4]-Hanaa Kazem, , **2014** – The Sommerfeld radiation conditions for the Nowacki's potential problem of the Hooke elastic body in the case of nonzero body loads, harmonically varying in time, Journal of Al-Baath University,Vol.36.
- [5]-Mountajab Al-Hasan and Husam Shakkouf , **2016** – The Sommerfeld asymptotic conditions for displacements in Hooke elastic body with no vanishing body loads harmonically varying in time, Journal of Al-Baath University,Vol.38, Nr.4, p. 11-24.
- [6]-Mountajab Al-Hasan and Husam Shakkouf,**2020** –The Sommerfeld asymptotic conditions for Nowacki's potentials corresponding to the solution for the Koiter–Mindlin elastic body with no vanishing body loads harmonically varying in time, Journal of Al-Baath University, Accepted for Publication at 31 august 2020.
- [7]- Kamel Mouhamad, Mountajab Al-Hasan, **2011** – An integral – differential mathematical model of elastic body in the frame of linear dynamic thermoelasticity, Journal of Al-Baath University,Vol.33, Nr.25, p.119 -148.
- [8] Al-Hasan M., Dyszlewicz J., **2001**- Radiation conditions and integral representations of a solution in coupled micropolar thermoelasticity, J. Thermal Stresses, **24** (2001), 1007 – 1018.
- [9]-Ignaczak , **1972** - Radiation conditions in asymmetric elasticity, J.Ela.2,307-321.
- [10] Ignaczak J. , Nowacki W., **1962** -The Sommerfeld radiation conditions for coupled thermoelasticity, Arch. Mech. Stos.**14**,3– 13.
- [11]- Dyszlewicz , J, **2004** - Micropolar Theory of Elasticity , in : Series Lectures. Notes in Applied and Computational Mechanics, Vol.15, 356 p, Springer .

الشروط المقاربية والتمثيلات التكاملية الموافقة للحل في الجسم الترموديناميكي المرن دقيق
الاستقطاب (E-N:6) بوجود حمل حجمية ومصادر حرارية

دراسة حول اختبار التماثل لفئة خاصة من البيانات

آلاء سلامة¹ و أ.م. د. محمد فراس الحلبي²

قسم الرياضيات - كلية العلوم - جامعة دمشق

الملخص

انتشرت الشبكات انتشاراً واسعاً في العالم كشبكات الإنترنت و الشبكات الاجتماعية والنقل وغيرها. تعد الشبكة مثلاً واضحاً على البيان. لكن يمكن للبيان أن يظهر بتمثيلات مختلفة، مما يثير السؤال حول مدى صعوبة معرفة ما إذا كان بيانان مختلفان ظاهرياً لكن متماثلان. يعرف هذا السؤال بمشكلة تماثل البيانات. تعتبر مشكلة تماثل البيانات من أكثر المشاكل الأساسية في نظرية البيان من الناحية النظرية والعملية وما زالت مسألة التعقيد فيها غير محلولة. عمل الباحثين جلياً في هذا المجال، وقاموا بإيجاد خوارزميات متعددة. منها خوارزميات عامة تختبر تماثل أي بيانين، إلا أنها احتوت على مشاكل عديدة. ركز بعض الباحثين على إيجاد تماثل لصفوف خاصة من البيانات. سنقوم في هذه الورقة البحثية بالتركيز على فئة البيانات غير الموجهة. سنقدم خوارزمية جديدة فعالة تختبر تماثل بيانين غير موجهين. كما سنقوم بعرض محاكاة لهذه الخوارزمية باستخدام بيئة الماتلاب.

الكلمات المفتاحية: البيان، البيانات غير الموجهة، تماثل البيانات، التعقيد.

A study about the isomorphism of a special class of graphs

Mohamad Firas Alhalabi, Alaa Salameh

Department of Mathematics – Faculty of Science – Damascus University

Abstract

Networks are everywhere. We encounter them every day, in the form of the internet, or the social, transport and utility networks we depend upon. In Mathematics, a network is an example of a graph. The problem is that the same graph can appear in different guises which prompts the question of how hard it is difficult to decide whether two apparently different graphs are actually the same. That question is known as the graph isomorphism problem. The graph isomorphism problem has received a great deal of attention on both theoretical and practical domain. the researchers have worked a lot in this field, creating multiple algorithms, including general algorithms that check the isomorphism of any two graph, but they contain many problems. Some of them focused on testing isomorphism for special categories of graphs, and we also work in our research in this direction. In this paper, we focused on the undirected category of graphs. We propose a new polynomial efficient algorithm that check the isomorphism of two undirected graph. We show a simulation of this algorithm was performed using Matlab.

Keywords: Graph, Undirected Graph, Graph Isomorphism, Complexity.

1 المقدمة

تعد مسألة تحديد فيما إذا كان بيانان متماثلان أحد أكثر المسائل شهرة وبحثاً في نظرية البيان، ولها العديد من التطبيقات العملية حيث تشمل أتمتة التصميم الإلكتروني (التحقق من تكافؤ التمثيلات المختلفة لتصميم الدائرة الالكترونية)، فهرسة الصور، التعرف على الوجوه و بصمات الأصابع، وتحليل الشبكات العصبية والاجتماعية ... إلخ [1]. إن مشكلة تماثل البيانات واحدة من المسائل الاثني عشر المذكورة لدى Carey و Jonson وواحدة فقط من المسألتين الحاسبتين، التي مازالت مسألة التعقيد فيها غير محلولة، حيث طرحت في عام 1979 [2]. أحد الطرائق للتحقق فيما إذا كانت البيانات متماثلة هي مطابقة العقد في البيان الأول مع العقد في البيان الثاني، لكن بالنسبة للبيان الذي يمتلك n عقدة يكون عدد المطابقات $n!$ ، ولا يمكن تنفيذه حاسوبياً. في عام 1983 تم وضع خوارزمية لتمائل البيانات على يد الباحث Eugene Luks، ذلك بالاعتماد على أعمال سابقة له عام 1981 بالإضافة لأعمال الباحث László Babai عام 1982، وتعمل هذه الخوارزمية في وقت أسي [3]. تم دراسة مشكلة تماثل البيانات بشكل مكثف من وجهة نظر التعقيد الحسابي في الثمانينيات وأوائل التسعينيات، ثم أصبح التقدم بطيئاً في السنوات الأخيرة. مع ذلك قام الباحثين بإيجاد خوارزميات متعددة الحدود لصفوف خاصة من البيانات. لكن معظم هذه الخوارزميات ليس لها وقت كثير الحدود في أسوأ الحالات [2]. في عام 2015 أعلن الباحث László Babai من جامعة شيكاغو أنه توصل إلى خوارزمية جديدة لمشكلة تماثل البيانات وبتعقيد شبه متعدد الحدود، وهي أكثر فعالية من الخوارزمية السابقة، والتي احتفظت بالسجل لأكثر من 30 عاماً [4]. وفي عام 2017 تراجع الباحث László Babai عن ادعائه بأن الخوارزمية تعمل في وقت شبه متعدد الحدود. سنقوم باقتراح خوارزمية جديدة تعمل في وقت كثير الحدود، تمكننا من التحقق فيما إذا كان بيانين غير موجّهين متماثلين. بغية الوصول إلى هدف البحث يتم البدء بعرض المفاهيم والتعاريف والمصطلحات الأساسية المناسبة والتي يمكن من خلالها مناقشة موضوع تماثل البيانات. نوضح أهمية وهدف البحث في الفقرة 2. كما سنقوم بعرض طرق البحث ومواده في الفقرة 3. أخيراً سنعرض النتائج والمناقشة التي

تتضمن الخوارزمية المقترحة وتعقيدها الحسابي بالإضافة إلى عرض مثال يوضح هذه الخوارزمية

في الفقرة 4. نختتم البحث بمجموعة من الاستنتاجات والتوصيات في الفقرة 5.

2 أهمية البحث وأهدافه

تعتبر مشكلة تماثل البيانات من أكثر المشاكل الأساسية في نظرية البيان من الناحية النظرية والعملية. لجأ الباحثون إلى تطوير العديد من الخوارزميات، منها خوارزميات عامة تثبت تماثل أي بيانين مثل VF2 [14]، VF3 [15]، Nauty [16] وخوارزمية LAD و RI. على الرغم من دقة هذه الخوارزميات إلا أن تعقيدها يصبح أسياً في العديد من الحالات الخاصة [5]. أما بعض الباحثين فقد قاموا بإيجاد خوارزميات اقتصرت على صفوف خاصة من البيانات، على سبيل المثال ركز بعض الباحثين على صف البيانات غير الموجهة الموزونة. حيث في [1] تم اقتراح خوارزمية تستند إلى القيم الذاتية لمصفوفة. أيضاً في [6] تم إيجاد خوارزمية تجريبية (Heuristics) استخدمت هذه الخوارزمية البرمجة الخطية بتعقيد زمني على شكل حدودية من المرتبة الثالثة $O(n^3)$. أما في البيانات المستوية والبيانات الشجرية فتعد الخوارزميتان PlanarGI [11] و TreeGI من أشهر الخوارزميات، التي درست تماثل هذا النوع من البيانات في وقت كثير الحدود [5]. من جهة أخرى بعض الأبحاث ركزت على دراسة البيانات المنتظمة. تتعدد الأمثلة لصفوف البيانات التي تمت دراستها. نهدف في هذا البحث إلى اقتراح خوارزمية جديدة فعالة تختبر تماثل صف البيانات غير الموجهة. الخوارزمية المقترحة بتعقيد زمني $O(n^4)$ (حيث n هي عدد عقد البيان).

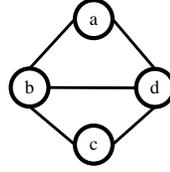
3 مواد وطرق البحث

نقدم فيما يلي بعض المفاهيم المتعلقة بالبيان [9]. كما أننا سوف نقوم بتعريف مصطلحات سنستخدمها في الخوارزمية المقترحة.

3.1 البيان (Graph)

يتألف البيان G من مجموعة V غير خالية من العناصر تدعى مجموعة العقد، ومجموعة E كل عنصر منها مؤلف من عنصرين من V ، وتدعى هذه العناصر بالأضلاع. نعرف الدالة f بالشكل التالي: $f: E \rightarrow V * V$ ؛ أي إذا كان $e \in E$

ضلعاً، وكانت $x, y \in V$ عقدتين بحيث $f(e) = (x, y)$ ، عندها فإن الضلع e يربط العقدتين x, y . ندعو العقدتان x, y بطرفي الضلع e .
نسمي الثنائية المرتبة $G = (V, E)$ بياناً، ويسمى هذا البيان بالبيان غير الموجه. كما نقول إن الثنائية (V, E) هي بيان منتهي إذا كانت كل من المجموعتين V و E مجموعة منتهية. يمثل الشكل (1) بيان غير موجه.



الشكل (1) البيان H غير الموجه.

$$V(H) = \{a, b, c, d\}$$

$$E(H) = \{ab, ad, db, bc, cd\}$$

3.2 البيان الموجه (Directed Graph)

البيان الموجه هو بيان زودت أضلاعه باتجاه ويرمز للبيان الموجه بالثنائية المرتبة $V, \vec{G} = (V, \vec{E})$ هي مجموعة العقد، \vec{E} مجموعة من الأزواج المرتبة من العقد تعرف بالأسهم أو الأضلاع الموجهة.

3.3 العروة (Loop)

إذا كان $e = (v, v)$ ، فإننا نسمي e عروة عند v . يكون للضلع نهايتان متطابقتان.

3.4 الضلع المضاعف (Multiple Edge)

إذا كان $e_1 = e_2 = (x, y)$ بحيث $x \neq y$ عندئذ نسمي كلاً من e_1 و e_2 ضلع مضاعف. أما إذا كان $e_1 = e_2 = (x, y)$ وكان $x = y$ عندئذ نسمي كلاً من العروة e_1 والعروة e_2 عروة مضاعفة عند العقدة x .

3.5 البيان البسيط (Simple Graph)

نسمي البيان $G = (V, E)$ بيان بسيط إذا كان البيان G لا يملك أضلاع مضاعفة، ولا يملك عرى. على سبيل المثال البيان H في الشكل (1) هو بيان بسيط.

3.6 درجة العقدة (Node Degree)

نعرف درجة العقدة v_i على أنها عدد المرات التي تلتقي فيها أضلاع G مع v_i ، وهذا العدد مختلف عن عدد الأضلاع المؤثرة في v_i ، لأن العروة تلتقي مع الرأس مرتين.

نرمز لدرجة v_i بـ $\deg v_i$ أو $d(v_i)$ ، وتحسب درجة v_i بالعلاقة التالية:

$$\deg v_i = |\{e: v_i \in f(e), v_i \neq f(e)\}| + 2|\{e: f(e) = v_i\}| \quad (1)$$

أي أن درجة العقدة تحسب كمجموع لعددتين، الأولى هو عدد أضلاع البيان المؤثرة بالعقدة عدا العرى، والعدد الثاني هو ضعف عدد العرى الموجودة على العقدة.

3.7 مصفوفة التجاور (Adjacency Matrix)

ليكن $G=(V, E)$ بيان بسيط حيث مجموعة عقده $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ومجموعة أضلاعه $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$. نعرف مصفوفة التجاور للبيان $G=(V, E)$ بالمصفوفة $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ، حيث:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (v_i, v_j) \in E \\ 0 & (v_i, v_j) \notin E \end{cases} \quad (2)$$

في هذا البحث، مفهوم مصفوفة تجاور البيان بالنسبة للمتجهة سيكون كما في التعريف السابق مع مراعاة أخذ العقد في المصفوفة وفقاً لترتيبها في المتجهة.

3.8 مجاورات العقدة بالنسبة للمتجهة

ليكن $G(V, E)$ بيان غير موجه ولتكن P متجهة مرتب فيها عقد البيان G . عندئذ نعرف مجاورات العقدة $y \in V$ بالنسبة لـ P بأنها المجموعة M التي عناصرها هي أدلة العقد المضافة في المتجهة P قبل العقدة y ، والتي تجاور y في البيان G . ثم نجمع عدد الأضلاع المشتركة بين العقدة y مع دليل كل عقدة في المجموعة M فنحصل على مجموعة مجاورات العقدة y بالنسبة للمتجهة P .

3.9 تماثل بيانين (Graph Isomorphism)

ليكن G و H بيانين بسيطين، وليكن $f: V(G) \rightarrow V(H)$ تطبيقاً. نقول إن f تماثل من G إلى H إذا تحقق ما يلي:

(1) f تطبيق متباين وغامر.

(2) من أجل كل $x, y \in V(G)$ وكان $(x, y) \in E(G)$ عندئذ فإن:

$$(f(x), f(y)) \in E(H)$$

في هذه الحالة نقول إن G و H متماثلان، نرمز لهذا التماثل بالرمز $H \cong G$ ، ونقول إن f تطبيق محافظ على الشكل.

مبرهنة (1)

لتكن $f: V(G) \rightarrow V(H)$ تشاكلاً من البيان البسيط G إلى البيان البسيط H عندئذ:

1. $|E(G)| = |E(H)|$ و $|V(H)| = |V(G)|$.
2. $\deg(f(x)) = \deg(x)$ فإن $\forall x \in V(G)$.
3. عدد العقد التي قدرة كل منها m في البيان G يساوي عدد العقد التي قدرة كل منها m في البيان H .
4. عدد الدوائر التي طول كل منها r في البيان G يساوي عدد الدوائر التي طول كل منها r في البيان H .
5. G بيان مترابط إذا فقط إذا كان H بيان مترابط.

4 النتائج والمناقشة

تحتل مشكلة تماثل البيانات مكانة مهمة في نظرية التعقيدات، من حيث انتماء المشكلة في التسلسل الهرمي لصفوف التعقيد. سنعرض أولاً التعقيد الزمني لمشكلة تماثل البيانات. ثم ننقل إلى اقتراح خوارزمية جديدة وفعالة لتماثل البيانات غير الموجهة ومثال توضيحي لها. بعد ذلك ندرس التعقيد الزمني للخوارزمية المقترحة وبعض الأعمال ذات الصلة.

4.1 التعقيد الزمني لمشكلة تماثل البيانات

فيما يتعلق بالتعقيد الزمني للخوارزميات [13] تعتبر مشكلة تماثل البيانات مشكلة متوسطة في الصف NP . من وجهة نظر الخوارزميات، فإن هذه النتيجة غير مرضية، لأن أي مشكلة ليست في الصف P تكون غير قابلة للحل بكفاءة (على الأقل في أسوأ الحالات)، بغض النظر فيما إذا كانت من الصف NP -Complete أو لا. بالنظر إلى اثنين من البيانات فإن أحد الطرائق للتحقق فيما إذا كانت متماثلة هي مطابقة العقد في البيان الأول مع العقد في البيان الثاني. لكن بالنسبة للبيان الذي يملك n عقدة يكون عدد المطابقات $n!$ ، وهذا غير عملي مطلقاً. إن أشهر خوارزمية معروفة لتماثل البيانات كانت في عام 1983 [4]. لكن هذه الخوارزمية تعمل في وقت أسّي $2^{O(\log n)^c}$ حيث c

عدد صحيح ثابت صغير كفاية. تعتبر هذه الخوارزمية أسية معتدلة لحل المشكلة. الأسية المعتدلة تعني أن المشكلة من الحجم n ، زمن التنفيذ t لها يعطى بالعلاقة: $n^k < t < a^n$ حيث أن $k, a > 1$ هي أعداد حقيقية عشوائية [7]. هذا يعني الأس في زمن التنفيذ هو دالة تنمو بشكل أبطأ من n . اتبع الباحثون العديد من الأساليب لتحديد مدى تعقيد مشكلة تماثل البيانات. أحد هذه الأساليب هو تحديد صف التعقيد الخاص بمشكلة تماثل البيانات، ومعرفة المشاكل الأخرى التي تقع ضمن الصف نفسه. يعتبر هذا الأسلوب صعب التطبيق نوعاً ما. أسلوب آخر هو تعميم مفهوم NP في مفاهيم أكثر تعقيداً، ودراسة موقع مشكلة تماثل البيانات في صفوف التعقيد الجديدة. الأسلوب الثالث هو محاولة إيجاد خوارزميات حدودية لصفوف خاصة من البيانات. خلال دراستنا وجدنا أن بعض الباحثين قاموا بإيجاد خوارزميات متعددة لصفوف خاصة من البيانات. لكن معظم هذه الخوارزميات تكون من المرتبة الأسية في أسوأ الحالات. تتبع الأسلوب الثالث في دراستنا الحالية ذلك باقتراح خوارزمية تدرس تماثل البيانات غير الموجهة.

4.2 الخوارزمية المقترحة

بعد طرح مشكلة تماثل البيانات وأهميتها في نظرية التعقيدات، توجه بعض الباحثين نحو إيجاد خوارزميات لصفوف خاصة من البيانات. تم في هذا القسم اقتراح خوارزمية جديدة تمكّن من اختبار تماثل البيانات غير الموجهة. نعتمد في الخوارزمية المقترحة على فرض قيود وشروط على البيانات وثم مقارنة مصفوفتي التجاور للبيانيين. قبل البدء بطرح الخوارزمية المقترحة نبحث عن وجود عرى في البيانيين، إذا وجدنا عرى نقوم بإضافة عقدة جديدة إلى البيان الذي يحوي هذه العرى. هذه العقدة ترتبط بالعقدة التي تمتلك عروة، ومن ثم نحذف العروة. وفيما يلي الخوارزمية المقدمّة لتحديد تماثل أو عدم تماثل البيانيين.

Input: $G_1(V_1, E_1), G_2(V_2, E_2)$

1: $P_1 = \Phi$; // متجهة فارغة للبيان G_1

2: While $(V_1(G_1) > 0)$ {

// نختار عقدة X ذات الدرجة الأعلى

3: determine a vertex X of a maximal degree in G ;

// إذا وجد أكثر من عقدة لها نفس درجة X نضعهم في المجموعة M

4: if found more than a vertex equal to degree X put in M ;

5: NN =set of vertex non-neighbors of X ; // مجموعة العقد غير المجاورة لـ X
// مجموعة العقد غير المجاورة لـ X ولها مجاورات مشتركة مع X

6: $Q-X$ =set of non-neighbors of X and have common neighbors with X ;
// مجموعة درجات عقد المجموعة $Q-X$

7: $T-X$ =set of degrees group vertexes $Q-X$;
// المجموع الكلي لدرجات مجاورات عقد $Q-X$

8: $R-X$ = sum of neighbors vertexes $Q-X$;
// مجموع عدد المجاورات المشتركة بين X وعقد $Q-X$

9: $W-X$ =sum number of common neighbors of $Q-X$ and X ;
// مجاورات k بالنسبة للمتجهة P_1

10: $ad-k$ =set vertex neighbors of k Relative to a P_1 ;
// مجموع درجات العقد المجاورة لـ k

11: g_k =sum of degrees of adjacent vertex k ;

12: while($|NN|>0$) { // اختيار العقدة التي لها أكبر عدد من العقد المجاورة المشتركة مع X

13: $\max C_i=0$;

14: for every vertex $Z \in NN$ { // عدد المجاورات المشتركة بين Z و X

15: C_i =number of common neighbors of Z and X ;

16: if($C_i>\max C_i$) { // اختيار العقدة التي لها أكبر عدد من الأعمدة المشتركة مع X و Z

17: $Y=Z$;

18: $\max C_i=C_i$;

19: if($\max C_i=0$) { // في حال عدم وجود عقد في NN لها مجاورات مشتركة مع X

20: Y =vertex of maximal degree in NN ;} // نختار العقدة ذات الدرجة الأكبر في N

21: put Y in P_1 ; // نضع Y في المتجهة P_1

22: find set elements $ad-Y$; // إيجاد مجموعة عناصر $ad-Y$ بالنسبة لـ Y

23: Update the set NN of non-neighbors of X ;} // تحديث NN

// أصبحت X مجاورة لكل العقد غير المضافة في P_1 بالتالي نضيف X للمتجهة

24: put X in P_1 ;

دراسة حول اختبار التماثل لفئة خاصة من البيانات

```

// نأخذ مجموعة عناصر ad-X بالنسبة لـ X
25:find set elements ad-X;
26:write adjacency matrix for P1; // P1 بالنسبة للمتجهة
27:P2=Φ; // متجهة فارغة للبيان G2
28:While(V2(G2)>0){
29:adz-k=set neighbors of k relative to a P2; // P2 بالنسبة للمتجهة
// مجموع درجات العقد المجاورة لـ k
30:Mk=sum of degrees of adjacent vertex k;
//G2 نختار عقدة X' ذات الدرجة الأعلى في البيان
31:determin a vertex X' of a maximal degree in G2;
// إذا كانت درجة X' لا تساوي درجة X التي تم اختيارها في البيان G1 فإن البيانيين غير متماثلين
32:if(degree(X') ≠ degree(X));
33:then G1 is not isomorphism G2;
34: Stop;
35: else
إذا وجد أكثر من عقدة لها نفس درجة X' نضعهم في N. نختار منها عقدة تكون مجاوراتها بالنسبة لـ P2
مساوية لمجاورات X بالنسبة لـ P1 ومجموع درجات العقد المجاورة لها يساوي مجموع درجات العقد
المجاورة لـ X عدد العقد في Q-X يساوي عدد العقد في Q-X' ومجموع درجات عقد Q-X يساوي
مجموع درجات عقد Q-X وعناصر المجموعة Q-X هي نفسها عناصر المجموعة Q-X
36:if found more than a vale max equal put in N and choose X'
considering(adz-X'=ad-x and Mx==gx and |Q-X|=|Q-X'| and W-X=W-
X' and T-X=T-X' and R-X=R-X');

// إذا كان عدد العقد ذات الدرجة الأعظم في G2 لا تساوي مقابلاتها في G1 يكون G2 ≠ G1
37:if(|N|≠|M|) then G2 is not isomorphism G1;
stop;
// إذا لم يوجد أي عقدة في N مجاوراتها بالنسبة لـ P2 تساوي مجاورات X بالنسبة لـ P1 يكون G2 ≠ G1
38:else if (∀X' ∈ N adz - X' ≠ ad - X )
then G2 is not isomorphism G1;

```

stop;
 39:else{
 //X' مجموعة العقد غير المجاورة لـ X'
 40:MM=set vertex of non-neighbors of X';
 // اختيار العقدة التي لها أكبر عدد من العقد المجاورة المشتركة مع X'
 41:While (|MM|>0){
 42:max C_i=0;
 43:for every vertex Z ∈ MM {
 // عدد المجاورات المشتركة بين Z و X'
 44:C_i=number of common neighbors of Z and X';
 نختار عقدة من M بحيث يكون لها العدد الأكبر من العقد المشتركة مع X' تكون درجاتها ومجاوراتها بالنسبة لـ P₂ تساوي درجة ومجاورات Y المختارة في G₁ بالنسبة لـ P₁ وايضاً مجموع درجات مجاوراتها تساوي مجموع درجات مجاورات Y والمجموع الكلي لدرجات مجاورات العقد في Q-Y يساوي المجموع الكلي لدرجات مجاورات العقد غير المجاورة للعقدة التي سنختارها ولها مجاورات مشتركة معها//
 45:if(C_i>max C_i and adz-Z=ad-Y and degree(Y)=degree(Z') and g_Y=M_Z and R-Y=R-Z){
 46:Y'=Z';
 47:max C_i=C_i;}
 // في حال عدم وجود عقد في MM لها مجاورات مشتركة مع X'
 48:if(max C_i=0){
 نختار Y' بحيث تكون العقدة ذات الدرجة الأكبر في MM والمجموع الكلي لدرجات مجاورات العقد في Q-Y يساوي المجموع الكلي لدرجات مجاورات العقد في Q-Y'
 // Q-Y'
 49:Y'=vertex of maximal degree in MM and R-Y=R-Y';
 نختار Y' بحيث تكون درجاتها ومجاوراتها بالنسبة لـ P₂ تساوي درجة ومجاورات Y المختارة في G₁ بالنسبة لـ P₁ وايضاً مجموع درجات مجاوراتها تساوي مجموع درجات مجاورات Y
 // P₁
 50: choose Y' consider(adz-Y'=ad-Y and g_Y=M_{Y'});
 إن لم يوجد عقدة في MM تحقق الشروط المذكورة في التعلية السابقة يكون البيانين G₂ ≇ G₁
 51: ∀Y' ∈ MM if (adz-Y' ≠ ad-Y or g_Y=M_{Y'})
 then G₂ is not isomorphism G₁;

52:break;}

53:put Y' in P_2 ; // نضع Y' في المتجهة P_2

54:Update the set MM of non-neighbors of X' ; } // تحديث المجموعة MM

// أصبحت X' مجاورة لكل العقد غير المضافة في P_2 بالتالي نضيف X' للمتجهة //

55:put X' in P_2 ;

56:write adjacency matrix for P_2 ; // نكتب مصفوفة تجاور G_2 بالنسبة لـ P_2

// إذا كانت المصفوفتين متساويتين يكون البيانيين متماثلان وإلا غير متماثلان //

57:if (adjacency matrix for P_2 =adjacency matrix for P_1)

Then G_1 is isomorphism G_2 ;

58:else

G_1 is not isomorphism G_2 ;

Output: $G_2 \not\cong G_1$ or $G_2 \cong G_1$

سنقوم بشرح خطوات الخوارزمية وفق ما يلي:

المدخلات: البيانيين $G_1(V_1, E_1)$ ، $G_2(V_2, E_2)$

المخرجات: تماثل أو عدم تماثل البيانيين G_1 و G_2

• الخطوة الأولى

لتكن لدينا P_1 متجهة فارغة. نبدأ في البيان G_1 نختار عقدة x ذات الدرجة الأعلى ونقوم بإيجاد مجموع درجات العقد المجاورة لها. في حال وجود أكثر من عقدة لها نفس درجة العقدة x نضعهم في مجموعة M .

• الخطوة الثانية

نقوم بإيجاد العقد غير المجاورة لـ x ونضعهم في المجموعة NN . نختار من NN العقد التي تمتلك عقد مجاورة مشتركة مع x ونضعهم في المجموعة Q_1 . ثم نقوم بما يلي:

- حساب عدد المجاورات المشتركة بين كل عقدة من Q_1 مع x ونجمعهم وليكن المجموع هو S_1 . ثم نأخذ مجموع درجات مجاورات كل عقدة من Q_1 وليكن المجموع الكلي لدرجات مجاورات العقد في Q_1 هو S_2 .

- نختار y غير المجاورة لـ x والتي تمتلك أكبر عدد من العقد المجاورة المشتركة مع x .

• الخطوة الثالثة

في هذه الخطوة نقوم بما يلي:

- نضيف y إلى P_1 . ثم نقوم بإيجاد مجاورات y بالنسبة إلى P_1 .
- نضيف العقد الأخرى من NN إلى P_1 ، مع مراعاة أخذ العقد التي تمتلك أكبر عدد من العقد المجاورة المشتركة مع x . نوجد مجاورات العقد بالنسبة لـ P_1 .

• الخطوة الرابعة

إذا أصبحت x تجاور كل العقد التي لم يتم إضافتها إلى P_1 ، نقوم بإضافة x إلى P_1 وإيجاد مجاوراتها بالنسبة لـ P_1 . نستمر بتكرار الخطوات السابقة واستثناء كل عقدة تمت إضافتها إلى P_1 حتى يتم إضافة كل العقد إلى P_1 .

• الخطوة الخامسة

نكتب مصفوفة التجاور للبيان G_1 وفق ترتيب العقد في P_1 . إذا كان البيان يحوي على عرى وتمت إضافة عقد جديدة له يتم حذف هذه العقد من المتجهة عند كتابة المصفوفة. نكتب المصفوفة للبيان بالنسبة للمتجهة مع مراعاة وجود العرى.

• الخطوة السادسة

ننتقل إلى G_2 ونختار عقدة x' ذات الدرجة الأعلى في G_2 مع مراعاة ما يلي:

- نحسب درجة x' يجب أن تكون مساوية لدرجة x المختارة في البيان G_1 . مجموع درجات مجاوراتها لها نفس مجموع درجات مجاورات x .
- إذا وجد أكثر من عقدة لها نفس درجة x' نضعهم في مجموعة M' ، في حال كانت عدد العقد الموجودة في M' لا يساوي عدد العقد الموجودة في M يكون البيانين G_1 و G_2 غير متماثلين.
- نوجد مجاورات x' بالنسبة إلى P_2 . يجب أن تكون مجاورات x' بالنسبة إلى P_2 مساوية لمجاورات x بالنسبة للعقد الموجودة في P_1 .
- نقوم بإيجاد العقد التي لا تجاور x' ونضعهم في المجموعة NN' . يجب أن يكون عدد العقد NN' يساوي عدد العقد في NN .
- نقوم بإيجاد درجات العقد في NN' ونقارنها بدرجات العقد في NN (على سبيل المثال: إذا وجد في NN عقدتين درجتها 5 يجب أن يكون في NN' عقدتين درجتها 5).

- نقوم بإيجاد العقد غير المجاورة لـ X' والتي تمتلك عقد مجاورة مشتركة مع X' ونضعهم في المجموعة Q_2 .
- نقارن عدد العقد في Q_1 مع عدد العقد في Q_2 ويجب أن يكون $Q_1=Q_2$. نقوم بحساب عدد العقد المشتركة بين كل عقدة من Q_2 مع X' ونجمعهم وليكن المجموع هو S'_1 . يجب أن يكون $S'_1=S_1$.
- نأخذ مجموع درجات مجاورات كل عقدة من Q_2 وليكن المجموع الكلي لدرجات كل العقد المجاورة للعقد في Q_2 هو S'_2 . يجب أن يكون $S_2=S'_2$. إذا لم يوجد أي عقدة في البيان الثاني تحقق الشروط السابقة كلها يكون البيانيين غير متماثلين.

• الخطوة السابعة

نأخذ العقدة Y' غير المجاورة لـ X' والتي تمتلك أكبر عدد من العقد المجاورة المشتركة مع X' . نراعي ما يلي:

- أن تكون Y' لها نفس درجة العقدة Y التي تم إيجادها في الخطوة 2.
- أن تكون مجموع درجات مجاورات Y' لها نفس مجموع درجات مجاورات Y .
- أن يكون مجموع درجات مجاورات العقد غير المجاورة لـ Y' وتتشترك معها بعقد مجاورة مساوي لمجموع درجات مجاورات العقد التي لا تجاور Y وتتشترك معها بعقد مجاورة. بعد ذلك نوجد مجاورات Y' بالنسبة إلى P_2 . يجب أن تكون مجاورات Y' بالنسبة إلى P_2 مساوية لدليل مجاورات Y بالنسبة للعقد الموجودة في P_1 والتي تم إيجادها في الخطوة الثالثة.

في حال عدم وجود عقدة تحقق الشروط السابقة في G_2 يكون G_1 و G_2 غير متماثلين.

• الخطوة الثامنة

في هذه الخطوة نضيف Y' إلى P_2 . ثم نضيف العقد في NN' في حال وجودها مع مراعاة الشروط الأربعة المذكورة في الخطوة السابعة ونضيفها بالترتيب إلى P_2 . نقارن العقدة المراد حذفها وإضافتها إلى الخانة i في P_2 مع العقدة المضافة في الخانة i في P_1 .

• الخطوة التاسعة

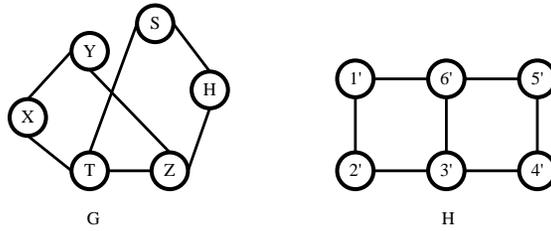
إذا أصبحت العقدة X' مجاورة لكل عقد G_2 ، نخترلها ونضيفها إلى P_2 ونعود للخطوة السادسة. نكرر الخطوات من السادسة إلى التاسعة حتى يتم اختزال كل عقد البيان G_2 وإضافتها إلى P_2 .

• الخطوة العاشرة

نكتب مصفوفة التجاور لـ G_2 وفق ترتيب العقد في P_2 . إذا كانت مصفوفة التجاور لـ G_1 تساوي مصفوفة التجاور للبيان G_2 يكون البيانيين متماثلين. أما إذا كانت مصفوفة التجاور للبيانيين غير متساويتين يكون البيانيين غير متماثلين.

ملاحظة (2)

نبدأ بوضع العقد في المتجهة من الدليل رقم 1. عندما لا تجاور العقدة أي من العقد المضافة التي تسبقها في المتجهة نقول إن مجاوراتها هي 0.



الشكل 2 البيانيان H و G.

مثال (1)

أثبت تماثل البيانيين H و G المبيينين في الشكل (2). سنعمل على إثبات التماثل وفقاً لخطوات الخوارزمية المقترحة.

• الخطوة الأولى

نضع P_1 متجهة فارغة. نبدأ في البيان G نجد أن العقد ذات الدرجة الأكبر هي $M_1 = \{T, Z\}$ ، نختار العقدة T.

• الخطوة الثانية

العقد غير المجاورة لـ T هي $NN_1 = \{Y, H\}$. نختار من NN_1 العقد التي تمتلك عقد مجاورة مشتركة مع T ونضعهم في المجموعة $Q_1 = \{Y, W\}$. ثم نقوم بما يلي:

1. نجمع عدد المجاورات المشتركة بين كل عقدة من Q_1 مع T وليكن المجموع $S_1 = 4$.

2. نحسب مجموع درجات مجاورات كل عقدة من Q_1 . فنجد أن المجموع الكلي لدرجات مجاورات العقد في Q_1 هو $S_2 = 10$.

3. بما أن العقدتين في Q_1 لهما نفس عدد المجاورات المشتركة مع T نختار أي عقدة منهما ولتكن Y .

• الخطوة الثالثة

في هذه الخطوة نقوم بما يلي:

1. نضيف Y إلى P_1 .
2. مجاورات Y بالنسبة إلى P_1 هي $\{0\}$.
3. نضيف الآن العقدة H إلى P_1 , مجاوراتها بالنسبة لـ P_1 هي $\{0\}$.

• الخطوة الرابعة

T تجاور كل العقد التي لم يتم اضافتها إلى P_1 . نقوم بإضافة T إلى P_1 . مجاورات T بالنسبة لـ P_1 هي $\{0\}$. أصبحت المتجهة $P_1 = [Y, H, T]$. نستمر بتكرار الخطوات السابقة واستثناء كل عقدة تمت إضافتها إلى P_1 . العقدة ذات الدرجة الأكبر هي Z نأخذ العقد غير المجاورة لـ Z ونجد أنها $NN_2 = \{S, X\}$. نختار من NN_2 العقد التي تمتلك عقد مجاورة مشتركة مع Z ونضعهم في المجموعة $Q_2 = \{S, X\}$. ثم نقوم بالخطوات التالية:

1. مجموع عدد المجاورات المشتركة بين كل عقدة من Q_2 مع Z ونجمعهم. فنجد المجموع هو $S_3 = 4$.
2. نحسب مجموع درجات مجاورات كل عقدة من Q_2 . فنجد أن المجموع الكلي لدرجات مجاورات العقد في Q_2 هو $S_4 = 10$.
3. بما أن العقدتين في Q_2 لهما نفس عدد المجاورات المشتركة مع Z نختار أي عقدة منهما ولتكن X . نضيف X إلى P_1 .
4. مجاورات X بالنسبة إلى P_1 هي $\{2, 4\}$.
5. نضيف الآن العقدة S إلى P_1 , مجاوراتها بالنسبة لـ P_1 هي $\{3, 4\}$.

أصبحت Z عقدة وحيدة بعد إضافة كل العقد إلى P_1 . نقوم بإضافة Z إلى P_1 . مجاورات Z بالنسبة لـ P_1 هي $\{2, 3, 4\}$. أصبحت المتجهة $P_1 = [Y, H, T, X, S, Z]$ بالتالي أضفنا كل العقد إلى P_1 .

• الخطوة الخامسة

مصفوفة التجاور للبيان G وفق ترتيب العقد في P_1 هي:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

• الخطوة السادسة

ننتقل إلى البيان H، نضع P_2 متجهة فارغة. نجد أن العقد ذات الدرجة الأكبر هي $M'_1 = \{3', 6'\}$ نلاحظ أن عدد العقد في M_1 يساوي عدد العقد M'_1 . نختار عقدة من M'_1 ولتكن $3'$ ونتحقق من الشروط التالية:

1. درجة العقدة $3'$ تساوي درجة العقدة T المختارة في البيان G_1 . مجموع درجات مجاورات العقدة $3'$ هي 7 تساوي مجموع درجات مجاورات T.
2. مجاورات $3'$ بالنسبة إلى P_2 هي $\{0\}$ وتساوي مجاورات T بالنسبة لـ P_1 .
3. مجموعة العقد التي لا تجاور $3'$ $NN'_1 = \{1', 5'\}$. نلاحظ أن عدد العقد في NN'_1 يساوي عدد العقد في NN_1 .

4. درجات العقد في NN'_1 تساوي درجات العقد في NN_1 .

5. مجموعة العقد غير المجاورة لـ $3'$ والتي تمتلك عقد مجاورة مشتركة مع $3'$ هي $Q'_1 = \{1', 5'\}$.

6. عدد العقد في Q'_1 يساوي عدد العقد في Q_1 . نجمع عدد العقد المشتركة بين كل عقدة من Q'_1 مع $3'$ وليكن المجموع هو $S'_1 = 4$. نلاحظ أن $S'_1 = S_1$.

7. المجموع الكلي لدرجات مجاورات كل عقدة من Q'_1 هو $S'_2 = 10$. نلاحظ أن $S_2 = S'_2$.

• الخطوة السابعة

بما أن كل العقد في Q'_1 لها نفس عدد المجاورات المشتركة مع $3'$ بالتالي نختار أي عقدة من Q'_1 ولتكن $5'$ ونتحقق من الشروط التالية:

1. العقدة $5'$ لها نفس درجة العقدة Y في البيان G.

2. مجموع درجات مجاورات $5'$ هي 5 وتساوي مجموع درجات مجاورات Y .
3. العقد غير المجاورة لـ $5'$ وتتشترك معها بعقد مجاورة هي $\{1,3\}$. مجموع درجات مجاورات هذه العقد هو 12 ويساوي مجموع درجات مجاورات العقد التي لا تجاور Y وتتشترك معها بعقد مجاورة.
4. مجاورات $5'$ بالنسبة لـ P_2 هي $\{0\}$. نلاحظ أن مجاورات $5'$ بالنسبة إلى P_2 تساوي مجاورات Y بالنسبة لـ P_1 .

تحقق العقدة $5'$ كل الشروط بالتالي نختارها وننتقل إلى الخطوة الثامنة.

• الخطوة الثامنة

- نضيف $5'$ إلى P_2 . ثم ننتقل إلى العقدة $1'$ ونتحقق من الشروط المذكورة في الخطوة السابعة نلاحظ أن العقدة $1'$ لها نفس درجة العقدة H في البيان G . مجموع درجات مجاورات العقدة $1'$ هي 5 وتساوي مجموع درجات مجاورات العقدة H . العقد غير المجاورة لـ $1'$ وغير المضافة للمتجهة وتتشترك مع $1'$ بعقد مجاورة هي $\{3\}$. مجموع درجات مجاورات هذه العقد هو 7 ويساوي مجموع درجات مجاورات العقد التي لا تجاور H وتتشترك معها بعقد مجاورة. مجاورات $1'$ بالنسبة لـ P_2 هي $\{0\}$. نلاحظ أن مجاورات $1'$ بالنسبة إلى P_2 تساوي مجاورات H بالنسبة لـ P_1 . بالتالي نضيف $1'$ إلى P_2 .

• الخطوة التاسعة

- العقدة $3'$ مجاورة لكل عقد البيان G_2 غير المضافة إلى P_2 ، بالتالي نضيفها إلى P_2 . أصبحت المتجهة كما يلي $P_2 = [5', 1', 3']$. ونعود للخطوة السادسة. نكرر الخطوات من السادسة إلى التاسعة مع استثناء العقد المضافة في P_2 . العقدة ذات الدرجة الأكبر الآن هي $6'$ نتحقق من الشروط التالية:

1. درجة العقدة $6'$ تساوي درجة العقدة Z المختارة في البيان G_1 . مجموع درجات مجاورات العقدة $6'$ هي 7 تساوي مجموع درجات مجاورات Z .
2. مجاورات $6'$ بالنسبة إلى P_2 هي $\{2,3,4\}$ تساوي مجاورات Z بالنسبة لـ P_1 .
3. مجموعة العقد التي لا تجاور $6'$ هي $\{2',4'\}$ $NN'_2 = \{2',4'\}$. نلاحظ أن عدد العقد في NN'_2 يساوي عدد العقد في NN_2 .

4. درجات العقد في NN'_2 تساوي درجات العقد في NN_2 .
 5. نقوم بإيجاد العقد غير المجاورة لـ $6'$ والتي تمتلك عقد مجاورة مشتركة مع $6'$ ونضعهم في المجموعة $Q'_2 = \{2', 4'\}$.
 6. عدد العقد في Q'_2 يساوي عدد العقد في Q_2 . نجمع عدد العقد المشتركة بين كل عقدة من Q'_2 مع $6'$ وليكن المجموع هو $S'_3 = 4$. نلاحظ $S'_3 = S_3$.
 7. مجموع درجات مجاورات كل عقدة من Q'_2 هو $S'_4 = 10$. نلاحظ أن $S'_4 = S_4$.
- بما أن كل العقد في Q'_2 لها نفس عدد المجاورات المشتركة مع $6'$ بالتالي نختار أي عقدة من Q'_2 ولتكن $2'$ ونتحقق من الشروط:
1. العقدة $2'$ لها نفس درجة العقدة X في البيان G .
 2. مجموع درجات مجاورات $2'$ هي 5 وتساوي مجموع درجات مجاورات X .
 3. العقد غير المجاورة لـ $2'$ وتتشترك معها بعقد مجاورة هي $\{4', 6'\}$. مجموع درجات مجاورات هذه العقد هو 12 ويساوي مجموع درجات مجاورات العقد التي لا تجاور X وتتشترك معها بعقد مجاورة.
 4. مجاورات $2'$ بالنسبة لـ P_2 هي $\{3, 4\}$. نلاحظ أن مجاورات $2'$ بالنسبة إلى P_2 لا تساوي مجاورات X بالنسبة لـ P_1 . بالتالي لا يمكن اختيارها ننقل إلى اختبار العقدة $4'$. العقدة $4'$ لها نفس درجة العقدة X في البيان G . مجموع درجات مجاورات العقدة $4'$ هي 5 وتساوي مجموع درجات مجاورات العقدة X . العقد غير المجاورة لـ $4'$ وتتشترك معها بعقد مجاورة هي $\{2', 6'\}$. مجموع درجات مجاورات هذه العقد هو 12 ويساوي مجموع درجات مجاورات العقد التي لا تجاور X وتتشترك معها بعقد مجاورة. مجاورات $4'$ بالنسبة لـ P_2 هي $\{2, 4\}$. نلاحظ أن مجاورات $4'$ بالنسبة إلى P_2 تساوي مجاورات X بالنسبة لـ P_1 .
- تحقق العقدة $4'$ كل الشروط بالتالي نختارها ونضيفها إلى المتجهة P_2 . ننقل الآن إلى العقدة $2'$ ونتحقق من الشروط التالية:
1. العقدة $2'$ لها نفس درجة العقدة S في البيان G .
 2. مجموع درجات مجاورات العقدة $2'$ هي 5 وتساوي مجموع درجات مجاورات S .

3. العقد غير المجاورة لـ $2'$ وتشارك معها بعقد مجاورة هي $\{6'\}$. مجموع درجات مجاورات هذه العقد هو 7 ويساوي مجموع درجات مجاورات العقد التي لا تجاور S وتشارك معها بعقد مجاورة.
4. مجاورات $2'$ بالنسبة لـ P_2 هي $\{3,4\}$. نلاحظ أن مجاورات $2'$ بالنسبة إلى P_2 تساوي مجاورات S بالنسبة لـ P_1 . بالتالي نضيفها إلى P_2 . لم يتبقى لدينا إلا $6'$ نضيفها إلى P_2 وأصبحت كالتالي $P_2 = \{5',1',3',4',2',6'\}$.

• الخطوة العاشرة

مصفوفة التجاور للبيان H بالنسبة لـ P_2 هي:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

نلاحظ أن مصفوفتي التجاور للبيانين H و G متساويتين بالتالي البيانين متماثلين.

4.3 تعقيد الخوارزمية

من الخطوة 1 في الخوارزمية إلى الخطوة 26 التعقيد يكون بالشكل التالي: بفرض أن عدد عقد البيان هي n . نحتاج إلى $O(n)$ لتحديد العقدة x ، التي لها أكبر درجة في البيان. اختزال جميع العقد غير المجاورة لـ x ، التي تكمن بالبحث عن العقدة v مع العدد الأكبر من المجاورات المشتركين مع x هو $O(n^2)$ ، ومنه يكون تعقيد القسم الأول هو: $T_1 = O(n^2) * O(n) = O(n^3)$.

من الخطوة 27 إلى الخطوة 58 يكون التعقيد بالشكل التالي: نحتاج إلى $O(n)$ لتحديد العقدة x' التي لها أكبر درجة بالإضافة إلى $O(n)$ لمقارنة مجاورات x' بالنسبة لـ P_2 مع مجاورات x بالنسبة لـ P_1 . في أسوأ الحالات سوف نقوم بـ n مقارنة. نقوم بمقارنة واحدة لمجموع درجات مجاورات x مع مجموع درجات مجاورات x' . اختزال جميع العقد غير المجاورة لـ x' ، التي تكمن بالبحث عن العقدة v' مع العدد الأكبر من المجاورات المشتركين مع x' هو $O(n^2)$ ، ومنه يكون تعقيد القسم الثاني هو: $T_2 = O(n^2) * O(n) * O(n) = O(n^4)$.

تعقيد المقارنة بين مصفوفتين التجاور للبيانين هي $O(n^2)$. التعقيد الكلي للخوارزمية هو:

$$.T_1 + T_2 + O(n^2) = O(n^3) + O(n^4) + O(n^2) = O(n^4)$$

4.4 الاعمال ذات الصلة

لجأ الباحثون إلى تطوير العديد من الخوارزميات، التي تثبت تماثل وعدم تماثل صفوف خاصة من البيانات. نذكر بعض من هذه الخوارزميات:

1. قدم Weinberg خوارزمية تختبر تماثل البيانات المستوية والمرتبطة من الدرجة 3. تقوم الخوارزمية بحساب ترميز (code) لكل من البيانين. إذا كان الترميز للبيان الأول مساوياً للترميز في البيان الثاني نقول أن البيانين متماثلين. التعقيد الزمني لخوارزمية Weinberg هو $O(n^2)$. تم تطوير هذه الخوارزمية وتوسيعها من قبل Hopcroft و Tavjan فأصبحت الخوارزمية تختبر تماثل البيانات المستوية ويتعقد زمني $O(n \log n)$. الخوارزمية ذات تعقيد زمني جيد لكنها تقتصر على البيانات المستوية [11].
2. استخدم الباحثين المشي الكومي (Quantum Walk) كنموذج جديد للحساب الكومي، من أجل اكتشاف البيانات المتماثلة وتحسين التعقيد الزمني مقارنة بنموذج الحساب الكلاسيكي (Classical Computation Model). لكن الخوارزميات المستوحاة من الكم لا تعمل بشكل جيد وفي بعض الاحيان تتوقف عن العمل في البيانات المنتظمة. لذلك في [5] اقترح الباحثين خوارزمية MapEff التي تعتمد على استخدام المشي الكمي في الوقت المنفصل (DTQW)، ذلك من أجل تحسين دقة الكشف عن تماثل البيانات المنتظمة.
3. استهدفت إحدى الخوارزميات البيانات غير الموجهة حيث عملت على إيجاد التماثل من خلال بناء البيان المعطى كبيان متعدد المستويات. الخوارزمية فعالة وذات تعقيد زمني هو $O(n^4)$. لكن اقتصرت الخوارزمية فقط على البيانات غير الموجهة المنتظمة [7].
4. في [12] تم اقتراح خوارزمية متعددة الحدود تثبت تماثل البيانات غير الموجهة، حيث تعمل الخوارزمية على إيجاد تطبيق التقابل بين البيانين G_1 و G_2 من خلال اختيار عقدة v وبناء بيان موجة مساعد للبيان الأول $\vec{G}_1(v)$ ، ثم اختيار عقدة u من البيان G_2 وبناء بيان موجة مساعد $\vec{G}_2(u)$. أخيراً تقوم الخوارزمية بمقارنة خصائص العقد

ل $\vec{G}_1(v)$ مع $\vec{G}_2(u)$ وتحديد أزواج العقد ذات الخصائص المتساوية لنحصل على دالة التماثل تدريجياً، وحذف تلك العقدتين من $\vec{G}_1(v)$ و $\vec{G}_2(u)$. يتم تكرار العملية حتى نحصل على جميع أزواج العقد المقابلة. تعقيد الخوارزمية هو $O(n^5)$ لكنها لا تعمل إلا على البيانات البسيطة.

5. في [10] تم إيجاد خوارزمية حدودية تثبت تماثل أي بيانين غير موجهين في وقت حدودي وتنفذ وفق الخطوات التالية:

- الدخول: يتم إدخال مصفوفتي التجاور للبيانين المراد اختبار تماثلهما. في البداية نقارن عدد العقد وعدد الأضلاع للبيانين. ثم نقوم بتجميع العقد التي لها نفس الدرجة ونضعهم في صف. عدد الصفوف في المصفوفتين يجب أن يكون نفسه. إذا كانت جميع الثوابت السابقة متساوية للمصفوفتين نكمل وننتقل للخطوة الثانية. يتم تمثيل المصفوفتين في حقول كما في الجدول الموضح في الشكل 4.
- يتضمن هذا الجدول الحقول التالية: (I) حقل vertex الذي يمثل عقد البيانين، (II) حقل d_1 يحتوي الصفوف التي تنتمي إليه العقد المقابلة في البيان الأول، (III) حقل d_2 يحتوي على الصفوف التي تنتمي إليها العقد المقابلة في البيان الثاني، (IV) حقل Res يحتوي على العقد من البيان الثاني المقابلة للعقد في البيان الأول، (V) حقل yes يحتوي I إذا وجدنا مقابل للعقدة في البيان الأول، (VI) حقل Attach هو حقل الارتباط وله أهمية في مقارنة العقد، حيث أنه بمجرد العثور على عقدة مقابلة من البيان الثاني للعقدة في البيان الأول فإنه يجب أن تتوافق جميع العقد المتجاورة لكلا العقدتين مع بعضها البعض.
- المعالجة: تقوم دالة التماثل بالعثور على جميع العقد المقابلة إذا كان البيانين متماثلين. تعمل دالة التماثل كما يلي:

تختار العقدة الأولى من الصف الأول وتقارنها بعقد من نفس الصف في البيان الثاني. تسمى العقدة المختارة بالعقدة الرئيسية. تتم مقارنة كل حقل من حقول العقدة الرئيسية والعقدة المجاورة لها. جميع العناصر المجاورة للعقدة المختارة من البيان الثاني تتوافق مع العقدة الرئيسية لذلك لا تتم المقارنة مرة

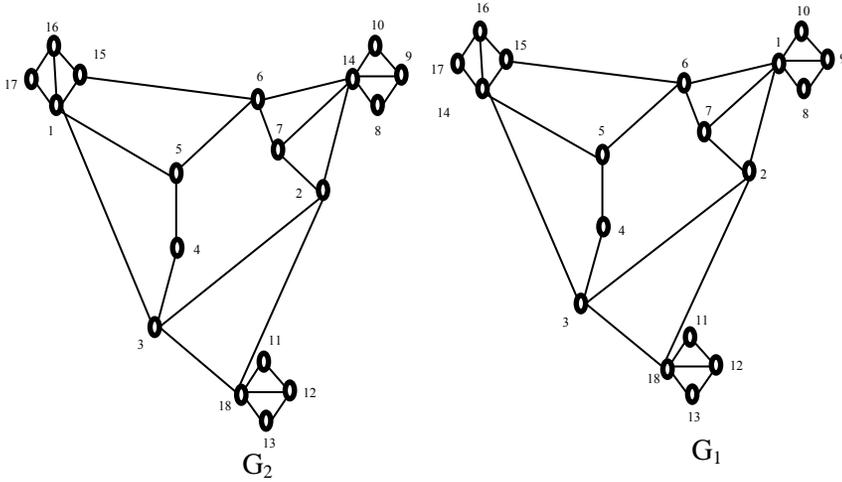
أخرى. إذا لم يتم العثور على عقدة تحقق المطلوب عندئذ البيانين غير متماثلين، وإلا نكمل حتى نحصل على جميع العقد المقابلة. نغير مواضع العقد في المصفوفة الثانية وفقاً لمقابلاتها في المصفوفة الأولى ونقارن المصفوفتين.

■ الخرج: البيانين متماثلين أو لا.

لكن بعد ما قمنا بتطبيق الخوارزمية المقدمة في [10] على المثال (2) وجدنا أنها غير صالحة لكل البيانات غير الموجهة حيث أعطت نتيجة خاطئة.

مثال (2)

ليكن لدينا البيانين G_1 و G_2 المتماثلين والموضحين في الشكل (3). سنحاول إثبات تماثلهما وفقاً للخوارزمية المقدمة في [10].



الشكل (3) البيانين G_1 و G_2 المتماثلين

مصفوفة التجاور للبيان G_1 تعطى كما يلي:

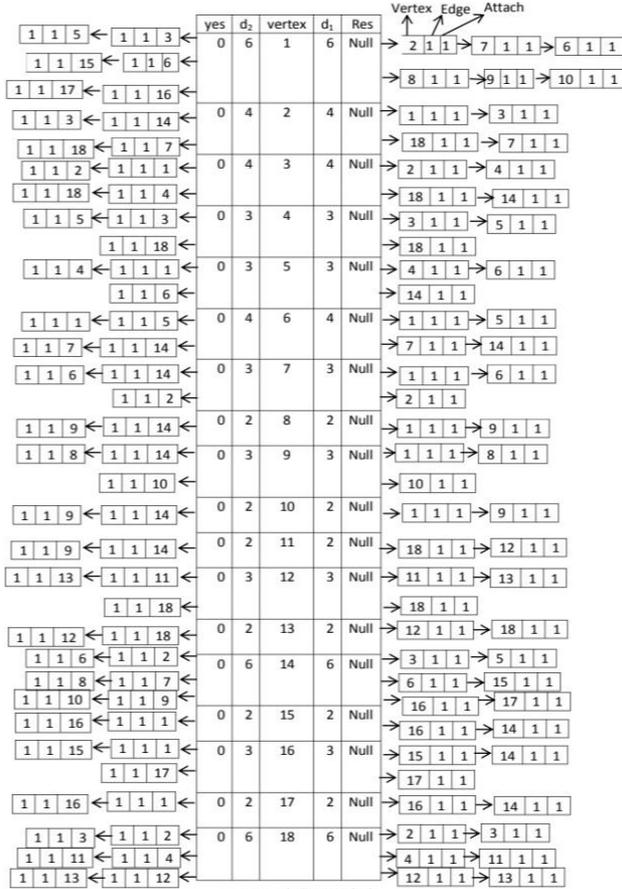
1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
14	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
18	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

دراسة حول اختبار التماثل لفئة خاصة من البيانات

مصفوفة التجاور للبيان G_2 هي:

0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

يتم تمثيل المصفوفتين تبعاً للخوارزمية في [10] كما موضح في الشكل (4).



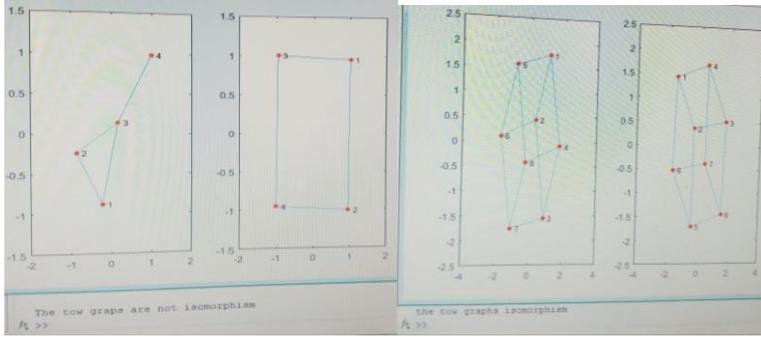
الشكل (4) تمثيل المصفوفتين كما في [10]

دراسة حول اختبار التماثل لفئة خاصة من البيانات

نلاحظ أن مصفوفة التجاور للبيان G_2 مع مراعاة ترتيب العقد فيها تبعاً لمقابلاتها في البيان G_1 لا تساوي مصفوفة التجاور للبيان G_1 . بالتالي يكون البيانين غير متماثلين وهذه نتيجة خاطئة ومنه الخوارزمية لا تعطي نتيجة صحيحة لكل البيانات غير الموجهة. في المقابل يستطيع القارئ بكل سهولة تطبيق خوارزمتنا المقترحة على البيانين والتي عرضناها في الفقرة 4.2 والتأكد من تماثلهما.

5 الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث تقديم خوارزمية جديدة لتماثل البيانات، تختبر تماثل أو عدم تماثل أي بيانين غير موجّهين. الاعتماد على مقارنة مصفوفتي التجاور للبيانين مكننا من التحقق من التماثل. قمنا بحساب التعقيد الزمني للخوارزمية المقترحة وهي حدودية بتعقيد $O(n^4)$. بالإضافة إلى ذلك قمنا باختبار الخوارزمية على العديد من البيانات ومحاكاتها على برنامج الماتلاب. يوصى بمحاولة تطوير الخوارزمية لتصبح قادرة على اختبار تماثل كافة أنواع البيانات ضمن تعقيد حدودي. يبين الشكل (5) بعض من التطبيق العملي للخوارزمية المقترحة باستخدام بيئة الماتلاب.



الشكل (5) التطبيق العملي للخوارزمية المقترحة باستخدام بيئة الماتلاب.

6 المراجع

- [1] KLUS S; SAHAI T, 2017 - A Spectral Assignment Approach for the Graph Isomorphism Problem. *Information and Inference: A Journal of the IMA*, 7(4), 689-706.
- [2] BABAI L, 2018 - Group, Graphs, Algorithms: The Graph Isomorphism Problem. *Rio de Janeiro*.4, 3337-3354.
- [3] KOBLER J; SCHÖNING U.; TORÁN J., 2012 - The Graph Isomorphism Problem, Its Structural Complexity. Springer Science and Business Media.
- [4] BABAI L; DAWAR A.; SCHWEITZER P.; TORAN J., 2016 - The Graph Isomorphism Problem. Dagstuhl Reports ,5, *Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik*, 17 Pages.
- [5] LIU K; ZHANG Y.; LU K.; WANG X.; TIAN G., 2019- MapEff: An Effective Graph Isomorphism Algorithm Based on the Discrete-Time Quantum Walk. *Entropy*, 21(6), 16 Pages.
- [6] TAKAPOUI R; BOYD S, 2016 - Linear Programming Heuristics for the Graph Isomorphism Problem. ArXiv Preprint ArXiv:1611.00711, 17 Pages.
- [7] FORTIN S, 1996 - The Graph Isomorphism Problem. Department of Computing Science The University Of Alberta, 25 Pages.
- [8] MENDIVELSO J, KIM S., ELNIKETY S.; HE Y.; HWANG S-W.; PINZON Y., 2013 - Solving Graph Isomorphism Using Parameterized Matching. *International Symposium on String Processing and Information Retrieval*, Springer, Cham, 230-242.
- [9] ALKHANIFUS K, 2010- Graph Theory. Publication of Damascus University Faculty of science, Syria, 285 page.
- [10] RIAZ K., SIKANDER M., KHIYAL H., ARSHAD M, 2005. Matrix equality: An application of graph isomorphism. *Information Technology Journal*, 4(1), 6 Pages.
- [11] THIERAUF T., WAGNER F, 2010. The isomorphism problem for planar 3-connected graphs is in unambiguous logspace. *Theory of computing systems*, 47(3), 655-673.
- [12] PLOTNIKOV A. D. 2018. Searching isomorphic graphs. arXiv preprint arXiv:1802.03611.17 Pages.
- [13] JAMES A., 2017. Notes on Computational Complexity Theory. CPSC 468/568, Spring 2020.227 Pages.
- [14] CORDELLA L. P., FOGGIA P., SANSONE C., VWNTO M. 2004. A (sub) graph isomorphism algorithm for matching large graphs. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 26(10), 1367-1372.

- [15] CARLETTI V., FOGGIA P., SAGESE A., VENTO M. 2017. Challenging the time complexity of exact subgraph isomorphism for huge and dense graphs with VF3. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 40(4), 804-818.
- [16] MCKAY B. D., PIPERNO, A. 2014. Practical graph isomorphism, II. Journal of Symbolic Computation, 60, 94-112.

الجمهورية العربية السورية

جامعة البعث - كلية العلوم

قسم علم الحياة

خطة بحث بعنوان :

الفعالية الحيوية لخميرة *Saccharomyces*

***cerevisiae* على بعض الجراثيم الممرضة**

The Bio effectiveness of *Saccharomyces cerevisiae* on the some pathogenic bacteria

مقدمة من الطالبة :

جوانا كامل غطاس

إشراف :

الدكتورة: ندى محفوض

الفعالية الحيوية لخميرة *Saccharomyces cerevisiae*

على بعض الجراثيم الممرضة

الملخص:

شملت الدراسة التحري عن القدرة التثبيطية لمستخلص خميرة *Saccharomyces cerevisiae* على نمو الجراثيم الممرضة ، إذ أمكن الحصول على جراثيم *Bacillus cereus* , *Pseudomonas aeruginosa* , *Escherichia coli* , *Staphylococcus aureus* ، بعد إجراء التشخيص الأولي وذلك بالاعتماد على صفات المستعمرات الشكلية و المجهرية عند تنميتها على الأوساط الزرعية التفريقية والاختيارية ، فضلاً عن الفحوصات الكيموحيوية التأكيدية لتشخيص عزلات الجراثيم الاختبارية والتفريق بينها . استعملت خميرة الخبز *S.cerevisiae* الجافة التركية المنشأ (باكمايا) المتوفرة في الأسواق المحلية و الخميرة الطرية المأخوذة من معمل الخميرة في مدينة حمص ، وتم التأكد من جنس و نوع الخميرة اعتماداً على الأسس التشخيصية التي شملت كل من الصفات المجهرية و المزرعية .

استعملت طريقة الحفر لمعرفة العزلة الأكفأ في إنتاج البروتينات القاتلة ، ولمعرفة تأثير المواد المنتجة من كلا الخميرتين تجاه الجراثيم الممرضة الاختبارية و بظروف بيئية مختلفة ، حيث أعطت كلا الخميرتين أعلى معدل تثبيطي تجاه الجراثيم :

(*E.coli* , *Bacillus cereus* , *P.aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*)
عند pH6 بأقطار بلغت للخميرة الطرية: 30 ، 26 ، 33 ، 22 mm على التوالي،
و للخميرة الجافة : 22 ، 25 ، 33 ، 18 mm على التوالي .

كما أعطت أعلى معدل تثبيطي عند تنميتها بدرجة حرارة 28°C تجاه الجراثيم (*E.coli* , *Bacillus cereus* , *P.aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*)

بأقطار بلغت للخميرة الطرية : 33، 29، 35، 26 mm على التوالي ، و للخميرة الجافة : 31، 25، 35، 24 mm على التوالي .

واختلف أيضاً الأثر التثبيطي لكلا الخميرتين عند تنمية كل منهما لفترات تحضين مختلفة ، حيث أعطت كلاهما أعلى أثر تثبيطي عند مدة حضانة 48hrs ضد كل من (*E.coli* , *Bacillus cereus* , *P.aeruginosa* , *Staphylococcus aureus*) و بأقطار بلغت للخميرة الطرية : 34 ، 32 ، 33 ، 24 mm على التوالي، و للخميرة الجافة : 27، 32، 31، 24 mm على التوالي .

وأخيراً تم الحصول على أعلى قطر تثبيطي من كلا الخميرتين عند استخدام المواد المنتجة منهما دون تخفيف ، إذ بلغت أقطار التثبيط للخميرة الطرية تجاه جراثيم (*E.coli* , *Bacillus cereus* , *P.aeruginosa* , *Staphylococcus aureus*) mm 24، 35، 30، 32 على التوالي ، وللخميرة الجافة : 25، 29، 32 ، 24 mm على التوالي .

الكلمات المفتاحية : خميرة الخبز، السموم الفاتلة .

The Bio effectiveness of *Saccharomyces cerevisiae* on the some pathogenic bacteria

Abstract:

The study included detecting the inhibitory ability of *Saccharomyces cerevisiae* against growth of Pathogenic bacteria, where it was obtained isolates of bacteria: (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* , *Bacillus cereus* , *Escherichia coli*).

Followed by an initial diagnosis depending on the characteristics of the colonies morphological and microscopic , when grown in differential selective media , as well as biochemical tests to diagnose isolates of bacteria and to differentiate between them.

Dry imported Bakery Yeasts of Turkish origin (Packmaya) that are available in locally markets and soft yeast molds that are taken from the yeast factory in Homs, where used the yeast genus and species were diagnosed depending on diagnostic keys , which includes all of morphological and microscopic .

well diffusion method was used to selected more efficient isolate to producing killer protein, and to determine the impact of substances from both isolations of yeasts towards pathogenic bacteria, and with different environmental conditions, both isolates of *Saccharomyces cerevisiae* gave the highest inhibition rates against: (*Staphylococcus aureus*, *P.aeruginosa* , *Bacillus cereus*, *E.coli*) At pH6 , the diameters were for mold yeast : 30, 26, 33

and 22 mm respectively , for Dry yeast : 25, 22,33 and 18 mm respectively . And it also gave the highest inhibition when grown at a temperature of $28C^{\circ}$ against: (*Staphylococcus aureus*, *P.aeruginosa* , *Bacillus cereus* , *E.coli*) the diameters for mold yeast were: 33, 29,35 and 26 mm respectively, for Dry yeast: 31, 25 , 35 and 24 mm respectively.

And also the inhibitory effect of each of them differs when grown for different incubation periods , where they gave both the highest inhibition rates at 48hrs against: (*Staphylococcus aureus*, *P.aeruginosa* , *Bacillus cereus* , *E.coli*) the diameters for mold yeast were: 34 ,32 ,33 and 24 mm respectively , for Dry yeast : 27 , 32 , 31 and 24 mm respectively . obtained the highest inhibition rates from both isolates , when using produced materials without relieving their concentration as it reached the diagonals for molds yeasts against:(*Staphylococcus aureus* , *P . aeruginosa* , *Bacillus cereus* , *E.coli*) : 32, 30 , 35 and 24 mm respectively , for Dry yeast : 25, 29 , 32 and 24 mm respectively.

Key words: Killer toxins , *Saccharomyces cerevisiae*.

1- المقدمة :

استخدمت خلايا الخميرة بصورة تقليدية في الحفظ الحيوي للغذاء وفي معالجة العديد من الأمراض التي تسببها الجراثيم ، لذلك فإن استخدامها في البحث العلمي يهدف إلى استبدال المضادات الحيوية بمستخلص خميرة الخبز *S.cerevisiae* لفعاليته العالية في مقاومة الممرضات الجرثومية .

1-1- الوصف العام لخميرة *Saccharomyces cerevisiae* :

تعد خميرة *Saccharomyces cerevisiae* من الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة من مملكة الفطريات *Fungi*، تنتمي إلى صنف الفطريات الزقية *Ascomycetes* رتبة *Endomycetales* عائلة *Saccharomycetaceae* ، جنس *Saccharomyces* نوع *cerevisiae* . [1] , [2]

يختلف شكل و حجم خلية الخميرة بشكل كبير ، فقد تكون دائرية أو بيضوية أو مخروطية أو متطاولة مفردة أو بشكل أزواج أو قد تترتب بشكل مجاميع صغيرة ، مكونة مستعمرات ذات لون أبيض أو كريمي بشكل دائري صغير الحجم ذات حواف منتظمة و سطح محدب وقوام لزج [3] . يتراوح طولها بين (2-3) Mm ، يتراوح قطر الخلايا الكبيرة بين (5-10) Mm ، بينما يبلغ قطر الخلايا الصغيرة (1-3)Mm ، و يعود الاختلاف في أبعاد الخلايا إلى عمر الخلية [4] . تعرف خميرة الخبز *Saccharomyces cerevisiae* بكونها محبة للحرارة المتوسطة و أفضل درجات الحرارة لنموها $30C^{\circ}$ ، و للخميرة مدى معين من الأس الهيدروجيني يتراوح بين (3.5-6) ، فيما يعد (4-4.5) الأمثل لها وتحتاج إلى فعالية مائية عالية تقدر ب (0.9) و لها القدرة على النمو في الظروف الهوائية واللاهوائية [5] استعملت خميرة *S.cerevisiae* في العديد من الأبحاث لسهولة التعامل معها وبسبب انتشارها الواسع في الطبيعة، حيث أصبحت مشغلاً للأبحاث الجزيئية و الوراثة الحديثة بسبب الآليات الأساسية في الدورة الخلوية لحقيقية النواة مثل : انقسام الخلية ، والعمليات الأيضية التي تتشابه بالعموم مع خلايا كائنات حقيقية النواة الزاقية [5] .

2- أهمية البحث :

استخدام منتجات خميرة الخبز *S. cerevisiae* في العلاج أو الوقاية من العديد من الأمراض الجرثومية ، وذلك من خلال إنتاجها لمواد مثبّطة للنمو الجرثومي ، وتأتي أهمية هذا البحث في الحد من استخدام المضادّات الحيويّة خصوصاً بعد تفاقم ظاهرة المقاومة الجرثومية للعديد من المضادّات الحيوية .

3- أهداف البحث :

تحديد أفضل العوامل البيئيّة من درجة حرارة T وأس هيدروجيني pH ، ومدة تحضين t وتركيز C ، للحصول على تأثير تثبيطي منتج من خميرة الخبز *S. cerevisiae* على بعض الجراثيم الممرضة .

4- مواد وطرائق البحث :

4-1- الأجهزة والمعدّات المستعملة : مجهر ضوئي ، حاضنة ، مثقّلة ، حاضنة هزازة ، محرّك مغناطيسي ، موصل ، فرن كهربائي ، جهاز تقطير ماء ، ميزان حسّاس ، مقياس الأس الهيدروجيني .

4-2- المواد المستعملة : كبريتات الأمونيوم ، أنابيب ديلزة ، شرائح زجاجيّة ، كحول إيثيلي مطلق ، أطباق بلاستيكية معقّمة ، قطن ، إبرة الزرع (لوب) ، أوساط زرعيّة للخميرة ، أوساط زرعيّة للجراثيم ، صبغة غرام ، محلول موفي Buffer .

4-3- طرائق العمل :

تمّ إجراء البحث في مخابر قسم علم الحياة بكلية العلوم جامعة البعث .

4-3-1- عزلات الأحياء الدقيقة :

أ- العزلات الجرثومية :

استعملت في هذه الدّراسة 4 أنواع من الجراثيم الاختبارية بعضها سالبة لصبغة الغرام وبعضها موجبة لصبغة الغرام وكانت مصادر هذه العزلات من مديرية الصحة في مدينة حمص .

- الأوساط الزرعية المستعملة في تشخيص العزلات الجرثومية الاختبارية :

الأوساط الزرعية التشخيصية المستخدمة	الجراثيم السالبة لصبغة الغرام
وسط ماكونكي آغار - وسط EMB	<i>Escherichia coli</i>
وسط الآغار المغذي - وسط EMB	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>

الأوساط الزرعية التشخيصية المستخدمة	الجراثيم الموجبة لصبغة الغرام
الآغار المغذي - وسط الآغار الدموي	<i>Bacillus cereus</i>
الآغار المغذي - وسط شابمان	<i>Staphylococcus aureus</i>

-الاختبارات الكيموحيوية لعزلات الجراثيم الاختبارية :

نلجأ إلى العديد من الاختبارات الكيموحيوية لدراسة الفعاليات الوظيفية التي يمكن أن تختلف من جرثوم إلى آخر .

1- الجراثيم الموجبة لصبغة الغرام :

أ- جراثيم *Staphylococcus aureus* (العنقودية الذهبية) : تم التأكد من سلالات هذه الجراثيم من خلال العديد من الاختبارات الكيموحيوية منها : اختبار الأوكسيداز والكاتالاز واختبار المختراز كما تمت تنمية هذه الجراثيم على وسط السترات سيمون ووسط كليجلر .

ب- جراثيم *Bacillus cereus* : خضعت هذه الجراثيم لعدة اختبارات كيموحيوية منها اختباري الكاتالاز والأوكسيداز واختبار إسالة الجيلاتين واختبار الحركة (Motility test) لإثبات قدرة الجراثيم على الحركة كما تمت تنميتها على وسط السترات سيمون ووسط آغار صفار البيض (Lecithinase Test).

2- الجراثيم السالبة لصبغة الغرام :

أ- جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* (الزائفة الزنجارية): تم إجراء بعض الاختبارات الكيموحيوية للتأكد من سلالات هذه الجراثيم و هي اختباري الأوكسيداز والكاتالاز بالإضافة لتنميتها على كل من وسطي السترات سيمون وكليجلر .

ب- جراثيم *E. coli* (الإشريكية القولونية) : خضعت هذه الجراثيم للاختبارات الكيموحيوية (IMVC) وهي: اختبار حلقة الإندول وأحمر الميتيل و السترات سيمون و اختبار الفوكس بروسكار (Voges-Proskaur) المستخدمة لتشخيص جراثيم الإشريكية القولونية بالإضافة لاختباري الكاتالاز والأوكسيداز كما تمت تنمية الجراثيم على وسط كليجلر .

ب- مصادر سلالات خميرة *Saccharomyces cerevisiae* المستعملة في هذه الدراسة :

تم استعمال مصدرين من خميرة الخبز *S. cerevisiae* في هذه الدراسة، خميرة (Packmaya) الجافة المستوردة التركية المنشأ، والخميرة الطرية المعتمدة في صناعة الخبز في سوريا والتي تم الحصول عليها من معمل الخميرة في مدينة حمص .

- الاختبارات التشخيصية لعزلات خميرة: *Saccharomyces cerevisiae* :

يتم تشخيص مستعمرات خميرة الخبز باستعمال الفحوصات المجهرية والصفات المزرعية .

أ- الصفات المزرعية : درست الصفات المزرعية لعزلات الخميرة وذلك بتنميتها على وسط Saboroud dextrose الصّلب وحضنها بدرجة 30C⁰ لمدة 48hrs ، ولوحظ شكل المستعمرات ولونها وقوامها وقطرها وارتفاعها ورائحتها وغيرها من الصفات الأخرى للتأكد من تشخيصها [6].

حيث تميّزت جميعها بتكوينها مستعمرات اتّسمت بشكلها الدائري ذات اللون الأبيض أو المائل إلى الكريمي الباهت عند نموّها على الأوساط الصّلبة وتكون ذات حواف منتظمة وملساء ومرتفعة فوق سطح الآغار [6] .

ب- الصفات المجهرية : أجري الفحص المجهرى لملاحظة أشكال الخلايا وتجمعاتها بعد صبغها بصبغة أزرق الميثيل المحضرة حديثاً وفحصت بالمجهر بقوة تكبير (40X) [6].

تظهر خلايا الخميرة كروية إلى بيضوية الشكل متجمعة بشكل يشبه خلايا النحل ، كما لوحظ وجود نواة واضحة وفجوة واحدة كبيرة تشغل معظم أجزاء الخلية ولوحظ أيضاً وجود البراعم في أكثر من طرف من الخلية وعدم وجود الغزل الفطري الحقيقي . [7]

4-3-2- التحري عن الفعالية التثبيطية لراشح خميرة *Saccharomyces cerevisiae* ضد العزلات الجرثومية الاختبارية :

4-3-2-1- تحضير واستخلاص راشح خلايا الخميرة:

من أجل استخلاص راشح خلايا الخميرة يتم تلقيح g 0.5 من الخميرة في 100ml من وسط Yeast Extract Glucose Peptone Broth (YEGPB) السائل بعد ضبط الأس الهيدروجيني في الوسط إلى 5.5 ، ثم حضنت بدرجة حرارة $30C^{\circ}$ لمدة 24hrs، بعدها وضع 100ml من الوسط نفسه في دوارق سعة 250ml ولقح ب 3ml من الخميرة وبعد أن ضبط الأس الهيدروجيني إلى 5.5 يتم حضنها بحاضنة هزازة بدرجة حرارة $30C^{\circ}$ وبسرعة 125 دورة /دقيقة ولمدة 24hrs ، ثم فصل الخلايا بالنبذ المركزي المبرّد بسرعة 5000 دورة /دقيقة لمدة 20 minutes بدرجة حرارة $4C^{\circ}$ ، (يعمّ الراشح بمرشحات دقيقة Millipore ذات قطر 0.22 مايكرومتر للتأكد من خلو الراشح من الخلايا يتم زراعة نموذج من الراشح على وسط السابرد الصلب)، تتم تنقية المواد البروتينية المتنبطة باستعمال طريقة الترسيب بفعل الأملاح وهي كبريتات الأمونيوم الصلبة [8] .

4-3-2-2- الترسيب بكبريتات الأمونيوم :

استعمل الترسيب بكبريتات الأمونيوم للحصول على تنقية جزئية للراشح، كما يأتي: أخذ الراشح وأضيف له كبريتات الأمونيوم بشكل متدرّج في حمام ثلجي مع التحريك المستمر للحصول على نسبة إشباع (30 - 70 %) ، وبعدها ترك المحلول بدرجة حرارة التبريد حتى اليوم التالي [8] .

نبد المحلول بعد ذلك بسرعة 5000 دورة / دقيقة لمدة 30 minutes بدرجة حرارة $4C^{\circ}$ ، وأهمل الزائق فيما أذيب الراسب في 10 ml من محلول موقى Tris-HCL معقم بتركيز 0.1 مولار وأس هيدروجيني (7.4).

4-3-2-3- التنافذ العشائي :

تمت إزالة كبريتات الأمونيوم المستعملة في تركيز المحلول البروتيني باستعمال أكياس التنافذ العشائي، التي تم إجراءها ضد المحلول الموقى Tris-HCl بتركيز 0.1 مولار وأس هيدروجيني 7.4 لمدة 24hrs في ظروف مبردة ، مع مراعاة تبديل المحلول الموقى لمرات عدة لزيادة كفاءة عملية التنافذ العشائي.

4-3-2-4- تقدير الفعالية التثبيطية :

تم استخدام طريقة الانتشار بالحفر well diffusion method لتقدير الفعالية التثبيطية للخميرة التي وصفها [9] كما يأتي :

- 1- نقل 100 μ L من العالق الجرثومي المحضّر إلى وسط مولر هنتون أو وسط الآغار المغذي الصلب بطريقة النشر بوساطة ناشر زجاجي أو ماسحة قطنية.
 - 2- تُركت الأطباق لتجف في درجة حرارة الغرفة لمدة ربع ساعة .
 - 3- استعمل الناقب الفليني Crok Borer المعقم لعمل ثقوب قطرها 5 ml ثم ملأت ب 100 μ L من مستخلص *S.cerevisiae* .
 - 4- ترك الأطباق لمدة ساعة واحدة في درجة حرارة الغرفة لتحضن بعد ذلك لمدة 24hrs وبدرجة حرارة $37C^{\circ}$.
 - 5- بعد انتهاء فترات التحضين تم تقدير أقطار مناطق التثبيط حول الحفر بالمسطرة ، إذ قدرت بالmm وقورنت مع معامل السيطرة .
- تم اختبار أفضل الظروف البيئية من درجة حرارة ، وأس هيدروجيني ، ومدة تحضين و تركيز، للحصول على أعلى تثبيط جرثومي .

أ- تأثير الرّقم الهيدروجيني PH:

لتعيين الأس الهيدروجيني الأمثل لفعل خميرة *Saccharomyces cerevisiae* في إحداث الأثر التثبيطي ضد العزلات الجرثومية الاختبارية، تمّ تنمية الخميرة في وسط Yeast Extract Glucose Peptone Broth (YEGPB) السائل ، ولكن عند قيم مختلفة من الأس الهيدروجيني (4 - 4.5 - 5 - 5.5 - 6 - 6.5 - 7) ثم حضنها عند الدرجة $30C^{\circ}$ لمدة 24hrs ، بعدها وضع 100 ml من كل وسط في دوارق سعة 250ml و لُقِّح ب 3ml من الخميرة المنمّاة وذلك بعد ضبط الرّقم الهيدروجيني في كل دورق حسب الوسط المأخوذة منه الخميرة المنمّاة ثم حضنها بحاضنة هزازة بدرجة حرارة $30C^{\circ}$ وبسرعة 125 دورة /دقيقة ولمدّة 24 hrs ، ثم تتابع خطوات العمل كما سبق .

ب- تأثير درجات الحرارة :

تمّ تنمية الخميرة في وسط YEGPB السائل ، ولكن بعد ضبط الرّقم الهيدروجيني في الوسط إلى pH6 ، ثم حضنها عند درجات حرارة مختلفة C° (20-24-28-30-34) لمدة 24 hrs ، بعدها وضع 100ml من كل وسط في دوارق سعة 250ml ولُقِّحت ب 3ml من الخميرة المنمّاة وذلك بعد ضبط الرّقم الهيدروجيني في الوسط إلى pH6 و حضنها في حاضنة هزازة في درجات حرارة مختلفة تختلف بحسب الحرارة التي نمت عندها الخميرة المأخوذة و بسرعة 125 دورة / دقيقة و لمدة 24 hrs ثم تتابع بقية خطوات العمل.

ج- تأثير مدّة الحضانة :

تمّ تنمية الخميرة في وسط YEGPB السائل و لكن بعد ضبط الرّقم الهيدروجيني في الوسط إلى pH6 ، ثمّ حضنها عند الدرجة $28C^{\circ}$ و لمدة زمنية مختلفة hrs (18-24-36-48-72) ، وذلك لتعيين المدّة الزمنية المثلى لعمل الخميرة المدروسة في إحداث الأثر التثبيطي ضدّ الجراثيم الاختبارية .

د- تأثير اختلاف التّركيز :

لمعرفة التّركيز الأمثل لعزلات الخميرة المدروسة في إحداث الأثر التثبيطي ضدّ الجراثيم الاختبارية، يتم اتّباع طريقة التّخفيفات وذلك بتنمية الخميرة في وسط YEGPB

السائل ولكن بعد ضبط الرقم الهيدروجيني في الوسط إلى pH6، ثم حضنها عند الدرجة 28°C ولمدة 48hrs، و بعد الحصول على الزاسب يتم قياس وزنه ثم حساب تركيز المواد المثبتة الناتجة من القانون $\frac{\text{وزن الزاسب}}{\text{حجم المذيب}}$ ، نكمل بقيّة الخطوات ونستخدم هذه المواد ضدّ الجراثيم الاختبارية ثم تخفّف تراكيز المواد المثبتة المنتجة من الخميرة إلى النصف وإلى الربع وإلى الثمن ونستخدم ضدّ الجراثيم الاختبارية لمعرفة مدى اختلاف تأثيرها التثبيطي.

5- النتائج والمناقشة :

5-1- الكشف عن العزلات الجرثومية والاختبارات الكيموحيوية :

تمّ استعمال عدد من الأوساط التفرّيقية والفحوصات الكيموحيوية التأكيدية لتشخيص عزلات الجراثيم المستخدمة في هذا البحث والتفرّيق فيما بينها .

أ- التأكد من جنس جراثيم *Escherichia coli* :

Citrate	Coagulase	Methyl Red	Kliegler	Voges-proskaur	Indol Test	oxidase	catalase	الإختبارات
-	+	+	+	-	+	-	+	<i>E.coli</i>

ب- التأكد من جنس جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* :

Citrate	Methyl Red	Kliegler	Voges-proskaur	Indol Test	oxidase	catalase	الإختبارات
+	-	-	-	+	+	+	<i>p.aeruginosa</i>

ج- التأكد من جنس جراثيم *Staphylococcus aureus* :

Kliegler	Coagulase	Citrate	Oxidase	Catalase	الإختبارات
+	+	-	-	+	<i>S.aureus</i>

د- التأكد من جنس جراثيم *Bacillus cereus* :

Lecithenase	Motility	Kliegler	Geletinase	Citrate	Oxidase	Catalase	الإختبارات
+	+	+	+	+	-	+	<i>B.cereus</i>

5-2-2- التحري عن الفعالية التثبيطية لمستخلص خميرة *Saccharomyces*

cerevisiae ضد الجراثيم الممرضة الإختبارية :

5-2-1- تأثير الأس الهيدروجيني:

أ- الخميرة الطرية :

أظهرت النتائج في الجدول (1) اختلاف أقطار التثبيط لعزلات الخميرة الطرية *Saccharomyces cerevisiae* المنمأة في وسط YEGPB السائل، عند درجة حرارة $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، ومدة حضانة 24 hrs ، و درجات PH مختلفة :

(4- 4,5 -5 -5,5 -6 -6,6 -7) ، ضدّ الجراثيم الإختبارية حيث بيّنت النتائج تأثير الأس الهيدروجيني في تحفيز عزلات الخميرة المنتجة للمواد المثبّطة ضد الجراثيم الممرضة الإختبارية ، و أنّ الأس الهيدروجيني الأمثل لإنتاج أعلى تركيز من المواد المثبّطة والذي أثر بشكل واضح وفعال تجاه الجراثيم الإختبارية هو pH6 ، حيث وصل قطر منطقة تثبيط جراثيم *Staphylococcus aureus* ، *Pseudomonas aeruginosa* ، *Bacillus cereus* ، *E.coli* ، 26 ، 30 ، 33 ، 22 mm على التوالي .

بينما أدى الأس الهيدروجيني 4 و 7 إلى إنتاج كميات قليلة جداً من المواد المثبّطة ضد جراثيم *Staphylococcus aureus* وجراثيم *Pseudomonas aeruginosa* وجراثيم *E.coli* ، أما ضد جراثيم *Bacillus cereus* لم تظهر أية منطقة تثبيط عند pH4 و pH7 .

جدول (1) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكزرات أقطار التثبيط (mm) التي أحدثتها خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الطرية) ضد الجراثيم الاختبارية المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E.coli</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Bacillus cereus</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aeruginosa</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Staphy-coccus aureus</i> \bar{x}	pH
2	2	0	0	2	9	2	10	7
1,73	11	1	21	1	12	1	19	6.5
2	22	1	33	2	26	2	30	6
2	14	1	31	1	20	1	24	5.5
0	10	1,73	12	1	13	1	21	5
1,73	7	1,73	10	1	10	1	17	4,5
1	1	0	0	1.15	0,66	0	0	4

ب- الخميرة الجافة :

جاءت النتائج مشابهة للخميرة الطرية وأن الأس الهيدروجيني الأمثل لإنتاج أعلى تركيز من المواد المثبّطة و الذي أثر بشكل واضح وفعال تجاه الجراثيم الاختبارية هو (pH6) ، حيث وصل قطر منطقة تثبيط ضد جراثيم *Staphylococcus aureus* ، *Pseudomonas aeruginosa* ، *Bacillus cereus* ، *E.coli* : 25 ، 22 ، 33 ، 18 mm على التوالي (حسب الجدول 2).

جدول (2) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكررات أقطار التثبيط (mm) التي أحدثتها خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الجافة) ضد الجراثيم الاختبارية المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E. coli</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Bacillus Cereus</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aeruginosa</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Staphylococcus aureus</i> \bar{x}	pH
0	0	0	0	0,58	0,33	0	0	7
2	6	1	20	1	10	0,58	19	6,5
2	18	1	33	1	22	1	25	6
1	13	1	31	1	12	2	22	5,5
2	9	1	9	1	8	1,73	15	5
1	6	1	7	1	6	1	13	4,5
0	0	0	0	0	0	0	0,666	4

يلاحظ من خلال النتائج السابقة أنّ الفعالية النوعية للمواد المثبّطة أو كميّة المواد المثبّطة أخذت بالارتفاع تدريجياً ، حتّى وصلت إلى أعلى قيمة لها عند الأس الهيدروجيني (pH6) ، ثمّ بدأت بالانخفاض تدريجياً حيث بلغت أدنى قيمة لها عند كل من الأس الهيدروجيني (4) و (7) وأحياناً لم تعطِ أيّ أثر ، وقد كان الأس الهيدروجيني (6) هو الأمثل لإنتاج المواد المثبّطة بالنسبة لكلا النوعين المستخدمين من الخمائر الطرية و الجافة ، توافقت النتائج مع ما توصل إليه [8] في دراسته حيث كان الأس الهيدروجيني الأمثل لنمو عزلات خميرة *S.cerevisiae* المنتجة

للبروتينات المثبّطة هو 6 ، اختلفت نتائجنا مع [10] الذي أشار في دراسته أنّ الأس الهيدروجيني الأفضل لإنتاج أكبر كمية من السموم من خميرة *S.cerevisiae* هو 5، ولم يلاحظ أي إنتاج عند قيم الأس الهيدروجيني (3.5- 5.5- 6) ، بينما لوحظ انخفاض كبير في إنتاج السموم عند قيم الأس الهيدروجيني (4-4.5) .
كما فسّر [11] سبب تناقص كمية المواد المثبّطة عند تنمية خلايا الخميرة في درجات حموضة مرتفعة، أنّ دورة الخلية تتوقّف نتيجة للتّعديلات التي تحتاجها الخلايا للتغلب على التغيرات الحاصلة كاستجابتها للتوتر الحاصل، و صرفها كميات كبيرة من الطاقة في محاولتها للموازنة بين الرقم الهيدروجيني الداخلي والخارجي، وهذا سينعكس بصورة غير مباشرة على معدّل النمو وإنتاج المواد المثبّطة .

5-2-2- تأثير درجة الحرارة :

أ- الخميرة الطرية :

أظهرت النتائج عند دراسة تأثير درجة الحرارة في تحفيز إنتاج المواد المثبّطة من عزلات الخمائر (الخميرة الطرية) ضد الجراثيم الاختبارية، أنّ درجة الحرارة المثلى هي $28C^0$ إذ سجّلت أعلى قطر منطقة تثبيط ضد جراثيم *Staphylococcus aureus* ، جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* وجراثيم *Bacillus cereus* وجراثيم *E.coli* : 33 ، 29 ، 35 ، 26 مم على التوالي. بينما تمّ تسجيل أقل تأثير عند الدرجة $35 C^0$ ضد جراثيم *Staphylococcus aureus* و ضد جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* أمّا ضد كل من جراثيم *Bacillus cereus* و *E.coli* لم تظهر لها أي منطقة تثبيط عند هذه الدرجة من الحرارة .

جدول (3) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكثرات أقطار التثبيط (mm) التي أحدثتها خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الطرية) ضد الجراثيم الاختبارية المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E. coli</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Bacillus Cereus</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aerugin-osa</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Staphylo-coccus aureus</i> \bar{x}	درجة الحرارة
1	13	1	21	2	18	2	28	20C°
2	24	1,55	33	1	27	2	30	24C°
2	26	1	35	1	29	1	33	28C°
1	14	1,73	31	2	24	1	29	30C°
0	0	0	0	1	2	1	3	35C°

ب-الخميرة الجافة :

أظهرت النتائج عند دراسة تأثير درجة الحرارة في تحفيز إنتاج المواد المثبتة من عزلات الخمائر (الخميرة الجافة) ضد الجراثيم الاختبارية، أنّ الدّرجة الحرارية المثلى هي 28 C° وذلك عندما سجّلت أعلى قطر منطقة تثبيط ضد جراثيم *Bacillus cereus*، *Staphylococua aureus*، *Pseudomonas aeruginosa* و ضد جراثيم *E.coli* : 35 ، 31 ، 25 ، 24 mm على التّوالي .

بينما تمّ تسجيل أقل تأثير عند الدّرجة 35 C° ضد جراثيم *Staphylococcus aureus* وجراثيم *Pseudomonas aeruginosa* ، أمّا ضد كل من جراثيم *Bacillus cereus* و *E.coli* لم تظهر أي منطقة تثبيط عند هذه الدّرجة من الحرارة .

جدول (4) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكثرات أقطار التثبيط (mm) التي أحدثتها خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الجافة) ضد الجراثيم الاختبارية المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E. coli</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Bacillus Cereus</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aerugin-osa</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Staphylo-coccus aureus</i> \bar{x}	درجة الحرارة
1	12	1,73	21	1	6	2	20	20C ^o
1	22	0,58	33	1	21	2	28	24C ^o
1	24	1	35	1	25	1	31	28C ^o
2	14	2	30	2	18	1	23	30C ^o
0	0	0	0	1	1	1	1	35C ^o

يظهر من النتائج السابقة أنّ أعلى إنتاج من المواد المثبّطة تحقّق عند استخدام درجة حرارة 28C^o، و بالرجوع إلى الجداول السابقة نلاحظ انخفاض الفعاليّة الحيويّة للتّوعين من الخميرة بازدياد درجة الحرارة إلى 35C^o و أحياناً انعدامها ، ويمكن تفسير ذلك بأنّ درجات الحرارة العالية تؤدّي إلى انخفاض نمو الخمائر وإلى تحلّل الخلايا كما تؤدّي إلى زيادة طاقة الجزيئات بشكل أكبر، وبالتالي تكسر بعض الرّوابط الضّعيفة التي تحدّد الشّكل الثّلاثي الأبعاد للبروتينات ممّا يؤدّي إلى تمسّخ حراري للبروتينات المثبّطة المنتجة وبالتالي تعطيلها [12] ، تتفق نتائجنا مع ماتوصل إليه [8] في دراسته أنّ أفضل درجة حرارة لتنمية عزلات الخميرة المنتجة للبروتينات المثبّطة هي 28 C^o ، كما وجد أنّ 28C^o هي الدّرجة المثلى لإعطاء أقصى نشاط مضاد للميكروبات عن طريق إنتاج مناطق تثبيط ، في حين وجد [13] في دراسة أخرى اختلفت مع

نتائجنا أنّ أفضل إنتاج للسّم القاتل من خميرة *S. cerevisiae* كان عند درجة الحرارة $25C^{\circ}$ بينما قلّ الإنتاج عند $37C^{\circ}$ ، ولم يلاحظ أي إنتاج عند $40C^{\circ}$.

5-2-3- تأثير مدّة الحضانة :

أ- الخميرة الطرية :

تمّت دراسة تأثير مدّة الحضانة وذلك بحضن مزارع عزلات خميرة *Saccharomyces cerevisiae* في وسط YEGPB السائل بدرجة $28 C^{\circ}$ و pH6 ، لمدّة زمنية مختلفة تضمّنت (18hrs - 24hrs - 36hrs - 48hrs - 72hrs) حيث أشارت النتائج الموضّحة في الجدول (5) ، إلى تسجيل أعلى تأثير مثبّط ضد الجراثيم الاختبارية بعد حضن عزلات الخميرة لمدّة 48hrs ، حيث بلغ متوسط أعلى قطر منطقة تثبيط ضد جراثيم *Staphylococcus aureus* (34 mm) و ضد جراثيم *Bacillus cereus* (33 mm) ، و ضد جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* (32 mm) ، وكانت جراثيم *E. coli* الأقل تأثيراً بأعلى قطر تثبيط بلغ (24 mm) .

جدول (5) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكثرات أقطار التثبيط (mm) التي أحدثتها خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الطرية) ضد الجراثيم الاختبارية

المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E. coli</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Bacillus Cereus</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aerugin-osa</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Staphylo-coccus aureus</i> \bar{x}	مدّة الحضانة
1	9	1	3	2	14	1,73	9	18hrs
1	21	1	23	1	19	1	25	24hrs
2	23	1	30	2	30	1	31	36hrs
1	24	1	33	2	32	1	34	48hrs
2	15	1	18	1	18	2	20	72hrs

ب- الخميرة الجافة :

لوحظ أيضاً بعد حضن عزلات الخميرة لمدة 48hrs تسجيل أعلى تأثير مثبّط ضد الجراثيم الاختبارية ، حيث بلغ متوسط أعلى قطر منطقة تثبيط ضد جراثيم *Pseudomonas aeruginosa* (32 mm) ، يليه في الدرجة الثانية جراثيم *Bacillus cereus* (31 mm) في الحساسية للمواد المثبّطة ، ثم جراثيم *Staphylococcus aureus* (27 mm) وكانت جراثيم *E.coli* الأقل تأثيراً بأعلى قطر تثبيط بلغ (24 mm) . (حسب الجدول 6)

جدول (6) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكزرات أقطار التثبيط (مم) التي أحدثتها خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الجافة) ضد الجراثيم الاختبارية المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E.coli</i> x̄	الانحراف المعياري	<i>Bacillus Cereus</i> x̄	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aerugin-osa</i> x̄	الانحراف المعياري	<i>Staphylo-coccus aureus</i> x̄	مدة الحضن
1	6	1,55	2	1	3	1	4	18hrs
1	20	2	23	1,73	19	1	22	24hrs
1	21	2	28	2	25	1	24	36hrs
2	24	1,73	31	2	32	1,73	27	48hrs
2	14	1	16	1	17	1	15	72hrs

أظهرت النتائج السابقة أنّ إنتاج المواد المثبّطة يبدأ بشكل واضح بعد 24hrs من الحضن ليصل أقصاه بعد 48 hrs من الحضن ، وبعد مدة الحضن المثالية يبدأ إنتاج

المواد المثبّطة بالانخفاض تدريجياً ، وإنّ هذا الانخفاض في مدّة الحضان الطويلة يعود إلى انخفاض في إنتاجية الخمائر بسبب التّحلل الذاتي للخلايا بعد نفاذ المغذيات اللازمة لاستمرار النّمو والفعاليات الحيوية للخميرة ، وهذا قد يفسّر الانخفاض في النّمو و في إنتاج المواد المثبّطة بعد 72 hrs من الحضان [5] ، جاءت هذه النتائج مشابهة لما أشار إليه [8] في دراسته إلى أنّ مدّة الحضان المثلى لتنمية خميرة *S.cerevisiae* لإنتاج البروتينات المثبّطة تراوحت بين (24-48) hrs ، كما اتّقت نتائجنا مع دراسة أخرى أجراها [10] ، أنّ إنتاج السمّ القاتل من خميرة *S.cerevisiae* بلغ الحد الأقصى عند تنمية خلايا الخميرة لمدّة 48hrs ، بينما لوحظ انخفاض إنتاج السمّ عند 24hrs من الحضان بينما في 72 hrs لم يلاحظ أي إنتاج ، اختلفت نتائجنا مع [14] حيث دلّت نتائجها على زيادة تركيز الكتلة الحيوية لخلايا الخميرة بشكل كبير مع زيادة مدّة الحضان إذ بلغ الحد الأقصى 24 g/L عند مدّة حضان 96hrs بع د ذلك انخفض إنتاج الكتلة الحيوية و الأنظيمات .

5-2-4- تأثير التراكيز المختلفة :

أ- الخميرة الطرية :

بيّنت النتائج وجود أثر مثبط عالٍ للخميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الطرية) ، وذلك عند تنميتها في وسط YEGPB السائل بدرجة حرارة $28^{\circ}C$ و pH6 وفترة حضان 48hrs ، وباستخدام تراكيز مختلفة من المواد المثبّطة المنتجة من الخميرة أعطت نتائج مختلفة ضد الجراثيم الاختبارية الممرضة ، فقد سجّلت أعلى قطر منطقة تثبيط وذلك عند تركيز المواد المثبّطة المنتجة منها دون تخفيف (5mg/ml) ، حيث وصل قطر منطقة التثبيط ضد جراثيم *Staphylococcus aureus* ، *Bacillus cereus* ، *E.coli* : 24 ، 30 ، 32 ، 35 mm على التوالي . (حسب الجدول 7) .

جدول (7) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكررات أقطار التثبيط (mm) التي أحدثتها خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الطرية) ضد الجراثيم الاختبارية المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E. coli</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Bacillus Cereus</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aerugin-osa</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Staphylo-coccus aureus</i> \bar{x}	التراكيز
2	24	1.73	35	2	30	1	32	50 mg/ml
1	22	2	26	2	24	2	28	25 mg/ml
1,73	9	1	21	2	22	2	20	12.5 mg/ml
1	6	0,58	11	1,53	18	1,55	14	6.25 mg/ml

ب- الخميرة الجافة :

بيّنت النتائج عند دراسة تأثير تركيز المواد المثبّطة المنتجة من الخميرة (الجافة) ضد الجراثيم الاختبارية ، أنّ أعلى منطقة تثبيط كانت عند استخدام التّركيز الناتج دون تخفيف أي عند التّركيز 5mg/L ، حيث وصل قطر منطقة التثبيط ضد جراثيم ، *P. aeruginosa* ، *Staphylococcus aureus* ، *Bacillus cereus* ، *E. coli* : 32 ، 25 ، 29 ، 24 mm على التوالي (حسب الجدول 8).

الجدول (8) المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لمكزرات أقطار التثبيط (mm) التي أحدثتها الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الجافة) ضد الجراثيم الاختبارية المستخدمة

الانحراف المعياري	<i>E. coli</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Bacillus Cereus</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Pseudo aerugin-osa</i> \bar{x}	الانحراف المعياري	<i>Staphylo-coccus aureus</i> \bar{x}	التراكيز
1.53	24	2	32	1	29	1	25	50 mg/ml
0.58	10	1	25	2	23	1	24	25 mg/ml
1	6	1,73	20	1	21	1.53	18	12.5 mg/ml
0.58	1	2	10	0.58	17	1.15	13	6.25 mg/ml

اتضح من خلال النتائج السابقة تباين تأثير مستخلص عزلات الخميرتين الطرية والجافة (غير المركز والمخفف) تجاه عزلات الجراثيم الاختبارية ، حيث أظهرت مستخلصات كلا الخميرتين أثراً تثبيطياً متدرجاً إذ أعطى المستخلص الخام أثراً تثبيطياً أعلى من المستخلص المخفف إلى النصف، وهذا بدوره أعطى فعالية تثبيطية أفضل من المستخلصين المخففين التالين المستخدمين ، ويعود سبب زيادة الفعالية التثبيطية لمستخلص الخميرة عند زيادة تركيزه إلى زيادة كمية المواد البروتينية المثبطة فيه وبالتالي زيادة تأثيرها على الجراثيم المدروسة ، و هذا ما أشارت إليه النتائج التي توصل لها [14]، في حين أشارت نتائج دراسة أخرى أجريت ضدّ الجراثيم المعوية إلى الفعالية التصادمية لمستخلص خميرة *Saccharomyces cerevisiae* (الخام والمركز لمرة واحدة والمركز لمرتين) وبأقطار تثبيطية تراوحت ما بين (14-26) mm ، ولكن كان التأثير على العزلات الجرثومية أكثر للمستخلص المركز مرتين ، نلاحظ من خلال ماسبق أنّ أقطار مناطق التثبيط تتناسب طردياً مع تركيز المستخلص إذ تزداد بازدياد

تركيز المستخلص وهذا يتوافق مع [15] ، اختلفت نتائجنا مع ما توصل إليه [16] في نتائجه، حيث لم تظهر مستخلصات الخميرة غير المركزة جميعها أية فعالية تثبيطية ضد عزلات جراثيم *P. aeruginosa* فيما سجل مستخلص الخميرة المركز لمرة واحدة فعالية تثبيطية ضد الجراثيم المدروسة ، وأيضاً اختلفت نتائجنا مع دراسة تقول أنّ زيادة تركيز مستخلصات الخميرة تؤدي إلى الانخفاض في إنتاجية السم ، و السبب في ذلك يعود إلى تراكم أو تجمع تلك المواد المثبطة كالكسكيات الأحادية الموجودة ضمن المكون الكيميائي للجدار الخلوي للخميرة [17] .

5-3- المقارنة بين الخميرة الطرية والخميرة الجافة :

بالمقارنة بين كل من الخميرتين (الخميرة الطرية والخميرة الجافة) نلاحظ من خلال النتائج أنّ كلتا الخميرتين أعطت أعلى قطر تثبيطي ضد الجراثيم الاختبارية عند تنمية كل منهما في وسط YEGPB السائل عند pH6 ، وعند درجة حرارة $28^{\circ}C$ ، ومدة حضانة 48hrs ، وكلما ازداد تركيز المواد الناتجة منهما كلما ازداد الأثر التثبيطي لهما إذ أعطت كلتا الخميرتين أعلى أثر مثبط عند استخدام المستخلص الناتج من كل منهما دون تخفيف، وبهذا نلاحظ وجود تشابه بين الخميرتين من حيث أفضل الظروف البيئية لإنتاج المواد المثبطة منهما، و من حيث الأثر التثبيطي الذي تبديه المواد المنتجة من الخميرة الطرية والأثر التثبيطي الذي تبديه الخميرة الجافة على الجراثيم الاختبارية، إلا أنّ الخميرة الطرية تفوقت على الخميرة الجافة من حيث قدرتها على إنتاج المواد المثبطة ضد الجراثيم الاختبارية الممرضة، حيث ظهر ذلك من خلال أقطار مناطق التثبيط . وإثراء لما ورد في النتائج السابقة تم إجراء الدراسة الإحصائية الآتية :

1- مقارنة الخميرتين في ظل درجة الحموضة:

Paired Samples Test

		Paired Differences						
		Std. Deviation	Std. Error Mean	99% Confidence Interval of the Difference		df	Sig. (2-tailed)	
Mean				Lower	Upper			
Pair 1	الطرية الجافة	3.059429	2.804132	.529931	1.591158	4.527700	27	.000

من الجدول أعلاه يتضح أن $\text{sig}=0.000 < 0.01$ ومنه نجد أنه توجد فروق معنوية بين متوسط درجات الحموضة في الخميرة الطرية مع متوسط درجة الحموضة في الخميرة الجافة وكانت خميرة القوالب أفضل وذلك لأنه من عامود mean نجد أن قيمته موجبة.

2- مقارنة الخميرتين في ظل درجة الحرارة:

- الفرضية الابتدائية: لا توجد فروق معنوية بين الخميرتين في ظل مدة الحضانة .
الفرضية البديلة: توجد فروق معنوية بين الخميرتين في ظل مدة الحضانة .

Paired Samples Test

Pair	Mean	Std. Deviation	Paired Differences		t	df	Sig. (2-tailed)
			Lower	Upper			
1 aa - bb	2.90000	3.16061	.87808	4.92192	4.103	19	.001

من الجدول أعلاه يتضح أن $\text{sig}=0.001 < 0.01$ ومنه نرفض الفرضية الابتدائية ونقبل البديلة أنه توجد فروق معنوية بين متوسط أقطار التثبيت في الخميرة الطرية مع متوسط أقطار التثبيت في الخميرة الجافة وكانت الخميرة الطرية أفضل وذلك لأنه من عامود mean نجد أن قيمته موجبة.

3- مقارنة الخميرتين في ظل مدة الحضانة:

- الفرضية الابتدائية: لا توجد فروق معنوية بين الخميرتين في ظل مدة الحضانة .
الفرضية البديلة: توجد فروق معنوية بين الخميرتين في ظل مدة الحضانة .

Paired Samples Test

Pair	Mean	Std. Deviation	Paired Differences		t	df	Sig. (2-tailed)
			Lower	Upper			
1 الطرية - الجافة	3.000000	2.846974	1.178721	4.821279	4.713	19	.000

من الجدول أعلاه يتضح أن $\text{sig}=0.000<0.01$ ومنه نرفض الفرضية الإبتدائية ونقبل البديلة أنه توجد فروق معنوية بين متوسط أقطار التثبيط في الخميرة الطرية مع متوسط أقطار التثبيط في الخميرة الجافة و كانت الخميرة الطرية أفضل وذلك لأنه من عامود mean نجد ان قيمته موجبة .

3-مقارنة الخميرتين في ظل التراكيز:

Paired Samples Test

	Mean	Std. Deviation	Paired Differences		t	df	Sig. (2-tailed)
			Lower	Upper			
Pair1 الطرية الجافة	2.87500	3.00832	.65883	5.09117	3.823	15	.002

من الجدول أعلاه يتضح أن $\text{sig}=0.002<0.01$ ومنه توجد فروق معنوية بين متوسط أقطار التثبيط في الخميرة الطرية مع متوسط أقطار التثبيط في الخميرة الجافة و كانت الخميرة الطرية أفضل وذلك لأنه من عامود mean نجد أن قيمته موجب .

6- الاستنتاجات

1- أظهرت النتائج اختلاف تأثير عزلات خميرة الخبز *Saccharomyces cerevisiae* المنمأة في وسط YEGPB السائل في نمو عزلات الجراثيم الاختبارية المرضية (*Pseudomonas aeruginosa* ، *Staphylococcus aureus*) وذلك عند تنمية الخميرة في ظروف بيئية مختلفة من أس هيدروجيني و درجة حرارة و فترة حضانة ، كما لوحظ أن هنالك اختلاف في مدى استجابة وحساسية الجراثيم المرضية للمواد المثبطة المنتجة من عزلات الخميرة تبعاً لدرجة تركيز هذه المواد وتبعاً لنوع عزلة خميرة الخبز المستخدمة (الخميرة الطرية أو الخميرة الجافة التركيبية المنشأ باكمايا) .

2- للحصول على أكبر فعل تثبيطي لخميرة الخبز يجب تنميتها عند درجة حرارة 28°C و pH6 و زيادة تركيز المواد المنتجة منها ومدة حضانة 48 hrs.

7- التوصيات :

- 1- إيجاد حلول لمقاومة الجراثيم للصادات الحيوية وذلك باستخدام أحياء مجهرية مثل *S.cerevisiae*.
- 2- الانتقال في الإنتاج من المستوى المختبري إلى المستوى التجاري .
- 3- إجراء الدراسات المختلفة عن فعالية خميرة *S.cerevisiae* داخل الجسم الحي .

References :

- 1- ATLAS , R.M , BROWN , A.E and PARKES , L.C , 1984-
Laboratory Manual Experimental Microbiology . Mosby-Year
Book.Ink, 1st ed, USA , 565p.
- 2-ALEXOPOULOS, C.J and MIMS , C.W, 1995- Introductory
Mycology. John Wiley and Sons, Fourth edition,New York,386p.
- 3- BROWN, M.L, 1970 -Development of chains of cscus of
Saccharomyces cerevisiae during fermentation, J. Inst. Brewing,
76: 61-65.
- 4 -HOUGH , J.S, BRIGGS , D.E, STEVENS ,R & YOUNG,T.W,
1982 - Malting and Brewing Science , Hoppes Wort Beer,
Campman & Hall , Vol II, 22-35.
- 5 - AL-EQABI , H , 2004 - Extraction of mannan from yeast
Saccharomyces cerevisiae and study of its agglutination activity.
Submitted to the college of science-University of Baghdad , in
Partial Fulfillment of the requirement for the degree of Master in
Science in Biology-Microbiology,P 8-9. (In Arabic).

- 6-ELLIS,D.H, 1994- Clinical Mycology :The Human Opportunistic Mycosis. Pfizer Inc,Third edition, USA, 166p.
- 7-BARNETT , J. A , PAYNE , R. w and YARROW , D. 1990- Yeasts: Characteristics and Identification. Cambridge University Press, 2nd ed, Cambridge. 476p.
- 8- ZHU , H , BUSSEY, H , THOMAS , D. Y, GAGNON , J and BELL, A. W, 1987- Determination of the carboxyl termini of the α and β subunits of yeast Kl killer toxin, J. Bio. Chem , volume 262, pages 10728-10732.
- 9-GUPTA , S, 2016- The Short Text Book of Pediatrics. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd, 12th ed, India , 970p.
- 10-ALI ,W, 2013 - Determination of some optimum conditions for production of a killer toxin AY from the yeast *Saccharomyces cerevisiae* , Folder 19 number 80 , p 705-706 , Department of Biology / College of Science Al- Mustansiriya University.
- 11-PENA, A,SANCHEZ, N, ALVAREZ, H, CALAHORRA , M, and RAMIREZ , J , 2015 - Effects of high medium PH on growth, metabolism and transport in *Saccharomyces cerevisiae*. FEMS Yeast Research , Reaserch Article, doi:10. 1093/femsyr/fou005, Mexico.
- 12- DE MARANON , L.M., CHANDANSON , N., JOLY , N . and GERVAIS, P, 1999 - Slow Heat Rate Increase Yeast Thermo tolerance be Maintaining Plasma Membrane Integrity , Biotechnol. Bioemg., 65: 176-181.

13-RODRIGUEZ-COUSIN-O,N.;MAQUEDA, M.; AMBRONA, J.; ZAMORA, E.,ESTEBAN, R, and RAMIREZ, M, 2011-A new wine *Saccharomyces cerevisiae* killer toxin (Klus) , encoded by a double-stranded RNA virus , with broad antifungal activity is evolutionarily related to a chromosomal host gene , Appl. Environ.Microbiol.,77(5): 1822-1832.

14- ABBAS , L, WALED, R, HAYDER , N ., 2013 - Optimum conditions for Biomass and lytic enzyme production by *Saccharomyces cerevisiae* and removal of total solids from waste water of dairy processing , Journal of Biotechnology Research Center, Vol.7 No.3, Iraq, p 66- 67.

15- TIAGO , F.C.P., MARTINS , F.S., SOUZA , E.L.S ., and JACQUES , R. NICOL I, 2012 - Adhesion to the yeast cell surface as a mechanism for trapping pathogenic bacteria by *Saccharomyces cerevisiae* probiotics , Journal of Medical Microbiology , 61: 1194-1207.

16 - MAHMOUD , N, RAHEM , I., 2016 - The effect of *Sacchromyces cerevisiae* to inhibit the growth and formation of the biofilm of *Pseudomonas aeruginosa* , Journal homepage: www.mjs-mu.com, Vol.27. No.1,p 15, Department of Biology/ College of Science / Al-Mustansiryia University.(In Arabic).

17- SHAFIQ, S.A., AJAA , H.A., KASIM, S.A., 2011-Reduction of toxic effects for Aflatoxin B1 by filtrates baker yeast *Saccharomyces cerevisiae*,Journal of Faculty of Basic Education, Number 72 , P 840.

تحضير بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) في وسط حمضي ودراسة خواصه وثباته الحراري

جهينه الغدير¹ د. أحمد الفلاح² د. سامح حمو²

ملخص البحث:

درس تفاعل بلمرة بارا فينيلين دي أمين بطرائق كيميائية وكهركيميائية عديدة، مؤخراً استخدمت هذه البلمرة لمقارنة تأثير الجسيمات النانوية الصديقة للبيئة على الخواص الفيزيائية لبولي فينيلين دي أمين ولتحسين الاستقرار الحراري له واستخدامه كأشباه موصلات. تتضمن هذه الدراسة تحضير بوليمر مشترك من بارا فينيلين دي أمين مع الفينول عند درجة حرارة المختبر في وسط حمضي بوجود بيروسولفات الأمونيوم كمؤكسد. تم دراسة الخصائص المورفولوجية للبوليمر المحضّر باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM). أظهرت عينة بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) سطحاً أملساً وتشكياً منتظماً بجسيمات نانوية بأقطار تتراوح من (39) إلى (121) نانومتر. تم توصيف البوليمر الناتج بالأشعة تحت الحمراء (IR)، وتشتت الأشعة السينية (EDX). دُرِسَ الثبات الحراري للبوليمر باستخدام التحليل الحراري الكتلّي (TGA)، والمحلل الحراري التفاضلي (DTA)، فوجدَ بأنه يتألف من مرحلتي تفكك. تم إجراء المسح الحراري التفاضلي (DSC) للبوليمر المحضّر فوجدَ بأنه لا يحتوي على درجة انصهار وانتقال زجاجي و البوليمر يتفكك قبل أن ينصهر.

الكلمات المفتاحية: بارا فينيلين دي أمين، فينول، بلمرة مشتركة، TGA، DSC.

¹ - طالبة دكتوراه - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق.

² - أستاذ دكتور - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق.

Preparation of poly (*p*-phenylenediamine-phenol) in an acidic medium and study its properties and its thermal stability

Juhaina Alghdir¹, Ahmad Falah², Sameh Hamo²

Abstract:

p-Phenylenediamine has been polymerized by several chemical and electrochemical methods. Recently, this polymerization has been used to compare the effect of environmentally friendly nanoparticles on the physical properties of poly(*p*-phenylenediamine) and to improve its thermal stability and to use it as a semiconductor. This study includes the preparation of the co-polymer of *p*-phenylenediamine with phenol at laboratory temperature in an acidic medium in the presence of ammonium pyrosulfate as an oxidant. The morphological properties of the prepared polymer were studied using a scanning electron microscope (SEM). The prepared polymer sample showed a smooth surface and uniform formation with nanoparticles in diameters ranging from (39) to (121) nm. The resulting polymer was characterized by (IR) and (EDX) . The thermal stability of the polymer was studied using thermal mass analysis (TGA) and differential thermal analyzer (DTA), and was found to consist of two dissociation stages. Differential thermal scanning (DSC) of the prepared polymer was performed and it was found that the polymer does not contain melting point or glass transition point and it disintegrates before melting.

Keywords: *p*-Phenylenediamine, Phenol, Co-polymerization, TGA, DSC.

¹ Student, Department of Chemistry, Faculty of Science, Damascus University.

² Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Damascus University.

1- المقدمة:

تعد البوليمرات مواد مهمة تستخدم في العديد من التطبيقات الإلكترونية والكهربائية بسبب خصائصها النموذجية مثل القوة والمرونة وقابلية التشكيل [1]. منذ اكتشافها في عام 1977، جذبت البوليمرات الموصلة الباحثين لخصائصها الموصلة الجيدة، ومقاومتها للتآكل، وخفة الوزن، وتم استخدامها في تصنيع الأجهزة الإلكترونية والبطاريات القابلة لإعادة الشحن وفي تحويل الطاقة الشمسية [2-3]. تم تخصيص جزء كبير من هذه الدراسات للبولي أنيلين المُحضّر من مادة مؤكسدة إما كهربائياً أو كيميائياً من الأنيلين أو مشتقاته، حيث بدأ الاهتمام بالبولي أنيلين بعد اكتشاف أن البولي أسيتيلين له موصلية معدنية في عام 1977. لذا تم استخدام بولي الأنيلين في تطبيقات متنوعة، مثل المستشعرات الحيوية، وأجهزة استشعار الغاز، والإلكترونيات الضوئية [4-5-6]. تنتمي فينيلين دي أمينات إلى مشتقات الأنيلين، وقد استُخدمت مشتقات البولي أنيلين كتطبيقات في مجالات مختلفة مثل إزالة المعادن الثقيلة من النفايات السائلة، العوامل المضادة للتآكل [7]، دراسات الحساسات (Sensor)، والأجهزة الإلكترونية الدقيقة، والحماية الكهرومغناطيسية والبصريات [8-9-10-11]. تم دراسة بعض البوليمرات المشتركة للأنيلين مع مونوميرات أخرى من عائلة الأنيلين، على سبيل المثال (أورتو تولويدين، 5,2-دي ميتوكسي أنيلين، بارا أمينو فينول) لتعديل بعض الخواص المُحددة أحدها ضعف قابلية الذوبان في المحلات التي يشيع استخدامها. هذه المونومرات عبارة عن الأنيلينات المستبدلة بالأريل والتي لا تغير العمود الفقري الأساسي للبولي أنيلين أثناء البلمرة المشتركة، ومع ذلك، فإن البوليمرات التي تم الحصول عليها من أورتو وميتا وبارا فينيلين دي أمين تعتبر أيضاً بولي أنيلينات مع هويتها الخاصة، بالرغم أنها تُظهر أوجه تشابه مع البولي أنيلين، لكنها أيضاً تُظهر اختلافات كبيرة معه [12-13-14]. يمكن بلمرة بارا فينيلين دي أمين بسهولة في ظروف حمضية خفيفة وبوجود مادة مؤكسدة [15]. تم استخدام هذه البلمرة من أجل دراسة اصطناع بوليمرات مشتركة للدي فينيلين

أمين مع الأنيلين عن طريق البلمرة المؤكسدة باستخدام بيروسولفات الأمونيوم كعامل مؤكسد [16].

2- هدف البحث:

قدّمنا في هذا البحث طريقة كيميائية سهلة من أجل البلمرة المشتركة لبارا فينيلين دي أمين مع الفينول في وسط حمضي بوجود بيروسولفات الأمونيوم التي تعمل كمادة مؤكسدة، ويهدف هذا البحث إلى تحضير وتوصيف بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) ودراسة ثباته الحراري وبعض خواصه.

3- مواد البحث وطرائقه:

3-1- المواد والأدوات والأجهزة المستخدمة :

المواد المستخدمة: بارا فينيلين دي أمين من إنتاج شركة سيغما، فينول من إنتاج شركة سيغما، بيروسولفات الأمونيوم من إنتاج شركة سيغما، حمض كلور الماء 36.5% من إنتاج شركة ميرك، إيتانول 99.9% من إنتاج شركة سيغما.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- جهاز التحليل الحراري الوزني Thermogravimetry (TG) والمسعر التفاضلي Differential Scanning Calorimetry (DSC)، موديل SDT TA Instruments - Q600، شركة بيم جوستار تابان-إيران، صنّع في إنكلترا.
- ميزان الكتروني (Sartorius Basic) ، تم تطويره وتصنيعه واختباره بواسطة أدوات دقيقة Ltd ، صنّع في سويسرا.
- سخانة كهربائية من النوع المغناطيسي، صنّع في إنكلترا.
- مجفف موديل: Js0f-100 صنّع في كوريا.
- أدوات زجاجية مختلفة الأشكال والقياسات.

3-2- الطرائق العملية المتبعة:

تحضير بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول): 50% بارا فينيلين دي أمين -50% فينول يتم وزن (2.5g) من (بارا فينيلين دي أمين) و (2.175g) من الفينول، وأضيف إليه (6.25 g) من بيرو سولفات الأمونيوم (تعمل كمؤكسد) المحلولة مسبقاً في (80 ml) من حمض كلور الماء المحضّر (1M) حيث أضيف بالتقريب ولمدة 15 دقيقة، يلاحظ تلون المحلول باللون الأزرق بسرعة نتيجة لحدوث البلمرة، ثم يغمق فيتحول إلى أزرق قاتم مسود، بعدها ترك التفاعل لمدة ساعة مع التحريك لتمام حدوث التفاعل. تم فصل الراسب بالإبانة وغسل بمحلول قلوي ضعيف للتخلص من آثار الحمض ثم عدة مرات بالماء المقطر ثم بالكحول المطلق، وأخيراً تم تجفيفه وحفظه.

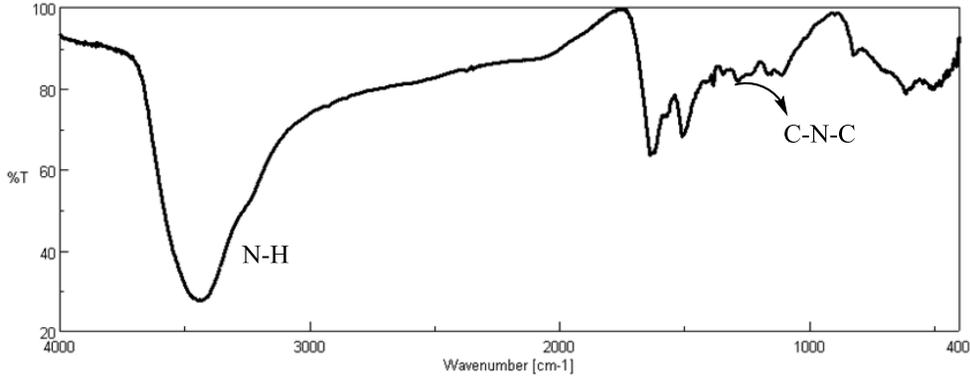
4- النتائج والمناقشة:

البوليمر الناتج عبارة عن مسحوق أسود مزرق داكن عديم الذوبان في كثير من المذيبات الشائعة كالميتانول والإيثانول، لكنه يذوب بشكل جيد بحمض النمل، دي ميثيل سلفوكسيد (DMS)، ودي ميثيل فورم أميد (DMF). ينصهر بدرجة حرارة عالية ($>300C^0$) ثم يبدأ بالتفكك. تم توصيف البوليمر الناتج باستخدام: FT/IR و EDX ودراسة حجم وشكل دقائق البوليمر الناتج باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح SEM، وبعدها تم دراسة الثبات الحراري له باستخدام التحليل الحراري الكتلّي (TGA)، المحلل الحراري التفاضلي (DTA)، وأخيراً دُرسَ بالمسح الحراري التفاضلي (DSC).

4-1- طيف FT/IR:

سُجِّلَ طيف تحت الأحمر للبولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) كما في الشكل (1). نلاحظ في الطيف ظهور عصابة امتصاص عند ($1286cm^{-1}$) عائدة للرابطة (CNC)، ونلاحظ أيضاً ظهور عصابة امتصاص عند ($3431cm^{-1}$) عائدة لزمرة

الأمين الثانوي، لكن بسبب وجود زمرة الهيدروكسيل تتداخل عصابات امتصاص الأمين والهيدروكسيل.



الشكل (1): طيف (FT/IR) لبولي (فينيلين دي أمين-فينول)

2-4: تحليل العناصر باستخدام مطيافية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDX):

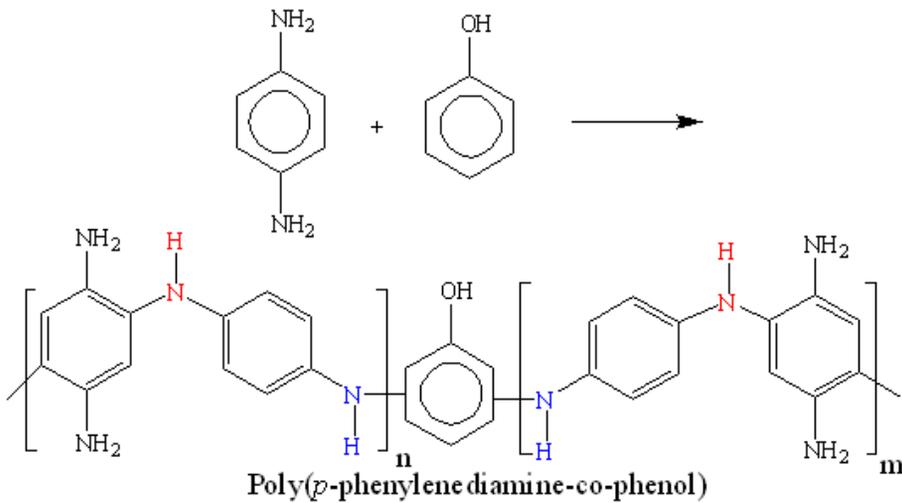
مطيافية الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX) هي تقنية تحليلية مستخدمة لتحليل العناصر أو المواد الكيميائية لتوصيف العينة، إلا أنه لا يُحدّد نسبة عناصر الهيدروجين. لتحديد النسب الوزنية والذرية للعناصر داخل البوليمر، قمنا بإجراء تحليل عنصري باستخدام تقنية EDX. تم تحليل منطقتين متفرقتين من سطح العينة، والجدول (1) يوضّح نسب العناصر في البوليمر لمنطقتين.

الجدول (1): نسب العناصر في البوليمر لمنطقتين منه

Ele/C	Area 2		Area 1		Element
	Atomic %	Wt%	Atomic %	Wt%	
100.0%	56.66	51.14	65.54	60.73	C
35.13%	21.66	22.79	21.28	22.99	N
28.53%	21.68	26.06	13.19	16.28	O
100.0%	100	100	100	100	Total

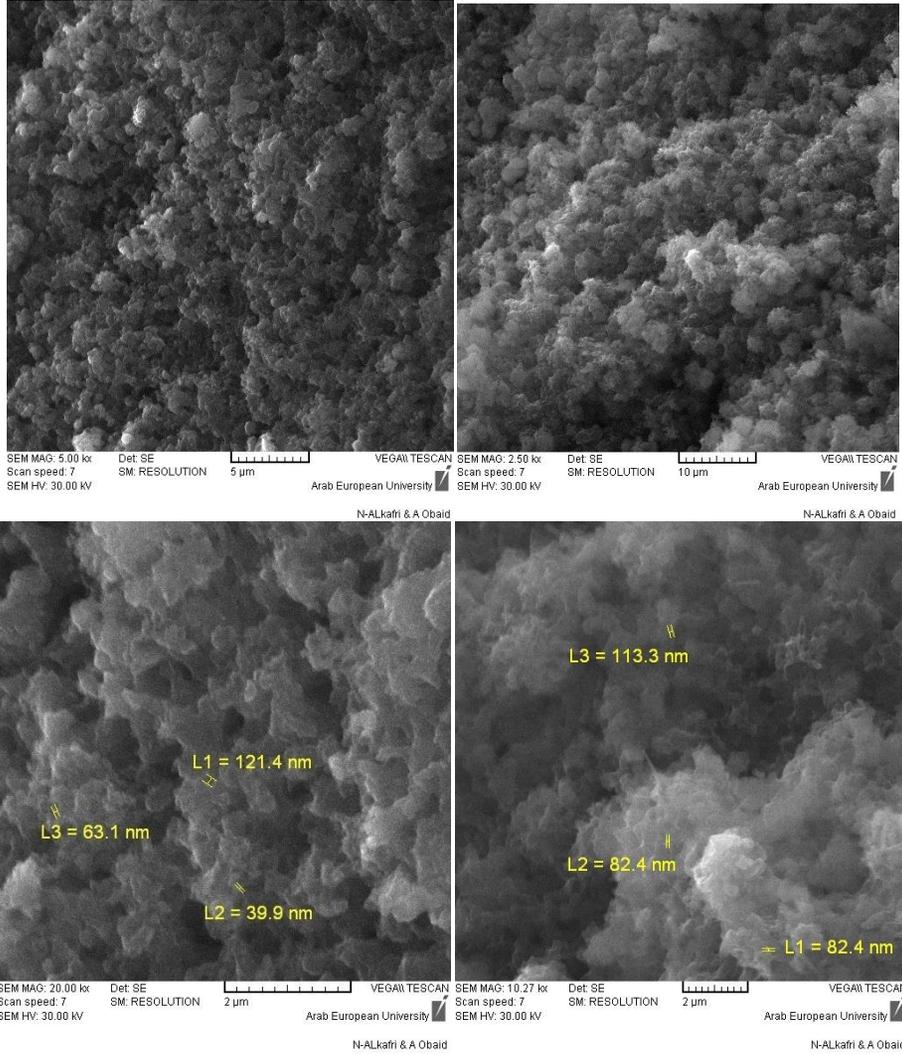
نلاحظ من الجدول (1) أن نسبة عدد ذرات الأزوت (N) إلى عدد ذرات الكربون (C) في العينة يقارب (35%) وهذا يدل على احتواء البوليمر في بنيته على ذرة أزوت واحدة مقابل كل ثلاث ذرات كربون. كما ونلاحظ أن هناك نسبة أعلى من ذرات الأوكسجين قد يعود ذلك لوجود بعض جزيئات الماء التي تبقى محتبسة في بنية البوليمر، وهذا ما يُفسّر الاختلاف الكبير بين المنطقتين المدروستين.

يمكن بالاعتماد على ما سبق اقتراح صيغة البوليمر المشترك المُحصّر بالشكل الآتي:



3-4: المجهر الإلكتروني الماسح SEM:

تم إجراء صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لدراسة الخصائص المورفولوجية لسطح البوليمر. يبيّن الشكل (2) صور المجهر الإلكتروني الماسح، حيث تُظهر عينة بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) سطحاً أملساً وتشكياً موحداً للجسيمات النانوية بأقطار من 39 إلى 121 نانومتر.

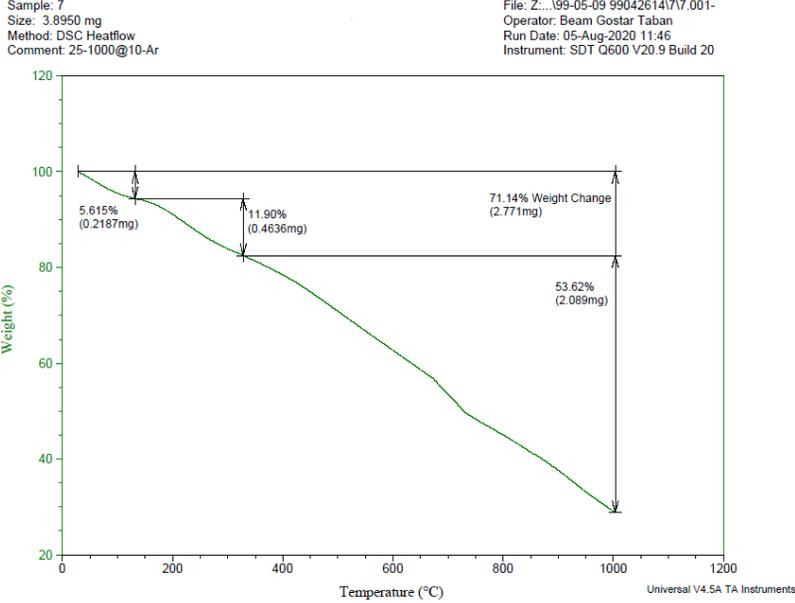


الشكل (2): صور SEM لبولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول)

4-4: التحليل الحراري:

دُرِس الثبات الحراري للبوليمر الناتج باستخدام التحليل الحراري الكتلتي (TGA)، والمحلل الحراري التفاضلي (DTA) كما هو موضح بالشكل (3). تم تطبيق التحلل الحراري للبوليمر المدروس في نطاق C(30-1000) بمعدل تسخين 10 درجة مئوية/دقيقة.

لوحظَ بأنه يتألف من مرحلتين تفكك، مرحلة التفكك الأولى بحدود (130-350) درجة مئوية، والمرحلة الثانية (320-900).

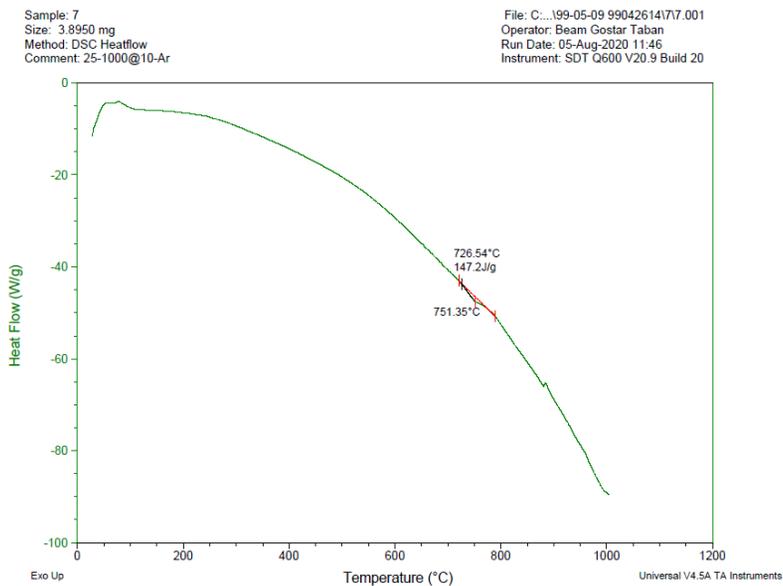


الشكل (3): TGA لبولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول)

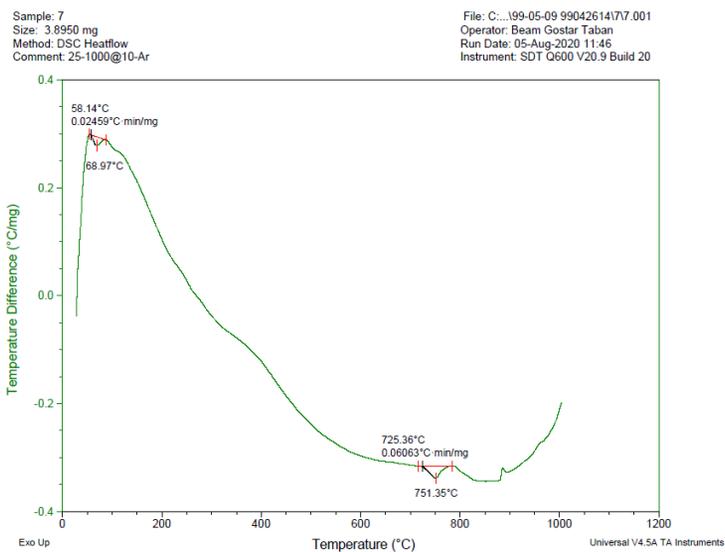
4-5- المسح الحراري التفاضلي (DSC):

تم إجراء المسح الحراري التفاضلي (DSC) لعينة بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) كما في الشكل (4). لوحظ بأن البوليمر المشترك الناتج ليس له درجة انصهار وانتقال زجاجي، حيث أن القمة الظاهرة في DSC عند الدرجة (751C) يكون فيها خسارة كبيرة بالوزن ملاحظ في مخطط TGA وDTA عند هذه الدرجة كما في الشكل (3) والشكل (5)، وبالتالي فإن هذه القمة تكون ناتجة عن امتصاص حرارة بسبب تفكك البوليمر، أي أن البوليمر يتفكك قبل أن ينصهر.

تحضير بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) في وسط حمضي ودراسة خواصه وثباته الحراري



الشكل (4): DSC لبولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول)



الشكل (5): DTA لبولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول)

5- الاستنتاجات:

- 1- تم تحضير بولمير مشترك جديد من بارا فينيلين دي أمين والفينول بطريقة سهلة بدرجة حرارة المختبر في وسط حمضي وبوجود بيروسولفات الأمونيوم التي تعمل كعامل مؤكسد.
- 2- تم توصيف البولمير والتأكد من بنيته المقترحة باستخدام كل من FT/IR و EDX.
- 3- تم دراسة مورفولوجية سطح البولمير الناتج باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح، حيث أظهرت عينة بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) سطحاً أملساً وتشكياً موحداً للجسيمات النانوية بأقطار من 39 إلى 121 نانومتر.
- 4- دُرس الثبات الحراري للبولمير باستخدام التحليل الحراري الكتلّي (TGA)، والمحلل الحراري التفاضلي (DTA) فلوحظ بأنه يتألف من مرحلتي تفكك.
- 5- تم إجراء قياس المسح التفاضلي (DSC) لعينة بولي (بارا فينيلين دي أمين-فينول) فوجد أن البولمير المشترك الناتج ليس له درجة انصهار وانتقال زجاجي، حيث أن القمة الظاهرة في DSC تكون ناتجة عن امتصاص حرارة بسبب تفكك البولمير و البولمير يتفكك قبل أن ينصهر.

6- المراجع:

- [1]- Heeger, A, MacDiarmid, A, Shirakawa, H, 1999-Conducting polymer, Macromolecules, No 32, 7942-7945.
- [2]- Kumar, R, Singh, S, Yadav, B, 2015-Conducting polymers: synthesis, properties and applications, IARJSET, Vol 2, No 11, pp2394-2421.
- [3]- Ates, M, Karazehir, T, Sara, A, 2012-Conducting Polymers and their Applications, Current Physical Chemistry, 2, 224-240.
- [4]- Green, A, Woodhead, A, 1910- Aniline-black and Allied Compounds. Part I, J. Chem. Soc., vol. 97, pp. 2388-2403.
- [5]- Green, A, Woodhead, A, 1912-Aniline-black and Allied Compounds Part II, J. Chem. Soc., vol. 101, pp. 1117-1123.
- [6]- Ram, M, Yang, O, Lahsargarh, V, Aldissi, M, 2005-CO gas sensing from ultrathin nano composite conducting polymer film, Sensors and Actuators B, vol. 106, pp. 750-757.
- [7]- Suresh V, Venkatraman, R, Shobana, V, Subramania A, 2012-Polythiophene Naphtholsulphonic acid: New and effective corrosion inhibitor for carbon steel in acid solution, Res. J. Chem. Sci. 2(10), 87-94.

[8]- Xiang, C, Xie, Q, Hu, J, Yao, Sh, 2006-Studies on electrochemical copolymerization of aniline with o-phenylenediamine and degradation of the resultant copolymers via electrochemical quartz crystal microbalance and scanning electrochemical microscope, Synth. Met., 156, 444-453.

[9]- Kong, Y, Li, W, Wang, Z, Yao, Ch, Tao, Y, 2013-Electrosorption behavior of copper ions with poly(m-phenylenediamine) paper electrode, Electrochem. Comm., 26, 59-62.

[10]- Dinesh, S, Vivek, D, Kumar, M, 2013- Dielectric Study of Polyaniline in Frequency Range 100Hz to 500 KHz at Temperature 20°C and 30°C, Res. J. Chem. Sci., 3(2), 16-19.

[11]- Shanthi, T, Rajendran, S., 2013- Influence of Polyvinyl Pyrolidone on Corrosion Resistance of Mild Steel Simulated Concrete Pore Solution Prepared in Well Water, Res. J. Chem. Sci., 3(9), 39-44.

[12]- Olgun, U, Gülfen, M, 2014- Doping of poly(o-phenylenediamine): spectroscopy, voltammetry, conductivity and band gap energy, React. Funct. Polym. 77,23-29.

[13]- Wang, M, Zhang, H, Wang, C, Hu, X, Wang, G, 2013- Direct electrosynthesis of poly-o-phenylenediamine bulk materials for supercapacitor application, Electrochim. Acta 91,144-151.

[14]– Archana, S, Jaya,S, 2014– Synthesis and characterization of poly(pphenylenediamine) in the presence of sodium dodecyl sulfate, Res. J. Chem. Sci. 4, 60–67

[15]– Archana,S, Shanthi, J, 2014– Synthesis and Characterization of Poly (p–phenylenediamine) in the Presence of Sodium Dodecyl Sulfate, Vol. 4(2), 60–67.

[16]– Contrerasa, E, Escobarb, C, Monjec, A, Kobayashia, T, 2016– Synthesis of diphenylamine–co–aniline copolymers in emulsified systems using a reactive surfactant as the emulsifying agent and aniline monomer, Synthetic Metals 214, 5–13.
