

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 14

1448 هـ - 2026 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. وليد حمادة	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية
د. نعيمة عجيب	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية

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

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

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + word / CD
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 ورد 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 حمص

1. دفع رسم نشر (600) ل.س ستمئة ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (2000) ل.س الفا 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 (150) ل.س مئة وخمسون ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
24-11	بشرى العلي أ.د. هيثم يازجي أ.د. زهير المجيد	التسجيل الأول ليرقات الطفيلي <i>Anisakis</i> في أسماك البالون <i>Lagocephalus</i> <i>sceleratus</i> من الساحل السوري للبحر المتوسط
48-25	خولة عبدالله الفرج أ.د. عبد الهادي صوفان	النشاط الإشعاعي الطبيعي الناتج عن خشب السويد المستخدم في مباني مدينة حمص
68-49	آلاء الأحمد	دراسة تأثير درجة الحرارة على المقاطع العرضية للأسر والتشتت النيوتروني
90-69	ملك إبراهيم الحوري أ.د. عبد الإله الشيخ حمود	اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل مانيخ مع السلفاميثاكسازول وتقييم فعاليته الحيوية
118-91	ميادة حبوس	دراسة الخصائص التحسسية لأفلام رقيقة من أكسيد التنغستن تجاه بخار البروبانول

التسجيل الأول ليرقات الطفيلي *Anisakis* في أسماك البالون *Lagocephalus scleratus* من الساحل السوري للبحر المتوسط

بشرى العلي *

أ.د. هيثم يازجي **

أ.د. زهير المجيد ***

ملخص

تُعد سمكة البالون *Lagocephalus scleratus* من الأنواع السمكية الغازية واسعة الانتشار في البحر المتوسط، إلا أنَّ المعلومات المتعلقة بالطفيليات المرتبطة بها في الساحل السوري لا تزال محدودة. هدفَ البحث إلى الكشف عن يرقات ديدان جنس *Anisakis* في *L. scleratus* المصطادة من الساحل السوري، وتوصيفها اعتماداً على بعض الصفات المورفولوجية. جُمِعَت عشر عينات سمكية، شُرِّحَت واستُخْرِجَت الديدان الأسطوانية من جهازها الهضمي، وفُحِصَت مجهرياً. أظهرت النتائج وجود يرقات تملك صفات مورفولوجية مميزة تتوافق مع جنس *Anisakis*. يعد ذلك التسجيل الأول ليرقات *Anisakis* في سمكة البالون *L. scleratus* من المياه السورية، وإضافة جديدة للمعرفة حول التنوع الطفيلي المرتبط بالأسماك الغازية في شرق المتوسط، وتوفر أساساً لدراسات مستقبلية أوسع حول توزيع *Anisakis* وعلاقاته بالعوائل البحرية في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: *Lagocephalus scleratus* ، *Anisakis* ، الطفيليات البحرية، الساحل السوري، البحر المتوسط.

First Record of the parasite *Anisakis* Larvae in the Pufferfish *Lagocephalus scleratus* from the Syrian Coast of the Mediterranean Sea

* طالبة دراسات عليا (دكتوراه)، قسم علم الحياة الحيوانية، كلية العلوم، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) – سورية.

Email: boushra.alali@Latakia-univ.edu.sy

** أستاذ، قسم علم الطب المخبري، كلية الطب، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) – سورية.

*** أستاذ، قسم علم الحياة الحيوانية، كلية العلوم، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) – سورية.

Boushra Alali *

Prof. Haitham Yazagi **

Prof. Zouhair Almajid ***

ABSTRACT

The pufferfish *Lagocephalus sceleratus* is a widely distributed invasive fish species in the Mediterranean Sea; however, information on its associated parasites from the Syrian coast remains limited. This study aimed to detect *Anisakis* larvae in *L. sceleratus* caught off the Syrian coast and to characterize them based on morphological features. Ten fish specimens were collected, dissected, and nematodes were extracted from their digestive tracts and prepared for microscopic examination. The results revealed the presence of larvae exhibiting distinct morphological characteristics consistent with the genus *Anisakis*. This represents the first record of *Anisakis* larvae in *Lagocephalus sceleratus* from Syrian waters, contributing new knowledge on the parasite diversity associated with invasive fish species in the eastern Mediterranean, and providing a basis for future studies on the distribution of *Anisakis* and its relationships with marine hosts in the region.

Keywords: *Lagocephalus sceleratus*, *Anisakis*, Marine parasites, Syrian coast, Mediterranean Sea.

مقدمة:

تُعد الطفيليات البحرية مكوناً حيوياً أساسياً في النظم البيئية المائية، إذ تؤدي أدواراً متعددة في تنظيم العلاقات بين العوائل، والتأثير في ديناميكية الجماعات الحيوية، والحفاظ على التوازن البيئي داخل الشبكات الغذائية البحرية [1].

* Postgraduate Student (PhD) - Department of Zoology - Faculty of sciences - Latakia university (formerly Tishreen) – Syria.

Email: boushra.alali@Latakia-univ.edu.sy

** Prof - Department of Laboratory Medicine - Faculty of medicine - Latakia university (formerly Tishreen) – Syria.

*** Prof - Department of Zoology - Faculty of sciences - Latakia university (formerly Tishreen) – Syria.

ومن بين أكثر مجموعات الطفيليات انتشاراً في البيئات البحرية تأتي الديدان الأسطوانية (Nematoda)، التي تصيب مجموعة واسعة من العوائل بدءاً من اللاقاريات وصولاً إلى الأسماك والثدييات البحرية. ويحظى جنس *Anisakis* (فصيلة Anisakidae) بأهمية خاصة نظراً لانتشاره العالمي، وتعقيد دورة حياته، وارتباطه بالصحة العامة [2].

تتميز دورة حياة *Anisakis* بأنها غير مباشرة ومعقدة، تعتمد على انتقال الطفيلي عبر عدة عوائل ضمن السلسلة الغذائية البحرية.

تعيش الديدان البالغة في معدة الثدييات البحرية (العوائل النهائية)، حيث تطرح البيوض مع البراز إلى المياه. وبعد عدة انقسامات، تفقس اليرقات الأولية، وتبتلعها القشريات الصغيرة مثل مجدافيات الأرجل (Copepods) التي تمثل العائل الوسيط الأول. تنتقل اليرقات إلى الأسماك أو رأسيات الأرجل (العوائل الناقلة أو الوسيطة الثانية) عند افتراسها للقشريات المصابة، وعندما تبتلع الثدييات البحرية الأسماك المصابة تكمل اليرقات تطورها إلى الطور البالغ [2,3].

لا تقتصر أهمية *Anisakis* على دورها البيئي، بل تمتد لتشكل خطراً على الصحة العامة، إذ تعد المسبب الرئيس لداء الأنيساكيس (Anisakiasis)، وهو مرض طفيلي ينتج عن ابتلاع يرقات الطور الثالث الحية الموجودة في الأسماك النيئة أو غير المطهية جيداً [4].

وقد سجّلت الحالات البشرية الأولى في ستينيات القرن الماضي، وتزايد الاهتمام بها لاحقاً بعد اكتشاف أن التعرض للطفيلي لا يسبب العدوى فحسب، بل يمكن أن يؤدي أيضاً إلى تفاعلات تحسسية شديدة نتيجة المستضدات التي تفرزها اليرقات، والتي قد تظهر حتى بعد موت الطفيلي في الغذاء.

وتشمل المظاهر السريرية لداء (Anisakiasis): ألم في المعدة، الغثيان، الإقياء، والتهاب المعدة أو الأمعاء، وفي بعض الحالات الشديدة قد يستدعي الأمر تدخلاً جراحياً [4,5].

يشكل البحر المتوسط أحد النظم البحرية المهمة لدراسة الطفيلي *Anisakis* نظراً لتنوعه البيولوجي، ووجود العديد من الأنواع السمكية المهاجرة والغازية، واحتوائه على مجموعات مؤثرة من الثدييات البحرية التي تمثل عوائل نهائية لهذه الطفيليات.

وقد ساهمت التغيرات البيئية، وزيادة انتقال الأنواع البحرية عبر قناة السويس (الهجرة الليسبسية Lessepsian Migration) في إدخال أنواع سمكية جديدة إلى المتوسط، ومن أبرزها سمكة البالون السامة *Lagocephalus sceleratus* [6]، التي تعد واحدة من أكثر الأنواع الغازية انتشاراً في شرق ووسط البحر المتوسط، وقد ساعدتها مجموعة من الخصائص البيولوجية على النجاح في استعمار بيئات جديدة، من بينها النمو السريع، والقدرة العالية على التكيف، والنظام الغذائي واسع الطيف. فضلاً عن تأثيرها المحتمل في المجتمعات السمكية المحلية، تكتسب هذه السمكة أهمية صحية خاصة بسبب احتوائها على سم التetrodotoxin، وقد سببت حالات تسمم مميتة في منطقة المتوسط خلال السنوات الأخيرة [7,8].

على الرغم من الأهمية البيئية والصحية لسمكة *L. sceleratus* لا تزال الدراسات المتعلقة بالطفيليات المرتبطة بها محدودة، خاصة في المياه البحرية السورية التي تشكل جزءاً مهماً من شرق المتوسط.

وكانت دراسة (Bakopoulos et al., 2017) أول تسجيل لوجود يرقات *Anisakis* في أسماك *L. sceleratus* في شرق البحر المتوسط. حيث فحص الباحثون 41 عينة من بحر إيجه الشرقي، وسجلوا وجود يرقات *Anisakis* من النوع الثالث في عينتين، بنسبة انتشار بلغت 4.9%، إضافة إلى الدودة الأسطوانية البالغة *Hysterothylacium aduncum* بنسبة 16.4% [7].

وفي دراسة لاحقة من الساحل الليبي، فحص (Mohammed et al., 2023) عينة من أسماك *L. sceleratus*، وسجلوا وجود يرقات *Anisakis* إضافة إلى طفيليات أخرى مثل *Cryptobia* و *iubilans* و *Haplospilichna*، مما يؤكد استمرار وجود هذا الطفيلي في مناطق متعددة من شرق المتوسط [9].

وبالرغم مما سبق، لا توجد حتى الآن دراسة منشورة عن الطفيليات في النوع *L. scleratus* في المياه السورية، مما يمثل فجوة معرفية واضحة، خاصة في ضوء الانتشار الواسع لهذه السمكة على الساحل السوري، وازدياد صيدها واستهلاكها محلياً من قبل الصيادين، وما يترتب على ذلك من مخاطر صحية محتملة مرتبطة بالتترودوتوكسين وطفيليات *Anisakis* ذات الأهمية الصحية والبيئية.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في كونه التسجيل الأول ليرقات الطفيلي *Anisakis* في سمكة البالون *L. scleratus* كعائل من المياه السورية، وهي إضافة جديدة حول التنوع الطفيلي المرتبط بهذه الأسماك الغازية، وقد يؤدي اندماجها في الشبكات الغذائية المحلية إلى التأثير في ديناميكية انتقال الطفيليات البحرية.

يهدف البحث إلى الكشف عن وجود يرقات ديدان جنس *Anisakis* في سمكة البالون *L. scleratus* المصطادة من الساحل السوري، وتوصيفها مورفولوجياً اعتماداً على الصفات التشريحية الخارجية والداخلية، وتحديد موضع الإصابة، ومقارنة النتائج مع الدراسات السابقة من مناطق مختلفة في البحر المتوسط.

مواد وطرائق البحث:

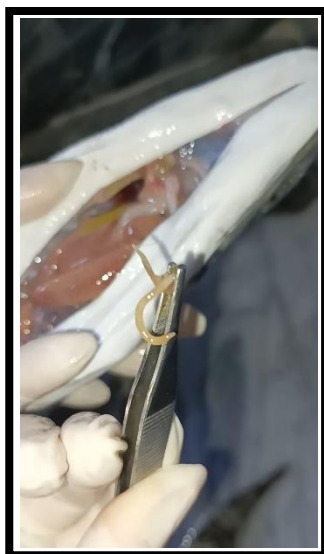
جُمعت عشر عينات من سمكة البالون *Lagocephalus scleratus* الجدول (1)، من مواقع مختلفة (برج إسلام، الكورنيش الجنوبي، مرفأ الصيد والنزهة) من شاطئ مدينة اللاذقية خلال شهري نيسان وأيار (فترة الربيع، وهي مناسبة لنشاط وتكاثر الأسماك وتوافر الطفيليات) لعام 2025، بمتوسط طول كلي (38.22) سم ومتوسط وزن (651.86) غ، باستخدام شباك غلصمية وأقفاص وبالتعاون مع الصيادين المحليين.

الجدول (1) القياسات المورفومترية والوزنية لسمكة البالون *Lagocephalus scleratus* للعينات المصطادة

التسجيل الأول ليرقات الطفيلي *Anisakis* في أسماك البالون *Lagocephalus sceleratus* من الساحل السوري للبحر المتوسط

رقم العينة	الوزن (غ)	الطول الكلي (سم)	الطول القياسي (سم)	الارتفاع (سم)	الجنس F/ إناث ، M/ ذكور
1	503.3	34.5	28.1	5.6	M
2	520.4	37.3	31.7	6.4	M
3	495.3	33.9	27.5	4.9	F
4	556.7	38.6	32.2	6.6	F
5	472.7	32.4	27.3	4.6	M
6	1085.3	43.9	38.9	8.1	M
7	830.7	43.2	36.2	5.9	M
8	769.4	41.5	36.9	5.7	M
9	386.2	32.1	27.3	4.6	M
10	898.6	44.8	37.7	5.8	M

نُقلت العينات على الفور إلى مختبر علم الحياة الحيوانية - كلية العلوم - جامعة اللاذقية داخل صناديق مبردة، قيسَت الأطوال (الطول الكلي، الطول القياسي) والأوزان، وسُجِّلَت القياسات المورفولوجية لكل سمكة، الجدول (1). ثم شُرِّحت العينات السمكية حسب الطريقة المُعتمَدة وفق الباحثين (Amlacher) و (Lucky) [11,10]، وفُتِحَ التجويف البطني لكل سمكة وسُحِبَ الجهاز الهضمي بالكامل، وتم تفريره في أطباق بتري معقمة. بعد ذلك، عُرِزَت الكائنات الطفيلية (يرقات الديدان الأسطوانية) باستخدام ملاقط دقيقة، الشكل (1)، وحُفِظَت في كحول إيثيلي (70%) لمدة 24 ساعة لتثبيتها وحفظها [12].



الشكل (1) استخراج الديدان الأسطوانية باستخدام الملاقط الدقيقة

وَضِعَت اليرقات المعزولة في حمض اللاكتيك لمدة تراوحت بين 10 - 20 دقيقة، للفحص بالمجهر الضوئي (40x - 100x)، وتوضيح بعض البنى التشخيصية المهمة (النهاية الأمامية، النهاية الخلفية، الجهاز الهضمي) [13,14]، وتمّ التصوير بواسطة كاميرا موبايل بدقة (50) ميغابيكسل.

النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج الفحص الطفيلي إصابة جميع العينات السمكية المدروسة (100%) ولم تختلف بين شهري نيسان وأيار، ولم تكن شدة الإصابة متطابقة بين جميع العينات، حيث وُجِدَت يرقات الطفيلي *Anisakis* في الجهاز الهضمي لكل سمكة، ولم يُعثر على أية طفيليات أخرى مرافقة.

حُدِّدَ جنس الطفيلي المعزول في هذا البحث بالاعتماد على المفاتيح التّصنيفيّة العالمية المعتمدة في علم الطفيليات [13,14,15] وبالرجوع أيضاً إلى قاعدة البيانات العالمية للأنواع البحرية (WoRMS) باعتبارها المرجع الأساسي والمُحدَّث باستمرار للتصنيف الحيوي للكائنات البحرية على المستوى العالمي، ويوضح الجدول (2) التسلسل التصنيفي الكامل للطفيلي وفق ما هو معتمد في قاعدة البيانات المذكورة.

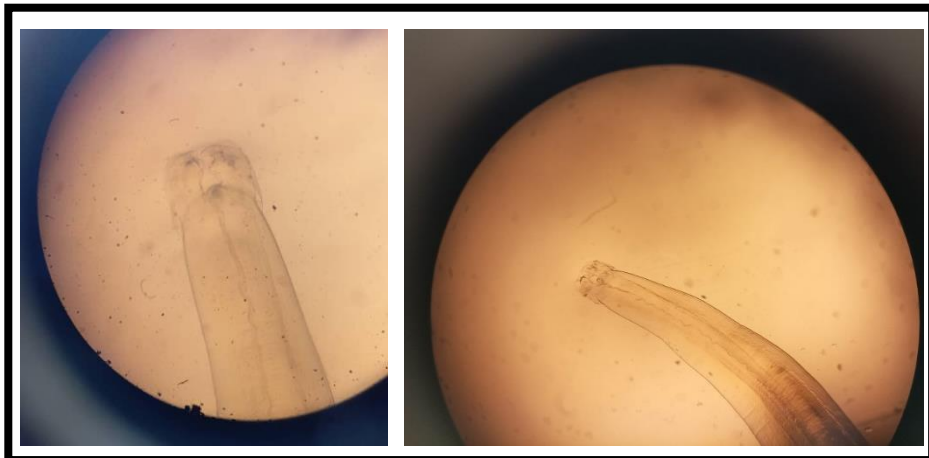
الجدول (2) تصنيف الطفيلي المعزول وفق قاعدة البيانات العالمية للأنواع البحرية (WoRMS)

Animalia	المملكة الحيوانية /Kingdom/
----------	--------------------------------

التسجيل الأول ليرقات الطفيلي *Anisakis* في أسماك البالون *Lagocephalus sceleratus* من الساحل السوري للبحر المتوسط

الشعبة /Phylum/	<i>Nematoda</i>
الصف /Class/	<i>Chromadorea</i>
الرتبة /Order/	<i>Rhabditida</i>
الفصيلة /Family/	<i>Anisakidae</i>
الجنس /Genus/	<i>Anisakis</i>

أظهر الفحص المجهرى للطفيلي مجموعة من الصفات المورفولوجية المميزة التي تتوافق مع جنس *Anisakis* وفق المفاتيح التصنيفية العالمية [15,14,13] ، الشكل (2).



الشكل (2) صورتان توضحان الخصائص المورفولوجية من خلال الفحص المجهرى

حيث كانت الصفات المورفولوجية كالآتي:

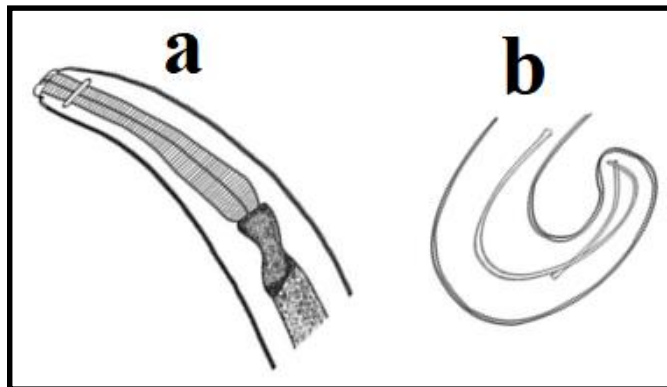
✚ النهاية الأمامية: بسيطة، محاطة بثلاث شفاه.

✚ النهاية الخلفية: تتميز بانحناء بسيط (Mucron) نحو الجهة البطنية.

✚ الجهاز الهضمي: أنبوبي بسيط يمتد من الفتحة الفموية حتى الفتحة الشرجية.

✚ الغشاء الخارجي: أملس ولامع، يخلو من الزوائد الجانبية.

بالمقارنة مع الشكل (3) المعياري المعتمد ليرقات *Anisakis* وفق الدراسة المرجعية للباحثين (Klimpel وآخرون) [16]، تبين أنَّ هناك تطابقاً في الصفات الشكلية الأساسية، مما يدعم ويعزز التصنيف الأولي للعينات كيرقات من جنس *Anisakis* من الطور الثالث.



الشكل (3) رسم توضيحي للشكل العام ليرقات *Anisakis* وفق (Klimpel et al., 2004) [16]
a : النهاية الأمامية ، b : النهاية الخلفية المعقوفة (Mucron)

وتعد الصفات المورفولوجية المذكورة أعلاه، كافية للتمييز بين جنس *Anisakis* والأجناس البحرية الأخرى الشائعة في الأسماك مثل *Contracaecum* (الذي يمتلك زوائد جانبية) و *Hysterothylacium* (الذي يمتلك بطيئاً كروياً وملحقاً معويًا).

تتفق نتائج البحث الحالي مع الدراسات السابقة [7,9]، التي سجلت وجود يرقات *Anisakis* في سمكة *Lagocephalus sceleratus* في مناطق مختلفة من شرق البحر المتوسط (بحر إيجه الشرقي، الساحل الليبي)، مما يؤكد أن هذه السمكة الغازية قد اندمجت بشكل كافٍ ضمن الشبكة الغذائية المحلية وأصبحت عائلاً ناقلاً لهذا الطفيلي، كما يمكن أن تؤثر بعض العوامل البيئية ولا سيما درجة حرارة مياه البحر والملوحة بشكل غير مباشر في دورة حياة هذا الطفيلي.

كون السمكة تحمل يرقات، فهذا يعني أنها تستهلك العوائل الوسيطة (القشريات أو الأسماك الصغيرة) المصابة بالطفيلي، وهذا يؤكد أن نظامها الغذائي في المياه السورية يتضمن مستويات غذائية متعددة تسمح بانتقال الطفيلي إليها. ومن الجدير بالذكر أن النوع الطفيلي *Anisakis simplex* كان قد سجل وجوده في أمعاء ومناسل أربعة أنواع من الأسماك العظمية المحلية والغريبة سابقاً؛ في مناسل النوع السمكي المهاجر *Pagellus bogaraveo* [17] والنوع المحلي *Dentex macrophthalmus* [18] وفي أمعاء النوعين المحليين *Euthynnus alletteratus* [19] و *Lepidorhombus*

whiffiagonis [20] ، وبهذا يوثق هذا البحث وجود إصابات بهذا الطفيلي في أمعاء نوع سمكي خامس في البيئة البحرية السورية.

الاستنتاجات والتوصيات:

- بناءً على النتائج التي توصلنا إليها في هذا البحث، يمكن استخلاص الاستنتاجات الرئيسية الآتية:
1. سُجِّلَت يرقات من جنس *Anisakis* في سمكة البالون *Lagocephalus scleratus* المصطادة من الساحل السوري، في أول توثيق من نوعه لهذا الطفيلي في هذا العائل من المياه السورية. حيث تؤكد الصفات المورفولوجية لليرقات توافقها مع يرقات *Anisakis*.
 2. إمكانية اعتبار سمكة البالون *Lagocephalus scleratus* عائلاً ناقلاً مهماً ليرقات *Anisakis* في المياه البحرية السورية، مما يؤكد اندماجها الفاعل في الشبكة الغذائية البحرية المحلية، ودورها المحتمل في نقل الطفيليات ضمن النظام البيئي البحري.
 3. يعكس وجود الطفيلي استمرار دورة حياة *Anisakis* في المنطقة، ووجود العوائل الوسيطة والنهائية اللازمة لإكمالها، ومن ثم فإن وجوده يشكل خطراً صحياً محتملاً على الصحة العامة، خاصة في حال استهلاك الأسماك نيئة أو غير مطهية بشكل جيد.

وانطلاقاً من ذلك، فإننا نوصي بالآتي:

1. إجراء تحليل جزيئي لليرقات المعزولة باستخدام المؤشرات الوراثية مثل (ITS) و (cox2) وذلك لتحديد النوع *Anisakis* بدقة.
2. توسيع نطاق البحث ليشمل عدداً أكبر من العينات السمكية، أنواعاً مختلفة من الأسماك، مناطق ساحلية متعددة، وتغطية فصول السنة المختلفة.
3. إجراء دراسات بيئية متكاملة تربط انتشار الطفيلي بالعوامل البيئية المؤثرة (درجة حرارة المياه وملوحتها، مستوى التلوث العضوي والكيميائي....).

References

1. MARCOGLIESE D J. 2004 - Parasites: Small players with crucial roles in the ecological theater. Eco Health, Vol. 1(2), P. 151-164.
2. MATTIUCCI S. & NASCETTI G. 2008 - Advances and trends in the molecular systematics of anisakid nematodes, with implications for their evolutionary ecology and host–parasite co-evolutionary processes. Advances in Parasitology, Vol. 66, P. 47-148.
3. MATTIUCCI S, CIPRIANI P, LEVSEN A, PAOLETTI, M & NASCETTI G. 2018 - Molecular epidemiology of *Anisakis* and anisakiasis: An ecological and evolutionary road map. Advances in Parasitology, Vol. 99, P. 93-263.
4. AUDICANA M T, & KENNEDY M W. 2008 - *Anisakis* simplex: From obscure infectious worm to inducer of immune hypersensitivity. Clinical Microbiology Reviews, Vol. 21(2), P. 360-379.
5. NIEUWENHUIZEN N E, & LOPATA A L. 2013 – *Anisakis*-A food-borne parasite that triggers allergic host defences. International Journal for Parasitology, Vol. 43(12–13), P. 1047-1057.
6. GMELIN J F. 1789 – *Caroli a Linne Systema naturae*. Beer, Leipzig, Vol. 1(3), P. 1033-1516.
7. BAKOPOULOS V, KAROUBLI I, & DIAKOU A. 2017 - Parasites of the Lessepsian invasive fish *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin 1789) in the eastern Mediterranean Sea. Journal of Natural History, Vol. 51(7–8), P. 421-434.
8. ANASTASIOU T I, KAGIAMPAKI E, KONDYLATOS G, TSELEPIDES A, PERISTERAKI P, & MANDALAKIS M. 2023 - Assessing the toxicity of *Lagocephalus sceleratus* pufferfish from the southeastern Aegean Sea and the relationship of tetrodotoxin with gonadal hormones. Marine Drugs, Vol. 21(10), P. 520.
9. MOHMMED S, EKHNER A, FADEL A, & SHARIF M. 2023 - Prevalence of some parasitic infestations in *Lagocephalus sceleratus* in Eastern Libya. AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences, Vol. 6(2), P. 608-616.

10. AMLACHER E. 1977 - Taschenbuch der Fischkrankheiten fur Veterinarmediziner und Biologen. P. 394.
11. LUCKY Z. 1977 - Methods for the diagnosis of fish diseases, Amerind. publishing Co. PV T. Ltd, New Delhi, Bombay, India, P. 140.
12. PRITCHARD MH, KRUSE GO. 1982 - The collection and preservation of animal parasites. University of nebraska press, P. 141.
13. MORAVEC F. 1994 - Parasitic nematodes of freshwater fishes of Europe. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, P. 473.
14. ANDERSON RC. 2000 - Nematode parasites of vertebrates: their development and transmission. CABI Publishing, Wallingford, UK, (2nd ed.), P. 340.
15. BERLAND B. 1961 - Nematoda from some Norwegian marine fishes. Sarsia, Vol. 2(1), P. 1-50.
16. KLIMPEL S, PALM HW, RUCKERT S, & PIATKOWSKI U. 2004 - The life cycle of *Anisakis simplex* in the Norwegian Deep (northern North Sea). Parasitology research, Vol. 94(1), P. 1-9.
17. MASRI M, & SABOUR W. 2024 - First record of the Parasite Nematodes *Anisakis simplex* in the migratory Fish Species *Pagellus bogaraveo* of the parasite in Syrian Marine Waters. Species, Vol. 25(75), P. 1-4.
18. MASRI M, SAAD A, SABOUR W, & LAYKA T. 2022 – First record of the Paastic Nematode *Anisakis simplex* in the Intestine and Gonads of *Dentex macrophthalmus* off Syrian Marine water. Iraqi Journal of Aquaculture, Vol. 19(1), P. 1-14.
19. OTHMAN R, GALIYA M, & LAYKA T. 2022 - First record of the Nematode Parasitis from the Family *Anisakidae* on the *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810) Caught in the Marine waters of Lattakia - Syria. Asian Journal of advances in Research, Vol. 5(1), P. 780 – 784.
20. SHAABAN Z, & GALIYA M. 2023 - First record of the *Anisakis simplex* Parasitis from the Family *Anisakidae* on the *Lepidorhombus whiffiagonis*

(Walbaum; 1974) Caught in the Marine waters of Syria. Asian Journal of advances in Research (AJOAIR), Vol. 6(1), P. 180 – 183.

النشاط الإشعاعي الطبيعي الناتج عن خشب السويد المستخدم في مباني مدينة حمص

إعداد الطالبة خولة عبد الله الفرج

إشراف أ.د. عبد الهادي صوفان

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى تحديد مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي وحساب الجرعات الإشعاعية الناتجة عن خشب السويد بنوعيه المستورد والمحلي، الأكثر استخداماً في مباني مدينة حمص، ومقارنتها بالمعايير العالمية. جُمعت العينات المختارة من خشب السويد من غابات تلكلخ، والشريط الشجري لطريق حمص-حماة، والشريط الشجري لطريق حمص-دمشق، كما جُمعت عينات أخرى من المناشر المحلية بمدينة حمص. خضعت العينات للطحن والتجفيف، وقيست عبر كاشف رقمي محمول من نوع (Digilert 50). سجلت الخلفية الطبيعية في المخبر ($0.08288 \mu\text{Sv/h}$)، وقيمة سنوية ($726 \mu\text{Sv/y}$). حيث أن الأخشاب المستوردة سجلت جرعة مقدارها ($181.538 \mu\text{Sv/y}$) للخشب نوع موسكي، و($112.315 \mu\text{Sv/y}$) خشب نوع عزيبي، في حين بلغت الجرعة السنوية للأخشاب المحلية ($173.342 \mu\text{Sv/y}$)، وتبين لنا أن خشب العزيبي هو الأقل مساهمة في الجرعة الإشعاعية بمقدار 4.7%. وأن متوسط الجرعة الناتجة عن أخشاب الموسكي تشكل 7.6% من المتوسط العالمي للإشعاع الطبيعي الكلي. نستنتج أن استخدام هذه الأخشاب في المباني بحمص يعد آمناً تماماً ويتفق مع معايير السلامة العالمية.

الكلمات المفتاحية: خشب السويد، الصنوبر البروتي، النشاط الإشعاعي، كاشف Digilert 50، الجرعة الفعالة.

Natural Radioactivity Resulting from Swedish Wood Used in Buildings of Homs City

Khawla Abdullah Al-Faraj

Prof. Dr. Abdul Hadi Soufan

Abstract:

This study aims to determine the levels of natural radioactivity and to calculate the radiation doses associated with Swedish wood, both imported and locally sourced, which is widely used in the buildings of Homs city. Selected samples of Swedish wood were collected from the forests of Talkalakh, the tree belt along the Homs–Hama highway, and the tree belt along the Homs–Damascus highway, in addition to samples obtained from local sawmills in Homs. The samples were ground, dried, and stored, then measured using a portable digital detector (Digilert 50).

The laboratory background radiation was recorded at $0.08288 \mu\text{Sv/h}$, corresponding to an annual value of $726 \mu\text{Sv/y}$. The imported wood samples exhibited annual dose values of $181.538 \mu\text{Sv/y}$ for Mousky wood and $112.315 \mu\text{Sv/y}$ for Azezi wood, while the annual dose for local wood reached $173.342 \mu\text{Sv/y}$. The results indicate that Azezi wood contributes the least to the radiation dose, at 4.7%, whereas the average dose from Mousky wood represents 7.6% of the global average of total natural background radiation. These findings confirm that the use of such wood in buildings across Homs is entirely safe and complies with international radiation protection standards.

Keywords: Swedish Wood, Pinus brutia, natural radioactivity, Digilert 50 detector, effective dose.

1- المقدمة:

يُعد النشاط الإشعاعي الطبيعي ، الناتج عن التحلل الطبيعي للنويدات المشعة الطبيعية، الموجودة في قشرة الأرض وأبرزها البوتاسيوم -40، الثوريوم -232، والراديوم -226 [3-2-1] .
الموجودة في مواد البناء من أهم مصادر تعرض الإنسان للإشعاع [4]. إذ يؤدي إشعاع غاما المنبعث من هذه النظائر المشعة الطبيعية إلى حدوث تعرض إشعاعي خارجي. وتكتسب مواد البناء صفاتها الإشعاعية لعدة أسباب، لعل أبرزها احتوائها على مواد خام ذات تراكيز مرتفعة من النشاط الإشعاعي الطبيعي. مما يفرض ضرورة المراقبة المستمرة للنشاط الإشعاعي النوعي لهذه المواد. ومن بين الطرق المستخدمة لتقليل جرعة التعرض الخارجي اختيار مواد ذات مستوى منخفض من النشاط الإشعاعي. ومن منظور السلامة الإشعاعية يُعد تقييم الجرعات الناتجة عن هذه النظائر أمراً بالغ الأهمية، خاصة وأن ارتفاع معدلات الجرعات الإشعاعية في الأماكن المغلقة غالباً ما يعزى إلى النشاط الإشعاعي العالي للنويدات المشعة الطبيعية في مواد البناء، لا سيما عند تعدد المصادر المصنعة الداخلة في الإنتاج [5]

ونظراً لأن الإنسان يتعرض بشكل مستمر للإشعاع الطبيعي، الذي يمثل المساهم الأكبر في الجرعة الإشعاعية الخارجية التي يتعرض لها عامة الناس [7-6]، فإن تقييم جرعات أشعة غاما، ذات المنشأ الطبيعي، يُعدّ ركيزة أساسية في مجال الرعاية الصحية.

وفي هذا الإطار يبرز انبعاث غاز الرادون كمصدر قلق إضافي إذ يُشكّل هذا الغاز الخامل المصدر الرئيسي للتعرض الإشعاعي الداخلي. ووفقاً للدراسات [8]، يُعزى ما يقارب 50% من إجمالي الجرعة الإشعاعية الناتجة عن المصادر الطبيعية إلى الرادون ونواتج تحلّله. ورغم أن التربة تظل المصدر الأساسي لهذا الغاز في البيئات الداخلية، إلا أن مواد البناء قد تتحول في حالات معينة إلى مصادر رئيسية له [9].

من المعروف أن الخشب، لكونه مادة عضوية منخفضة الكثافة المعدنية، لا يُعدّ مصدراً رئيسياً لانبعاث الرادون كما هو الحال في مواد البناء المعدنية الغنية بنظير Ra-226. وبناءً عليه، فإن الجرعة المقاسة في هذه الدراسة تعبر عن معدل جرعة أشعة غاما الخارجية الناتجة أساساً عن نظير K-40 المتراكم في الأنسجة الخشبية، لا عن مساهمة رادونية.

بناء" على ذلك، تبرز ضرورة اختيار مواد البناء بعناية وخاصة تلك المستخدمة في البناء، فالبوتاسيوم K^{40} يتواجد بتركيز مرتفعة في القشرة الأرضية، وينتقل عبر التربة الى الانسجة النباتية [10].
وتُعزى مصادر النويدات في الخشب أساساً إلى امتصاص الجذور للعناصر الذائبة في محلول التربة؛ إذ يُمتص $K-40$ بآلية فيسيولوجية نشطة مماثلة لامتصاص البوتاسيوم المستقر لتشابههما الكيميائي، لينتقل عبر النسغ ويستقر في الأنسجة الخشبية. أما $Ra-226$ و $Th-232$ فينتقلان بمعدلات أقل لانخفاض ذوبانيتهما، ويقتصر تواجدهما غالباً على الترسيب السطحي أو الامتصاص السلبي عبر الجذور.

ومن هنا، ندرك أن اختيار مواد البناء لا يُعد قراراً معمارياً فقط، بل هو عامل مهم في تحديد جودة الهواء داخل المباني. فبينما تركز معظم الدراسات على المواد الإنشائية الثقيلة، تعتبر المواد العضوية—وعلى رأسها الخشب—كعنصر حيوي يتطلب تقييماً دقيقاً؛ ليس فقط لكونه مستودعاً محتملاً للنظير K^{40} ، بل لدوره الفاعل في التأثير على ديناميكية الغازات المشعة داخل المساكن.
كما أدى التلوث العالمي بالنويدات المشعة الاصطناعية، الناتج عن التجارب أو الحوادث النووية، إلى تلوث إشعاعي متفاوت في بعض النظم البيئية الحرجية. ونتيجةً لذلك، تترسب هذه النويدات الاصطناعية على الأشجار لتتضم الى النويدات الطبيعية الموجودة أصلاً في التربة. وتعتمد كمية هذه النويدات المترسبة في الخشب على عوامل متعلقة بفسولوجيا الشجرة الحية. ولكنها ترتبط أساساً بكمية وتوزيع النويدات في التربة، والتي تنتقل منها عبر آليات معقدة في الجذور، لتستقر في الخشب [11]. وبما أن الخشب المُصنَّع (سواءً كأثاث أو مواد بناء)، يتواجد بشكل دائم في بيئة الإنسان، فإن تلوثه يساهم مباشرة في زيادة معدل التعرض الإشعاعي. حيث تتراوح النسبة المقيسة للجرعة الاشعاعية داخل المباني مقارنة مع تلك المقيسة في الهواء الطلق بين 0.8 للمنازل الخشبية و2 من أجل بعض المنازل المبنية من مواد تحتوي تراكيز مرتفعة من النظائر المشعة [12]. ان المباني المشيدة من الخشب تساهم بشكل ضئيل جداً في زيادة مستويات الإشعاع داخل المباني ومقارنة بالخارج فإن مستويات التعرض للإشعاع داخل البيوت الخشبية قد تكون مماثلة للمستويات الموجودة في الهواء الطلق على عكس المباني المبنية من الحجر أو الخرسانة، سجلت أقل قيم جرعات الإشعاع الداخلي في دول مثل نيوزيلندا وأيسلندا والولايات المتحدة (أقل من 40 nGy/h) ويعود السبب في ذلك غالباً إلى استخدام الهياكل الخشبية في بناء المنازل [1]

حدود الجرعات المرجعية (UNSCEAR 2000/ ANNEX-B):

1- يبلغ متوسط الجرعة السنوية الفعالة للفرد من المصادر الأرضية الطبيعية حوالي 0.48 mSv/y .

2- يتراوح النطاق الطبيعي للجرعات السنوية من المصادر الأرضية (تربة ومواد بناء) بين $(0.3 - 0.6 \text{ mSv/y})$.

3- المتوسط العالمي للإشعاع الطبيعي (بما فيه الرادون) 2.4 mSv/y .

وعند تطبيق هذه الاعتبارات العلمية على الواقع العمراني في مدينة حمص، نجد أن خشب السويد بنوعيه المستورد (*Pinus sylvestris*) والمحلي (*Pinus brutia*) يمثل المادة الخشبية الأكثر استخداماً في البناء لخصائصه الاقتصادية والفيزيائية.

تقيم هذه الدراسة خشب السويد في مدينة حمص ضمن سعيها لسد الفجوة البحثية المتعلقة بالمواد الخشبية المحلية، وربط ذلك بالمعايير الدولية للوقاية الإشعاعية، لتوفير رؤية لمصادر الإشعاع الطبيعي في الأخشاب المستخدمة في مباني المدينة.

ونورد فيما يلي بعض قيم الجرعات في العالم والنتيجة عن الأخشاب:

يبلغ معدل الجرعة الناتجة عن خشب البناء (من ضمنه الصنوبر) في البرازيل $0.09 \pm 0.01 \text{ mSv/y}$ أي ما يعادل $90 \pm 10 \mu\text{Sv/y}$ وفقاً لدراسة [13].

وفي مصر يبلغ معدل الجرعة الناتجة عن خشب الصنوبر 7.32 nGy/h يقابلها جرعة فعالة مقدارها $35.8 \mu\text{Sv/y}$ ولوحظ أنها الأكبر من بين الأخشاب [14]

بينما سجلت دراسة حالة أمريكية جرعة إشعاعية قدرها $0.097 \mu\text{Sv/h}$ (97 nSv/h) كانت

مساهمة جدران الخشب فيها ضئيلة جداً $(0.00014 \mu\text{Sv/h})$ (0.14 nSv/h)

أظهرت تدني مستويات التعرض الإشعاعي في الأبنية الخشبية [15].

2- هدف البحث

تحديد النشاط الإشعاعي وقياس الجرعات الإشعاعية الناتجة عن خشب السويد المستخدم في مباني مدينة حمص ومقارنته بالمعايير العالمية.

3- مواد وطرائق البحث

1-3- توصيف العينات

يُطلق مصطلح «خشب السويد» تجارياً في السوق السورية على أخشاب الصنوبر عموماً، سواء المستوردة (الصنوبر الإسكتلندي *Pinus sylvestris*) أو المحلية (الصنوبر البروتي *Pinus brutia*)، لتشابههما الفيزيائي والاستخدامي في قطاع البناء؛ لذا اعتمد هذا المصطلح الشائع عنواناً للدراسة ليشمل الصنفين معاً.

اختيرت عينات الدراسة من أخشاب الصنوبر الشائعة الاستخدام في مباني مدينة حمص؛ وشملت نوعين رئيسيين:

1- **الصنوبر المحلي (الصنوبر البروتي):** جُمعت عيناته ميدانياً من الشريط الشجري المحاذي لطريقي حمص - دمشق، وحمص - حماه، وغابات منطقة تكلخ.

2- **الصنوبر المستورد (الصنوبر الإسكتلندي):** المعروف تجارياً باسم خشب السويد وحُصِّل عليه من المناشر الصناعية المحلية في مدينة حمص، واختير منه الصنفان الأكثر شيوعاً: **خشب العزيزي** و**خشب الموسكي**.

وتجدر الإشارة إلى أن جميع العينات، المستوردة (من المناشر) والمحلية (المجموعة ميدانياً)، أُخذت حصراً من خشب الجذع بعد إزالة اللحاء، باعتباره الجزء التجاري المستخدم فعلياً في البناء، لضمان تجانس الأنسجة المقارنة وتقادي التباين الإشعاعي بين أجزاء الشجرة المختلفة.

2-3- تحضير العينات

أُخضعت العينات المجمعة لسلسلة من المعالجات الفيزيائية وفق الآتي:

قُطعت العينات وطُحنت إلى نشارة ناعمة لضمان توزيع متجانس أمام نافذة الكاشف، ثم جُففت بتعريضها المباشر لأشعة الشمس.

واقترنت المعالجة على الطحن والتجفيف دون اللجوء إلى الحرق والرماد؛ للحفاظ على العينات بحالتها الفيزيائية المطابقة لصورة الخشب المستخدم فعلياً في البناء، إذ إن الحرق يركّز النويدات في الرماد ويغيّر كثافة العينة وبنيتها، فلا يعود ممثلاً لسلوك الخشب الإشعاعي كما هو مستخدم في المبنى. كما

لم تُجرَ عملية ضغط، لأن الكاشف المستخدم كاشف مسح مباشر يقيس معدل الجرعة عند سطح العينة دون حاجة لتوحيد الهندسة الحجمية كما في أجهزة الطيف الغاما.

3-3- أجهزة القياس

استُخدم في هذا البحث كاشف إشعاعي رقمي محمول من نوع (Digilert 50) من شركة A.J. Cope & Sons Limited البريطانية ، المزود بنافذة ميكا (Mica) رقيقة تسمح بنفاذية عالية للإشعاعات النووية .

3-4- الحسابات الفيزيائية

تم حساب معدلات الجرعات الإشعاعية اعتماداً على العلاقات الرياضية (1) و(2)، قبل تطبيق المعادلتين (1) و(2)، طُرح معدل العدّ الخلفي للمختبر (المسجل دون وجود عينة) من معدل العدّ المقاس لكل عينة، واعتمد معدل العدّ الصافي الناتج في حساب معدل الجرعة الممتصة والجرعة الفعالة السنوية، لضمان أن القيم المحسوبة تعبر عن مساهمة العينة فقط دون تداخل الإشعاع الخلفي الطبيعي للمختبر .

1- معدل الجرعة الممتصة في الهواء D:

يتم تحويل صافي معدل النبضات في الدقيقة إلى معدل جرعة ممتصة:

$$D (nGy/h) = Cn \times Fc \dots\dots (1)$$

حيث Fc معامل التحويل الخاص بالجهاز .

2- الجرعة الفعالة السنوية (Annual Effective Dose):

لتقدير الأثر الإشعاعي السنوي التراكمي على جسم الإنسان نتيجة التواجد في أماكن مغلقة تحتوي على هذه الأخشاب، تُطبق المعادلة القياسية المعتمدة في تقارير لجنة الأمم المتحدة العلمية لآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR):

$$AEDE (\mu Sv/y) = ADRA (nGy/h) \times 8760 \times 0.7 \times 0.8 \times 10^{-3} \dots (2)$$

- 8760: عدد ساعات السنة.
- 0.8: معامل الإشغال الداخلي القياسي للمباني والأماكن المغلقة (80%).
- 0.7: معامل التحويل البيولوجي من الجرعة الممتصة في الهواء إلى الجرعة الفعالة في الجسم البشري.

تجدر الإشارة إلى أن الكاشف المستخدم (Digilert 50) هو كاشف مسح إشعاعي يقيس معدل الجرعة الكلي لجميع النويدات مجتمعة، ولا يتيح التفريق الطيفي لحساب التراكيز النوعية (Bq/kg) لكل نويدة كما في مطيافية غاما. لذا اعتمد معدل الجرعة الفعالة كمؤشر مباشر للخطر الإشعاعي الفعلي على الإنسان، بما يخدم الهدف التطبيقي للدراسة. ويوصى في دراسات لاحقة باستخدام مطيافية غاما لتحديد التراكيز النوعية لكل نويدة على حدة.

4- النتائج ومناقشتها

4-1- دراسة الجرعة الإشعاعية في المخبر

تم قياس الجرعة الإشعاعية الطبيعية في المخبر فحصلنا على الجدول (1) ويليه الشكلان (1) و(2) اللذان يعرضان كل من قيم الجرعات والمدرج التكراري للجرعة الإشعاعية في المخبر

جدول 1- قيم الجرعات الإشعاعية في المخبر

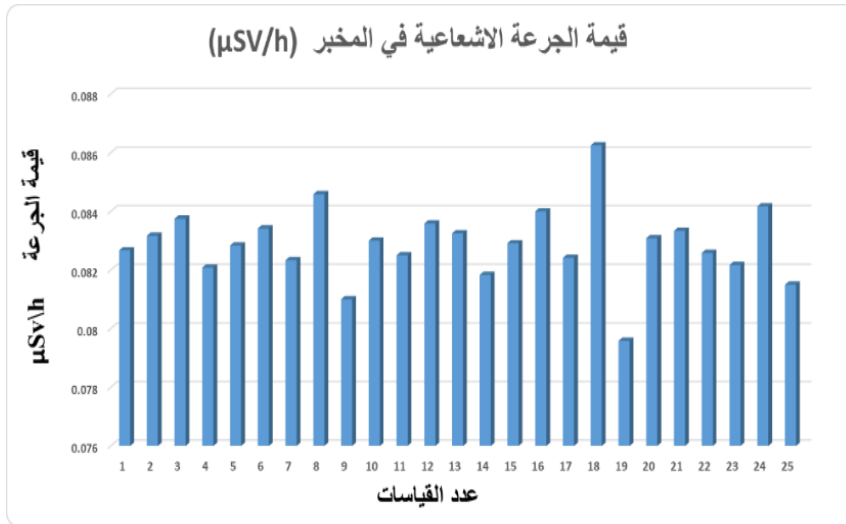
رقم	العد الكلي (ساعتان)	(CPM) معدل العد الصافي	معدل الجرعة الساعية ($\mu Sv/h$)	معدل الجرعة السنوية ($\mu Sv/y$)
-----	------------------------	---------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------

القياس		في الدقيقة		
1	992	8.267	0.0827	724.16
2	998	8.317	0.0832	728.54
3	1005	8.375	0.0838	733.65
4	985	8.208	0.0821	719.05
5	994	8.283	0.0828	725.62
6	1001	8.342	0.0834	730.73
7	988	8.233	0.0823	721.24
8	1015	8.458	0.0846	740.95
9	972	8.100	0.0810	709.56
10	996	8.300	0.0830	727.08
11	990	8.250	0.0825	722.7
12	1003	8.358	0.0836	732.19
13	999	8.325	0.0833	729.27
14	982	8.183	0.0818	716.86
15	995	8.292	0.0829	726.35
16	1008	8.400	0.0840	735.84
17	989	8.242	0.0824	721.97
18	1035	8.625	0.0863	755.55
19	955	7.958	0.0796	697.15
20	997	8.308	0.0831	727.81
21	1000	8.333	0.0833	730
22	991	8.258	0.0826	723.43
23	986	8.217	0.0822	719.78

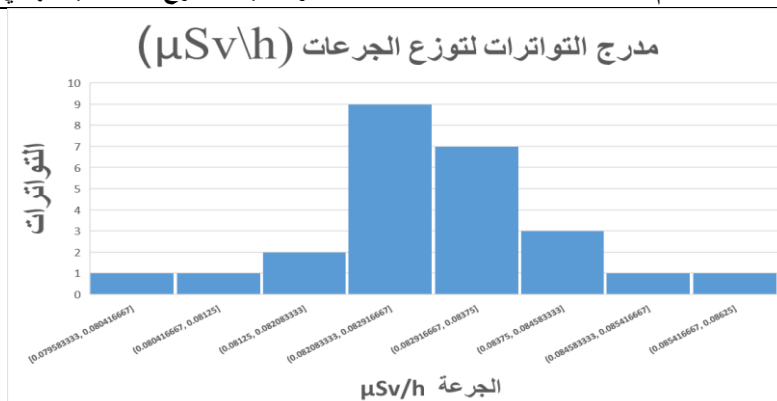
النشاط الإشعاعي الطبيعي الناتج عن خشب السويد المستخدم في مباني مدينة حمص

24	1010	8.417	0.0842	737.3
25	978	8.15	0.0815	713.94

المتوسط الحسابي للجرعة السنوية ($\mu Sv/y$)	726.0288
قيمة اعلى ($\mu Sv/y$)	755.55
قيمة ادنى ($\mu Sv/y$)	697.15
الانحراف المعياري ($\mu Sv/y$)	11.099



الشكل 1-1 - قيمة الجرعات الإشعاعية في المخبر



الشكل -2- مدرج التواترات للجرعات الإشعاعية في المخبر

لاحظنا من الدراسة الإحصائية التي أجريناها على الجرعات التي أخذت في المخبر ومن الشكل (1) أن متوسط الخلفية الطبيعية في المخبر ($0.08288 \mu Sv/h$) ، وبقية سنوية ($726 \mu Sv/y$)، (أي ما يعادل $0.726 mSv/y$)، ومن الشكل (2) يتضح أن توزع الجرعات داخل المخبر ينتمي الى توزع غوص (توزع طبيعي) مما يشير الى وجود استقرار إشعاعي داخل المخبر أثناء الفترة التي أجريت فيها القياسات. وعند مقارنة هذه النتيجة بالحدود المرجعية العالمية المعتمدة من قبل لجنة الأمم المتحدة العلمية لآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR) والوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) والتي تحدد المجال الطبيعي لتعرض الافراد للإشعاع الخلفي. ($2.4 mSv/y - 1 mSv/y$) يتضح أن بيئة المختبر تقع دون المتوسط العالمي بكثير.

4-2 دراسة الجرعات الإشعاعية في الخشب:

تم إجراء 30 قياساً متكرراً لعينات كل من الأخشاب المحلية والمستوردة آنفة الذكر.

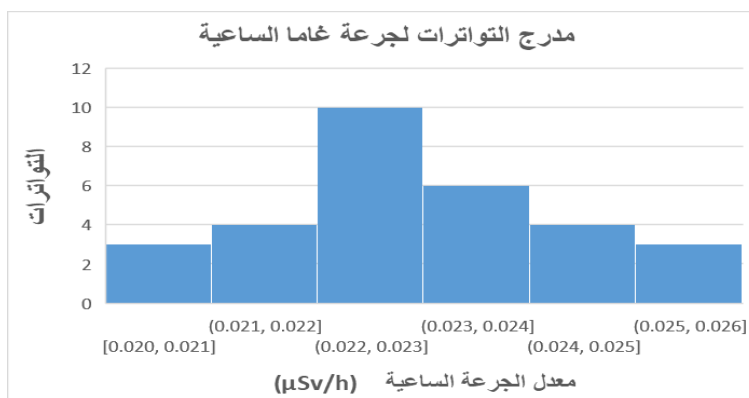
4-2-1- خشب السويد (العريزي):

يوضح الجدول رقم (2) نتائج الجرعات الإشعاعية الساعية واليومية وصولاً إلى الجرعات الفعالة السنوية والمحسوبة وفق العلاقة (2):

جدول - 2- قيم الجرعات الإشعاعية الناتجة عن خشب السويد (العزيري)

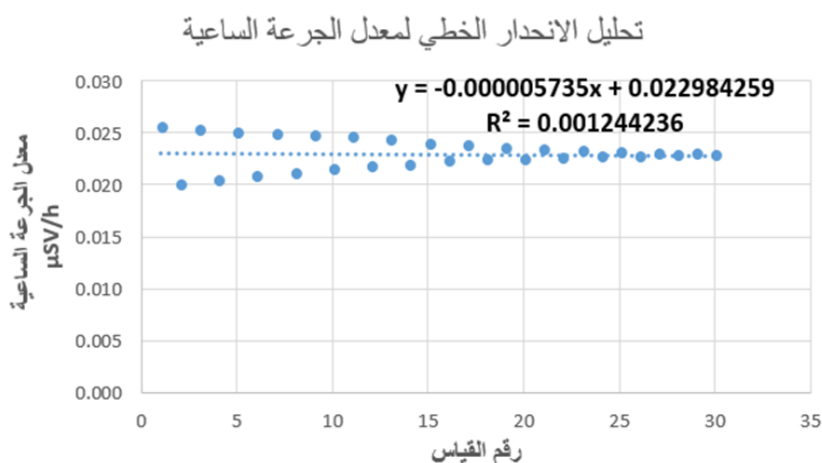
رقم القياس	Cn صافي العد (cpm)	الجرعة الممتصة D (nGy/h)	الجرعة الكلية μSv	معدل الجرعة الساعية ($\mu Sv/h$)	معدل الجرعة اليومية ($\mu Sv/d$)	الجرعة الفعالة السنوية ($\mu Sv/y$)
1	2.546	25.458	0.076	0.025	0.611	124.888
2	1.990	19.903	0.060	0.020	0.478	97.635
3	2.518	25.181	0.076	0.025	0.604	123.526
4	2.029	20.292	0.061	0.020	0.487	99.543
5	2.496	24.958	0.075	0.025	0.599	122.436
6	2.068	20.681	0.062	0.021	0.496	101.451
7	2.479	24.792	0.074	0.025	0.595	121.618
8	2.107	21.069	0.063	0.021	0.506	103.358
9	2.463	24.625	0.074	0.025	0.591	120.800
10	2.135	21.347	0.064	0.021	0.512	104.721
11	2.446	24.458	0.073	0.024	0.587	119.983
12	2.163	21.625	0.065	0.022	0.519	106.084
13	2.418	24.181	0.073	0.024	0.580	118.620
14	2.185	21.847	0.066	0.022	0.524	107.174
15	2.390	23.903	0.072	0.024	0.574	117.257
16	2.218	22.181	0.067	0.022	0.532	108.809
17	2.368	23.681	0.071	0.024	0.568	116.167
18	2.229	22.292	0.067	0.022	0.535	109.354
19	2.346	23.458	0.070	0.023	0.563	115.077
20	2.240	22.403	0.067	0.022	0.538	109.899
21	2.329	23.292	0.070	0.023	0.559	114.260
22	2.251	22.514	0.068	0.023	0.540	110.444
23	2.313	23.125	0.069	0.023	0.555	113.442
24	2.263	22.625	0.068	0.023	0.543	110.989
25	2.301	23.014	0.069	0.023	0.552	112.897
26	2.268	22.681	0.068	0.023	0.544	111.262
27	2.290	22.903	0.069	0.023	0.550	112.352
28	2.274	22.736	0.068	0.023	0.546	111.534
29	2.285	22.847	0.069	0.023	0.548	112.079
30	2.279	22.792	0.068	0.023	0.547	111.807
(μSv/y) Mean						112.315
Standard Deviation(μSv/y)						7.021
Minimum(μSv/y)						97.635
Maximum(μSv/y)						124.888
RSD (%) = (SD / $\bar{x}$) × 100						6.25 %

يستعرض الشكل -3- التوزيع التكراري للبيانات موضحاً "مدى تقاربها مع التوزيع الطبيعي (غوص):



الشكل -3- التوزيع التكراري لمعدل الجرعة الساعية لعينة خشب السويد (العزيري)

يوضح الشكل -4- تحليل الانحدار الخطي لمعدل الجرعة الساعية لتقييم الاستقرار الزمني وموثوقية القياسات:



الشكل -4- تحليل الانحدار الخطي لمعدل الجرعة الساعية لخشب السويد العزيري

4-2-2- خشب السويد (الموسكي):

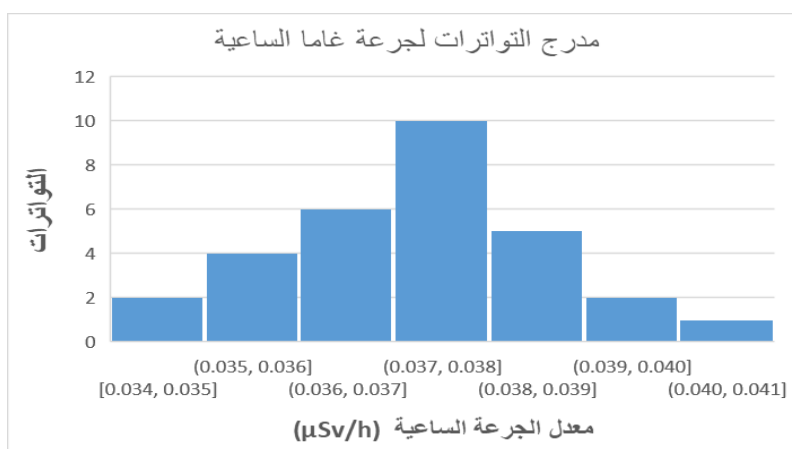
يوضح الجدول رقم (3) قيم الجرعات لعينات خشب السويد (الموسكي) والمحسوبة بالاعتماد على العلاقة (2) .

الجدول -3- قيم الجرعات الإشعاعية الناتجة عن خشب السويد (الموسكي)

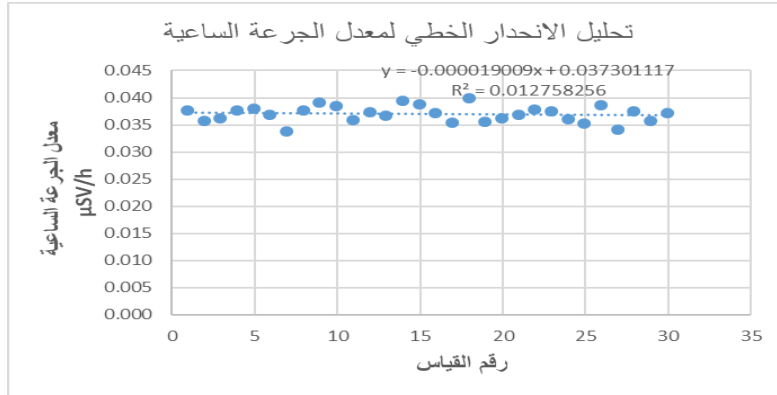
الجرعة الفعالة السنوية ($\mu Sv/y$)	معدل الجرعة اليومية ($\mu Sv/d$)	معدل الجرعة الساعية ($\mu Sv/h$)	الجرعة الكلية (μSv)	الجرعة الممتصة D (nGy/h)	صافي العد C _n (cpm)	رقم القياس
184.573	0.903	0.038	0.113	37.625	3.763	1
175.035	0.856	0.036	0.107	35.681	3.568	2
178.032	0.871	0.036	0.109	36.292	3.629	3
184.846	0.904	0.038	0.113	37.681	3.768	4
186.481	0.912	0.038	0.114	38.014	3.801	5
181.030	0.886	0.037	0.111	36.903	3.690	6
165.768	0.811	0.034	0.101	33.792	3.379	7
184.846	0.904	0.038	0.113	37.681	3.768	8
191.932	0.939	0.039	0.117	39.125	3.913	9
188.389	0.922	0.038	0.115	38.403	3.840	10
176.125	0.862	0.036	0.108	35.903	3.590	11
182.938	0.895	0.037	0.112	37.292	3.729	12
179.668	0.879	0.037	0.110	36.625	3.663	13
193.839	0.948	0.040	0.119	39.514	3.951	14
190.296	0.931	0.039	0.116	38.792	3.879	15
182.120	0.891	0.037	0.111	37.125	3.713	16
173.944	0.851	0.035	0.106	35.458	3.546	17
195.747	0.958	0.040	0.120	39.903	3.990	18
174.217	0.852	0.036	0.107	35.514	3.551	19
177.487	0.868	0.036	0.109	36.181	3.618	20
180.485	0.883	0.037	0.110	36.792	3.679	21
185.936	0.910	0.038	0.114	37.903	3.790	22
183.756	0.899	0.037	0.112	37.458	3.746	23
176.670	0.864	0.036	0.108	36.014	3.601	24

25	3.529	35.292	0.106	0.035	0.847	173.127
26	3.863	38.625	0.116	0.039	0.927	189.479
27	3.413	34.125	0.102	0.034	0.819	167.404
28	3.751	37.514	0.113	0.038	0.900	184.028
29	3.579	35.792	0.107	0.036	0.859	175.580
30	3.718	37.181	0.112	0.037	0.892	182.393
Mean($\mu Sv/y$)						181.539
Standard Deviation($\mu Sv/y$)						7.267
Minimum($\mu Sv/y$)						165.768
Maximum($\mu Sv/y$)						195.747
RSD (%) = $(SD / \bar{x}) \times 100$						4.00%

ويستعرض الشكل (5) المدرج التكراري لتوزيع معدلات الجرعات الساعية لهذه العينات، في حين يمثل الشكل (6) تحليل الانحدار الخطي المقابل لها



الشكل 5- التوزيع التكراري لمعدل الجرعة الساعية لعينة خشب السويد (الموسكي)



الشكل -6- تحليل الانحدار الخطي لمعدل الجرعة الساعية لخشب الموسكي

3-2-4- خشب الصنوبر البروتي:

يلخص الجدول رقم (4) قيم الجرعات والمؤشرات الإشعاعية لعينات خشب الصنوبر البروتي (المحلي).

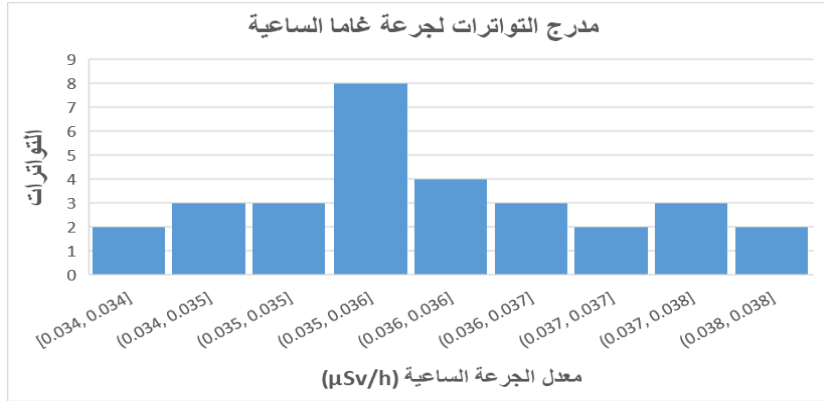
الجدول -4- قيم الجرعات الإشعاعية الناتجة عن خشب الصنوبر (البروتي)

رقم القياس	صافي العد Cn (cpm)	الجرعة الممتصة D (nGy/h)	الجرعة الكلية μSv	معدل الجرعة الساعية ($\mu\text{Sv/h}$)	معدل الجرعة اليومية ($\mu\text{Sv/d}$)	الفعالة السنوية ($\mu\text{Sv/y}$)
1	3.546	35.458	0.106	0.035	0.851	173.944
2	3.479	34.792	0.104	0.035	0.835	170.674
3	3.624	36.236	0.109	0.036	0.870	177.760
4	3.535	35.347	0.106	0.035	0.848	173.399
5	3.668	36.681	0.110	0.037	0.880	179.940
6	3.546	35.458	0.106	0.035	0.851	173.944
7	3.435	34.347	0.103	0.034	0.824	168.494
8	3.713	37.125	0.111	0.037	0.891	182.120
9	3.579	35.792	0.107	0.036	0.859	175.580
10	3.513	35.125	0.105	0.035	0.843	172.309
11	3.768	37.681	0.113	0.038	0.904	184.846

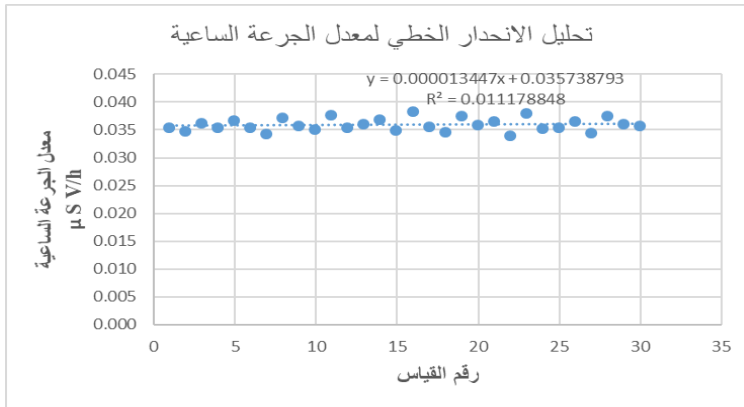
12	3.546	35.458	0.106	0.035	0.851	173.944
13	3.601	36.014	0.108	0.036	0.864	176.670
14	3.685	36.847	0.111	0.037	0.884	180.758
15	3.490	34.903	0.105	0.035	0.838	171.219
16	3.824	38.236	0.115	0.038	0.918	187.571
17	3.557	35.569	0.107	0.036	0.854	174.489
18	3.463	34.625	0.104	0.035	0.831	169.856
19	3.746	37.458	0.112	0.037	0.899	183.756
20	3.590	35.903	0.108	0.036	0.862	176.125
21	3.646	36.458	0.109	0.036	0.875	178.850
22	3.390	33.903	0.102	0.034	0.814	166.313
23	3.790	37.903	0.114	0.038	0.910	185.936
24	3.524	35.236	0.106	0.035	0.846	172.854
25	3.546	35.458	0.106	0.035	0.851	173.944
26	3.657	36.569	0.110	0.037	0.878	179.395
27	3.446	34.458	0.103	0.034	0.827	169.039
28	3.757	37.569	0.113	0.038	0.902	184.301
29	3.613	36.125	0.108	0.036	0.867	177.215
30	3.568	35.681	0.107	0.036	0.856	175.035

(Mean) $\mu Sv/y$	176.343
Standard Deviation ($\mu Sv/y$)	5.492
Minimum ($\mu Sv/y$)	166.313
Maximum($\mu Sv/y$)	187.571
RSD (%) = $(SD / \bar{x}) \times 100$	3.16%

يستعرض الشكل (7) المدرج التكراري لتوزيع معدلات الجرعات الساعية، بينما يمثل الشكل (8) تحليل الانحدار الخطي المقابل لها.



الشكل -7- التوزيع التكراري لمعدل الجرعة الساعية لعينة خشب الصنوبر البروتي



الشكل -8- تحليل الانحدار الخطي لمعدل الجرعة الساعية لخشب الصنوبر البروتي

3-4 مناقشة وتحليل مقارن للنشاط الإشعاعي للأخشاب المدروسة:

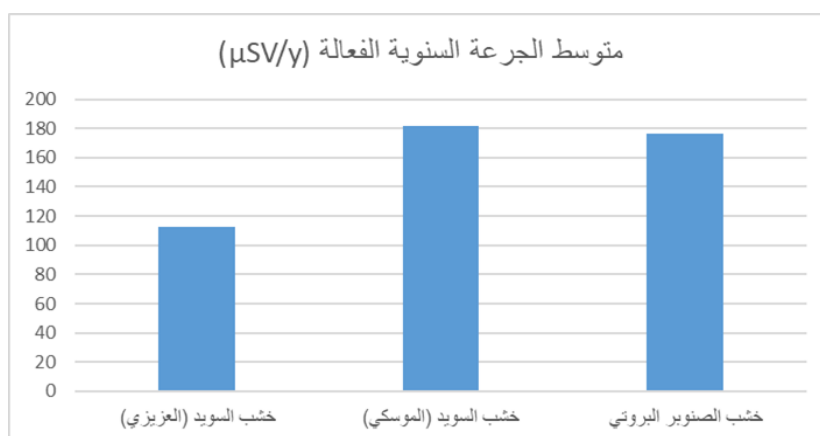
يوضح الجدول رقم (5) والشكل رقم (9) تحليلاً إحصائياً بيانياً مقارناً لكافة عينات الأخشاب المقاسة تجريبياً بالاعتماد على المتوسط الحسابي للجرعات ونسب التشتت (RSD) لتوضيح الفروقات الإشعاعية بين الأنواع:

جدول 5- المقارنة الإحصائية الشاملة لمتوسطات الجرعات ونسب التشتت للأصناف الثلاثة

الانحراف المعياري النسبي (RSD%)	الانحراف المعياري (y/SVμ)	متوسط الجرعة السوية الفعالة (μSv/y)	القيمة العليا للجرعة السنوية (μSv/y)	القيمة الدنيا للجرعة السنوية (μSv/y)	صنف الخشب المدرس
6.25%	7.021	112.315	124.888	97.635	خشب السويد (العريزي)
4.00%	7.269	181.538	195.747	165.768	خشب السويد (الموسكي)
3.16%	5.580	176.342	187.571	166.313	خشب الصنوبر البروتي

أظهر تحليل التباين (ANOVA) وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين الأصناف المدروسة

$$(F_{(2,87)}=1011.27, P<0.001).$$



الشكل 9- مخطط بياني مقارن لمتوسط الجرعة السنوية الفعالة (μSv/y) بين أصناف الاخشاب الثلاثة

تُظهر القراءة التحليلية لنتائج القياسات الإشعاعية للأصناف الثلاثة المدروسة تبايناً واضحاً في مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي حيث سجل خشب السويد 'الموسكي' أعلى متوسط للجرعة

الفعالة السنوية ($181.538 \mu Sv/y$)، يليه الصنوبر 'البروتي' المحلي ($173.342 \mu Sv/y$)، بينما كان خشب السويد 'العزيري' هو الأقل مساهمة إشعاعياً بمتوسط ($112.315 \mu Sv/y$).

5- الاستنتاجات والتوصيات

5-1- الاستنتاجات

1. كشف التقييم الإحصائي لبيانات الجدول (5) أن الأخشاب المحلية سجلت أقل قيمة للانحراف المعياري النسبي ($RSD\% = 3.16$). مما يعكس تجانساً بنيوياً عالياً في أنسجتها بينما الأصناف المستوردة (العزيري والموسكي) أظهرت تبايناً أكبر يعود لتعدد مصادر التوريد.

2. بمقارنة نتائج هذه الدراسة مع معايير اللجنة العلمية للأمم المتحدة (UNSCEAR 2000)، نجد أن جميع القيم المقاسة تقع ضمن الحدود الآمنة؛ حيث أن متوسط الجرعة الناتجة عن أخشاب الموسكي ($181.538 \mu Sv/y$) و تمثل فقط 7.6% من المتوسط العالمي للإشعاع الطبيعي الكلي؛ يمثل خشب السويد العزيري الخيار الأمثل نظراً لتسجيله أقل مساهمة إشعاعية، بالتالي تعد جميع أنواع أخشاب المدروسة آمنة تماماً وتلبي شروط السلامة البيئية.

3. أشارت نتائج الجرعة السنوية أن الخشب المدروس يمتلك مستويات إشعاعية منخفضة مقارنةً بمواد البناء الأخرى، إذ كانت الجرعة المسجلة أقل بنحو سبعة أمثال من جرعة الجرانيت، وأقل بأربعة أمثال من جرعة الإسمنت والطوب الأحمر، وذلك بمقارنتها مع دراسات [16-17] في المباني.

4. بلغت الجرعة الفعالة السنوية الناتجة عن الأخشاب المدروسة ($155.76 \mu Sv/y$) وهي أقل بنحو 4.66 مرة من متوسط الجرعة الفعالة السنوية للمخبر ($726.0288 \mu Sv/y$).

5. أظهر تحليل التباين (One-Way ANOVA) وجود فروق معنوية ذات دلالة إحصائية مما يشير إلى أن التباين في النشاط الإشعاعي يعود إلى نوع الخشب وظروف بيئة نمو الأشجار.

6. تتفق هذه النتائج بشكل عام مع ما توصلت إليه دراسة حديثة [18] تناولت النشاط الإشعاعي الطبيعي في 15 نوعاً من الأخشاب الصلبة المستخدمة داخلياً، حيث كانت جميع مؤشرات الخطورة الإشعاعية ضمن الحدود المسموح بها عالمياً.

7. جميع النتائج التي حصلنا عليها تقع ضمن الحدود الامنة.

2-5- التوصيات:

- التوسع في اعتماد الخشب كبديل صحي وآمن إشعاعياً في البناء في مدينة حمص مقارنة بمواد البناء الأخرى.
- إجراء مسوحات إشعاعية دورية للأخشاب المستوردة لضمان بقائها ضمن الحدود الوقائية الآمنة.
- إجراء دراسة مكملة تشمل بقية أصناف الأخشاب الطبيعية والمصنعة المستخدمة في البناء ضمن مدينة حمص.

6- المراجع

- 1- ريشان، س.، وصوفان، ع. هـ. (2008). *الفيزياء النووية (1)* مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، جامعة حمص.
- 2- صوفان، عبد الهادي. (2008). *التعرض الإشعاعي في بيئة مدينة حمص*. مجلة جامعة حمص، 30(12)، 5-24.
- 3- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Sources and effects of ionizing radiation: Report to the General Assembly, with scientific annexes* (Vol. 1). United Nations.
- 4- Faghihi, R., Mehdizadeh, S., & Sina, S. (2011). Natural and artificial radioactivity distribution in soil of Fars Province, Iran. *Radiation Protection Dosimetry*, 145(1), 66-74.
<https://doi.org/10.1093/rpd/ncq367>

- 5- Stoulos, S., Manolopoulou, M., & Papastefanou, C. (2003). Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation from building materials in Greece. *Journal of Environmental Radioactivity*, 69(3), 225–240. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(03\)00081-X](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(03)00081-X)
- 6- Caridi, F., Marguccio, S., Durante, G., Trozzo, R., Fullone, F., Belvedere, A., D'Agostino, M., & Belmusto, G. (2017). Natural radioactivity measurements and dosimetric evaluations in soil samples with a high content of NORM. *The European Physical Journal Plus*, 132(2), Article 56. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2017-11343-x>
- 7- Faanu, A., Adukpo, O. K., Tettey-Larbi, L., Lawluvi, H., Kpeglo, D. O., Darko, E. O., Emi-Reynolds, G., Awudu, R. A., Kansaana, C., Amoah, P. A., & Owusu-Banahene, J. (2016). Natural radioactivity levels in soils, rocks and water at a mining concession of Perseus gold mine and surrounding towns in Central Region of Ghana. *SpringerPlus*, 5(1), Article 98. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1716-5>
- 8- Aghdam, M. M., Crowley, Q., Rocha, C., Dentoni, V., Da Pelo, S., Long, S., & Savatier, M. (2021). A study of natural radioactivity levels and radon/thoron release potential of bedrock and soil in southeastern Ireland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), Article 2709. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052709>
- 9- Mancini, S., Caliendo, E., Guida, M., & Bisceglia, B. (2017). Preliminary assessment, by means of Radon exhalation rate measurements, of the bio-sustainability of microwave treatment to eliminate biodeteriogens infesting stone walls of monumental historical buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 251(1), Article 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012026>
- 10- Aliončik, J., & Butkus, D. (2012). The transfer of natural (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) and artificial (^{137}Cs , ^{90}Sr) radionuclides from soil to the plants. *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry*, 292(1), 305–313. <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1375-7>

- 11- Hus, M., Košutić, K., & Lulić, S. (2001). Radioactive contamination of wood and its products. *Journal of Environmental Radioactivity*, 55(2), 179–186. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(00\)00191-0](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(00)00191-0)
- 12- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (1988). Sources, effects and risks of ionizing radiation: 1988 report to the General Assembly, with scientific annexes: Annex A: Exposures from natural sources of radiation. United Nations.
- 13- Silva, L. B., da Silva, A. C. F., Orejuela, C. O. P., da Silva, L. F., dos Santos, J. O., & da Silva, A. X. (2018). Radiometric analysis of construction materials most used in Brazilian affordable dwelling: A survey and overview for establishing dose and risk reference values. *Radioproteção*, 2(1), 58–69.
- 14- Mahmoud, K. R., Sharshar, T. M., El-Husseiny, F. A., & Badran, H. M. (2004). Natural radionuclides and radiocaesium contained in wood. *Radioisotopes*, 53(10), 507–515. <https://doi.org/10.3769/radioisotopes.53.507>
- 15- Radioactivity. (n.d.). *Lecture 17: Radioactivity in buildings* [Lecture notes]. WPS Office.
- 16- Gholami, M., Mirzaei, S., & Jomehzadeh, A. (2011). Gamma background radiation measurement in Lorestan province, Iran. *Iranian Journal of Radiation Research*, 9(2), 89–93.
- 17- Sonkawade, R. G., Kant, K., Muralithar, S., Kumar, R., & Ramola, R. C. (2008). Natural radioactivity in common building construction and radiation shielding materials. *Atmospheric Environment*, 42(10), 2254–2259.
- 18- Taşdemir, T., Çakıroğlu, E. O., Dizman, S., Kobya, Y., & Yeşilkanat, C. M. (2026). Investigation of radiation dose rates, health risks and radionuclide effects of wood and wood-based materials in indoor areas. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10967-026-10807-1>.

دراسة تأثير درجة الحرارة على المقاطع العرضية للأسر والتشتت النيوتروني

آلاء الأحمد¹

الملخص

تدرس هذه المقالة التأثيرات الهيكلية والديناميكية لتغيرات درجة الحرارة على المقاطع العرضية المجهرية والماكروسكوبية لتفاعلات الأسر الإشعاعي والتشتت النيوتروني المرن عبر ظاهرة اتساع دوبلر. يستند الإطار النظري إلى معالجة رياضية تنطلق من نموذج الغاز الحر وصيغة بريت-واغنر أحادية المستوى لدوال فويغت، إضافة إلى قانون التشتت الحراري العام $S(\alpha, \beta)$ لدراسة أثر الترابط الكيميائي واهتزازات الشبكة البلورية عند الطاقات المنخفضة. تضمنت الدراسة تطبيقاً عددياً على قمة الرنين الأساسية الأولى لنظير اليورانيوم ^{238}U عند طاقة $E_0 = 6.673 \text{ eV}$ ضمن مدى حراري يمتد من 300 K إلى 900 K و 1200 K. كشفت النتائج عن انخفاض الارتفاع الأقصى لقمة الرنين بنسبة 36.4% عند الانتقال من 300 K إلى 900 K، لتصل نسبة الانخفاض الكلية إلى 43.9% عند 1200 K، مع اتساع قاعدة المنحني وتضاعف العرض الكامل عند نصف القمة FWHM. يترتب على هذا التسطح تراجع مباشر في ظاهرة الحجب الذاتي الفضائي والطاقي، مما يرفع الامتصاص الماكروسكوبي الإجمالي ويؤدّد معامل التغذية الراجعة السلبية للتفاعلية.

الكلمات المفتاحية: اتساع دوبلر، المقطع العرضي النيوتروني، نموذج الغاز الحر، الحجب الذاتي.

Study of Temperature Effect on Neutron Capture and Scattering Cross Sections

Alaa Al-Ahmad²

Abstract

¹ ماجستير في الفيزياء النظرية.

² Master in Theoretical Physics.

This study investigates the structural and dynamic effects of temperature variations on microscopic and macroscopic cross sections for radiative capture, as well as elastic neutron scattering via Doppler broadening. The theoretical framework relies on a mathematical formulation based on the Free Gas Model and single-level Breit-Wigner formalism for Voigt profiles, extended by the generalized thermal scattering law $S(\alpha, \beta)$ to evaluate chemical binding and crystal lattice vibration effects at low thermal energies.

A numerical application was conducted on the primary resonance peak of ^{238}U at $E_0 = 6.673 \text{ eV}$ across a temperature range of 300 K, 900 K, and 1200 K. The results revealed a 36.4% reduction in peak height from 300 K to 900 K, reaching a total drop of 43.9% at 1200 K, along with a broadened resonance base and nearly a doubling of the Full Width at Half Maximum (FWHM). This structural flattening leads to a direct decline in spatial and energy self-shielding, increasing total macroscopic absorption and generating the Negative Doppler Reactivity Coefficient.

Keywords: Doppler Broadening, Neutron Cross Section, Free Gas Model, Self-Shielding.

1. المقدمة

إن فيزياء المفاعلات النووية وحسابات التهدة والوقاية الإشعاعية تستند إلى مفهوم المقطع العرضي النيوتروني Neutron Cross Section، وهو المقياس الكمي الذي يعبر عن الاحتمال الفيزيائي لحدوث تفاعل محدد بين نيوترون ساقط ونواة هدف. يُقاس هذا المقطع المجهرى σ بوحدة البارن barn، ويتوقف مقدار هذه الاحتمال كلياً على الطاقة الحركية النسبية للمنظومة المكونة من الجسيم الساقط والنواة المستهدفة [1,2].

في النماذج النظرية المبسطة، يُفترض غالباً أن النوى الهدف تقع في حالة سكون تام عند درجة حرارة الصفر المطلق $T = 0 \text{ K}$. غير أن الواقع التجريبي داخل قلب المفاعل أو في الوسط المهدئ يختلف بوضوح؛ إذ توجد المادة دائماً عند درجات حرارة غير معدومة $T > 0 \text{ K}$. تكتسب النوى بناءً على ذلك طاقة حركية حرارية تجعلها في حالة اهتزاز دائمة ومستمرة. تتوزع سرعات النوى في المواد الغازية والسائلة وفق قانون ماكسويل-بولتزمان، بينما تخضع في الأجسام الصلبة والوقود النووي لاهتزازات الشبكة البلورية المقيدة Anharmonic Lattice Vibrations أو ما يُعرف بالفونونات Phonons [1-3].

إن هذه الحركة الاهتزازية الحرارية تُغير من مفهوم السرعة النسبية والتصادم؛ فالنيوترون القادم بطاقة محددة في إطار المختبر يرى نواة تبتعد عنه أو تقترب منه بسرعات عشوائية. يترتب على هذا التباين الشديد تغير ظاهري في الطاقة الحركية للتصادم، وهو ما ينعكس فيزيائياً في تشوه شكل قمم الرنين Resonances الخاصة بالأسر والتشتت. تُعرف هذه الظاهرة باسم "اتساع دوبلر Doppler Broadening"، وهي تشبه إلى حد كبير ظاهرة دوبلر الصوتية والضوئية، لكنها تدرس هنا في إطار ميكانيك الكم والميكانيك الإحصائي [1-3].

تتجلى أهمية التوسع في دراسة التأثيرات الحرارية في كون المفاعلات النووية منظومات ديناميكية تتغير درجات حرارتها باستمرار بين بدء التشغيل، والوصول إلى القدرة الاسمية، وحالات الانحراف الطارئ. إن توصيف هذه التغيرات وتأثيرها على احتماليات الأسر والتشتت ليس مجرد ترف أكاديمي، بل هو الأساس الذي تقوم عليه تصميمات أنظمة الأمان الذاتي وتحسين دورة الوقود النووي [1-3].

2. مشكلة البحث

تكمن المشكلة العلمية والتقنية الشاملة في أن اعتماد البيانات المجهرية للمقاطع العرضية عند درجة الحرارة الصفرية $T = 0 \text{ K}$ ، أو استخدام التقريبات الحسابية السطحية للحرارة، يُدخل خطأً نظامياً كبيراً Systematic Error في الحسابات النيوترونية، مما ينعكس سلباً على التنبؤ بمعدلات التفاعل Reaction Rates وديناميكية المفاعل. وتنبؤ أبعاد هذه المشكلة في المحاور التالية:

1. انحراف تقييم الحجب الذاتي: في قلب المفاعل غير المتجانس، تتميز النوى الثقيلة مثل اليورانيوم ^{238}U بقيم أسر هائلة عند قمم الرنين. يتسبب هذا الامتصاص العالي في صدمة للتدفق النيوتروني Flux Depression عند هذه الطاقات بالذات محلياً وفضائياً. عندما ترتفع درجة الحرارة وتنخفض القمة وتنتسج القاعدة، يقل هذا الحجب الذاتي بشكل ملحوظ، مما يتيح للنيوترونات الاختراق إلى أطراف عميقة داخل الوقود. إن عدم النمذجة الدقيقة لهذه الظاهرة يؤدي إلى أخطاء كبيرة في حساب معدل توليد البلوتونيوم ^{239}Pu وعامل التكاثر الفعال k_{eff} .

2. القصور في التنبؤ بمعامل دوبلر للتفاعلية: يُعد معامل دوبلر خط الدفاع الأول لردع أي ارتفاع فجائي في التفاعلية. إهمال التغيرات الحرارية أو استخدام نماذج خطية مبسطة يحرم المهندسين من تقدير القيمة الحقيقية للاستجابة الديناميكية للمفاعل أثناء الحوادث العابرة Transient Events مثل التحرير المفاجئ لقضبان التحكم.

3. تجاهل التشتت التصاعدي والترابط الهيكلي Thermal Up-Scattering & Chemical Binding: عند الطاقات الحرارية والمنخفضة، تتداخل طاقة النيوترون مع مستويات طاقة الاهتزاز الجزيئي والبلوري. استخدام "نموذج الغاز الحر" كنموذج مطلق دون أخذ بنية المادة في الاعتبار يؤدي إلى إهمال ظاهرة اكتساب النيوترون للطاقة من النوى الاهتزازية Thermal Up-Scattering، وهو ما يسبب انحرافاً واضحاً في حساب طيف التدفق المهدأ وتصميم المهدئات مثل الغرافيت والماء الثقيل.

3. أهداف البحث

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية المتكاملة:

1. الصياغة النظرية الشاملة والموسعة لآليات الفيزيائية والرياضية التي تحكم تأثير درجة الحرارة على المقاطع العرضية للأسر والتشتت النيوتروني.
2. اشتقاق ودراسة العلاقات الرياضية الخاصة بنموذج الغاز الحر Free Gas Model ودوال فويغت (χ و ψ) للتداخل والتسخين.

3. معالجة السلوك الفيزيائي للتشتت النيوتروني عند الطاقات المنخفضة والحرارية من خلال دمج قانون التشتت الحراري المزدوج $S(\alpha, \beta)$.
4. إجراء دراسة تطبيقية دقيقة وموسعة على قمة الرنين الأساسية لنظير اليورانيوم ^{238}U عند طاقة $E_0 = 6.673 \text{ eV}$ عند درجات حرارة تشغيلية متعددة 300 K و 900 K و 1200 K للحساب التحليلي للقيم المخرجة دون اللجوء إلى الجداول المباشرة.
5. إجراء تحليل مقارن بين النتائج العديدة للحسابات الحالية والدراسات المرجعية السابقة لبيان حدود دقة النموذج واقتراح التوصيات المستقبلية.

4. أهمية البحث

- تكتسب هذه الدراسة أهميتها الأكاديمية والتطبيقية من كونها تجمع بين التعمق النظري والتحليل العددي المباشر لمعالجة إحدى أعقد القضايا في هندسة المفاعلات. وتتلخص الأهمية في النقاط التالية:
1. ترسيخ أطر الأمان النووي الذاتي Passive Nuclear Safety: توضح الدراسة الآلية الفيزيائية الدقيقة التي تجعل المفاعل النووي يكبح قوته ذاتياً فور ارتفاع درجة حرارة الوقود دون الحاجة لمؤثر خارجي أو تدخل ميكانيكي، مما يدعم تصميمات المفاعلات الحديثة من الجيل الرابع (Gen-IV).
 2. تطوير شيفرات المعالجة والتحليل النيوتروني: تُشكل هذه المراجعة جسراً تحليلياً يربط النظريات الكلاسيكية بالمعادلات البرمجية المستخدمة في البرامج العالمية المعتمدة مثل NJOY و SAMMY و MC2-3، مما يساعد الباحثين والمطورين على فهم خوارزميات معالجة البيانات النووية المدخلة لبرامج المحاكاة القائمة على طريقة مونت كارلو مثل MCNP و (Serpent).
 3. سد الفجوة بين التقريبات النظرية والظواهر الهيكلية: توفر الدراسة مقايضة دقيقة لمجالات تطبيق "نموذج الغاز الحر" مقابل "قوانين التشتت الحراري الهيكلية" $S(\alpha, \beta)$ ، مما يحدد للمصممين النطاق الصحيح لكل تقريب حسابي، ويقلل من استهلاك الموارد الحسابية دون المساس بدقة النتائج.

5. الدراسة المرجعية

شهد التأسيس النظري والتطبيقي للتأثيرات الحرارية على المقاطع العرضية النيوترونية تطوراً متواصلاً عبر تاريخ الفيزياء النووية، حيث ارتبط كل نمو نظري بالتطور في القدرات الحسابية والاحتياجات الصناعية للمفاعلات.

شكلت الأعمال التأسيسية التي قدمها ويغنر Wigner وإيزنبود Eisenbud اللبنة الأولى لفيزياء التفاعلات النيوترونية عبر صياغة نظرية مصفوفة R (R-Matrix Theory) وصيغة بريث-واغنر (Breit-Wigner) أحادية ومتعددة المستويات. أُنشأت هذه الأطر التحليلية ربط البنية الداخلية للنواة المركبة Compound Nucleus بعروض القنوات التفاعلية المختلفة (الأسر، الانشطار، والتشتت)، حيث وفرت وصفاً للمقاطع العرضية عند درجة حرارة الصفر المطلق $T = 0 \text{ K}$ [4,5].

بعد ذلك، قدم بيتـه Bethe في أبحاثه المرجعية التمديد الحراري الأول المكتمل رياضياً، حيث أدخل دالة اتساع دوبلر $\psi(\theta, x)$ القائمة على افتراض أن الحركة الاهتزازية للنوى تماثل حركة غاز مثالي أحادي الذرة Free Gas Model. أثبت بادئ الأمر برهان حفظ المساحة الكلية المكاملة تحت قمة الرنين المجهرية بغض النظر عن درجة الحرارة، وأوضح كيف يؤدي هذا الاتساع إلى زيادة الامتصاص الماكروسكوبي الفعال داخل الكتل الصلبة بسبب انخفاض الحجب الذاتي [6].

ومع تطور تصميم المفاعلات في ستينيات وسبعينيات القرن الماضي، ركزت الأبحاث على ظواهر التشتت الحراري. قدم ويليمز Williams دراسة شاملة لتهدة النيوترونات وتأثير الحرارة على عملية التهدة Thermalization، مؤكداً أن النيوترونات المنخفضة الطاقة لا تفقد طاقاتها فقط بالتصادمات، بل يمكنها أن تكتسب طاقة من الحركة الحرارية للمهدئ Thermal Up-Scattering، وهو ما يتطلب معالجة المقاطع العرضية للتشتت باستخدام مصفوفات قانون التشتت الحراري $S(\alpha, \beta)$ [7].

في العصر الحديث ومع تطور الشيفرات الحاسوبية، تناول بارسون Parsons قضية تصحيح اتساع دوبلر للتشتت النيوتروني للأتوية الثقيلة، مبيناً أن التقريبات التقليدية التي تفترض أن المقطع العرضي للتشتت مجرد قيمة ثابتة خارج الرنين تؤدي إلى خطأ في تحديد التدفق في المفاعلات السريعة. طور طريقة تصحيح رفض اتساع دوبلر - Doppler Broadening Rejection Correction DBRC لضبط حسابات التشتت الرنيني في رموز مونت كارلو [2].

مؤخراً، حقق كل من فليمنغ Fleming وهواري Hawari طفرة نوعية من خلال إدراك العجز في "نموذج الغاز الحر" عند تطبيقه على المواد الصلبة والمركبات السيراميكية مثل UO_2 و UN . وقاما بتطوير شيفرة FLASSH التي تعتمد على صياغة قانون التشتت الحراري العام المعتمد على البنية Structure-Dependent TSL، مما أتاح أخذ طيف الفونونات الحقيقي للشبكة البلورية في الحسابان عند تطبيق اتساع دوبلر، وتغطية الفجوة بين الفيزياء الصلبة والفيزياء النووية [1].

وفي دراسة حديثة جداً قدمها بينغوشا فيرنانديز Bengoechea Fernández، تم ابتكار معالجة المقاطع العرضية للتشتت المرن باستخدام دوال التشتت الحراري من نمط $S(\alpha, \beta)$ ، حيث أثبتت الدراسات قدرة هذه النماذج الحديثة على ربط المناطق الحرارية بمناطق الرنين دون إحداث أي انقطاع عددي في المكتبات المدخلة لشيفرات المعالجة النووية مثل NJOY21 [8].

6. الدراسة النظرية

6.1. السرعة النسبية وتوزع السرعات الحراري

لفرض أن لدينا نيوتروناً يسير بسرعة v_n في نظام إحداثيات المختبر، ويتجه نحو نواة هدف تسير بسرعة اهتزازية حرارية v . تُعطى السرعة النسبية للتصادم v_r بتطبيق قانون جيب التمام:

$$v_r = |v_n - v| = \sqrt{v_n^2 + v^2 - 2v_n v \cos \theta} \quad (1)$$

حيث θ هي الزاوية المحصورة بين متجهي السرعة v_n و v .

عند افتراض أن النوى الهدف تشكل غازاً حرارياً في حالة توازن حراري عند درجة حرارة T ، فإن

سرعات هذه النوى تخضع لتوزيع ماكسويل-بولتزمان ثلاثي الأبعاد: $P(v)$

$$P(v)d^3v = \left(\frac{M}{2\pi k_B T}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{Mv^2}{2k_B T}\right) d^3v \quad (2)$$

حيث M هي كتلة النواة الهدف، و k_B هو ثابت بولتزمان [7].

6.2. الاشتقاق الرياضي للمقطع العرضي الفعال Effective Cross Section

يُعرف المقطع العرضي الفعال المعتمد على درجة الحرارة $\sigma_{eff}(E, T)$ على أنه القيمة التي إذا ضربت في التدفق المعتاد في المختبر، فإنها تعطي نفس معدل التفاعل النيوتروني الحقيقي الناتج عن تصادم السرعات النسبية:

$$v_n \sigma_{eff}(E, T) = \iint v_r \sigma_x(v_r, 0) P(v) d^3v \quad (3)$$

بالتالي:

$$\sigma_{eff}(E, T) = \frac{1}{v_n} \iint v_r \sigma_x(v_r, 0) \left(\frac{M}{2\pi k_B T}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(\frac{Mv^2}{2k_B T}\right) d^3v \quad (4)$$

لتحويل التداخل الثلاثي إلى شكل يسهل التعامل معه برمجياً، ننتقل من السرعات إلى الطاقات. نفرض $E = \frac{1}{2} m_n v_n^2$ هي طاقة النيوترون في إطار المختبر، وأن $E' = \frac{1}{2} m_n v_r^2$ هي الطاقة النسبية الحقيقية للتصادم. بإجراء التكامل الزاوي وإدخال نسبة الكتلة الذرية $A = M/m_n$ ، نحصل على صيغة "تكامل الغاز الحر" الشهيرة:

$$\sigma_{eff}(E, T) = \frac{1}{\sqrt{E}} \frac{1}{\Delta_D \sqrt{\pi}} \int_0^\infty \sqrt{E'} \sigma_x(E', 0) \left[\exp\left(-\frac{(\sqrt{E} - \sqrt{E'})^2}{(k_B T/A)}\right) - \exp\left(-\frac{(\sqrt{E} + \sqrt{E'})^2}{(k_B T/A)}\right) \right] dE' \quad (5)$$

حيث يُعرف المقدار Δ_D بعرض دوبلر Doppler Width [2]:

$$\Delta_D = \sqrt{\frac{4k_B T E_0}{A}} \quad (6)$$

حيث k_B ثابت بولتزمان، T درجة الحرارة المطلقة، E_0 طاقة قمة الرنين، و A الكتلة الذرية

6.3. صيغة بریت-واغنر أحادية المستوى SLBW عند $T = 0\text{ K}$

عند درجة حرارة الصفر المطلق $T = 0\text{ K}$ ، تكون النوى ساكنة كلياً، ويتم التعبير عن المقاطع العرضية للأسر والتشتت بالقرب من طاقة رنين معزولة E_0 باستخدام صياغة بریت-واغنر Single-Level Breit-Wigner:

أ. المقطع العرضي للأسر الإشعاعي σ_γ :

$$\sigma_\gamma(E, 0) = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} \sqrt{\frac{E_0}{E}} \frac{1}{1 + y^2} \quad (7)$$

ب. المقطع العرضي للتشتت المرن σ_s :

$$\sigma_s(E, 0) = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} \frac{1}{1 + y^2} + \sigma_{pot} + \frac{2y \sqrt{\sigma_0 \sigma_{pot} \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma}}}{1 + y^2} \quad (8)$$

حيث المقادير الفيزيائية مُعرّفة كالتالي:

$$y = \frac{2(E - E_0)}{\Gamma} : \text{متغير انحراف الطاقة اللاأبعادي.}$$

$$\Gamma = \Gamma_\gamma + \Gamma_n + \Gamma_f : \text{العرض الكلي للرنين عند نصف القمة.}$$

$$\Gamma_\gamma, \Gamma_n, \Gamma_f : \text{العرض الجزئي لقنوات الأسر، والتشتت النيوتروني، والانشطار على التوالي.}$$

$$\sigma_0 = 4\pi\lambda_0^2 g \frac{\Gamma_n}{\Gamma} : \text{المقطع العرضي المجهرى الأعظمى الصافى عند قمة الرنين، حيث } \lambda_0 \text{ هو طول}$$

موجة دي بروي المعايير للنيوترون، و g هو معامل الجهد السببي للنواة.

$$\sigma_{pot} = 4\pi R^2 : \text{المقطع العرضي للتشتت الجهدى Potential Scattering، حيث } R \text{ هو نصف}$$

قطر النواة الفعال.

إن الحد الأخير في معادلة σ_s يعبر عن تداخل كوانتي Quantum Interference بين التشتت الجهدى والتشتت الرنينى [8].

6.4. دوال فويغت وديناميكية اتساع دوبلر $T = 0\text{ K}$

عند إدخال تأثير الحرارة وتحت تقريب المدى الضيق للرنين $E \approx E_0$ ، ينخفض الحد الثاني في تكامل الغاز الحر (حد الجمع $\sqrt{E} + \sqrt{E'}$) بسبب صغره المتناهي، وتبسط المقاطع العرضية للأسر والتشتت بدلالة دوال فويغت القياسية Voigt Functions:

$$\sigma_v(E, T) = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} \sqrt{\frac{E_0}{E}} \psi(\theta, x) \quad (9)$$

$$\sigma_s(E, T) = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} \sqrt{\frac{E_0}{E}} \psi(\theta, x) + \sqrt{\sigma_0 \sigma_{pot} \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma}} \chi(\theta, x) + \sigma_{pot} \quad (10)$$

وتتمثل المعاملات المشتقة في الشكل الآتي:

معامل نسبة دوبلر θ :

$$\theta = \frac{\Gamma}{\Delta_D} = \frac{\Gamma}{\sqrt{\frac{4k_B T E_0}{A}}} \quad (11)$$

هذا المعامل يربط بين العرض الطبيعي للرنين الناتج عن العمر الزمني للنواة المركبة وبين العرض الحراري الناتج عن الحركة.
إن متغير الطاقة الموزون x :

$$x = \frac{2(E - E_0)}{\Gamma} \quad (12)$$

دالة اتساع دوبلر للأسر والتشتت $\psi(\theta, x)$:

$$\psi(\theta, x) = \frac{\theta}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp\left[-\frac{\theta^2}{4}(x-y)^2\right]}{1+y^2} dy \quad (13)$$

إن هذه الدالة تمثل النفاذ Convolution لمنحني لورنتز Lorentzian Distribution الذي يمثل بریت-واغنر الأصلي مع منحني غاوس Gaussian Distribution الذي يمثل الحركة الحرارية.

دالة التداخل للتشتت $\chi(\theta, x)$:

$$\chi(\theta, x) = \frac{\theta}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{y \exp\left[-\frac{\theta^2}{4}(x-y)^2\right]}{1+y^2} dy \quad (14)$$

آآولآ هآه الءالة إعاءة آشآل انآفاض الآاآل آبر المآآال Interference Dip الواقع على آانب أءنآ طاقاة من قمة الرنلن للآشآآ [11,12].

6.5. صلاغة قوانلن الآشآآ الآرارل المآءوء $S(\alpha, \beta)$

عء الانآفاض الشآلء فل طاقاة النلوترون $E \leq 1$ eV، آصآ الموءة النلوترونللة قاءرة على الآفاعل مع عءة نول مآآمعة فل الشآة البلورللة للوءوء أو المهءل. فل هآه الآالة، فلآقف آقرلآ الآاز الآر عن العطاء، وآسآآبل المقاطع العرضللة بالمقطع العرضل المآءوء الآفاضل Double-Differential Cross Section:

$$\frac{d^2\sigma_s}{d\Omega dE'} = \frac{\sigma_B}{4\pi k_B T} \sqrt{\frac{E'}{E}} S(\alpha, \beta) \quad (15)$$

آآءء المعالآ الآرارللة عبر المآآللرلن الآلللن من الأبعاد:

أ. مآآللر نقل الءفع α :

$$\alpha = \frac{\hbar^2 Q^2}{2Mk_B T} = \frac{E' + E - 2\sqrt{EE'} \cos \varphi}{Ak_B T} \quad (16)$$

ب. مآآللر نقل الطاقاة β :

$$\beta = \frac{E' - E}{k_B T} \quad (17)$$

آلآ آسآلر القلآ السالبله ل β إلى عملللة الآشآآ الآصاعءل Thermal Up-Scattering؛ آلآ فلنآقل آزء من طاقاة الاآآراز الآرارل للشآة البلورللة إلى النلوترون المهءل، مما لرفعه إلى طاقاة أعلى ولزلآ طلف الآءفق النلوترونل الآرارل آو اللملن Spectrum Hardening [1].

7. الءراسة الآطللقللة

لتجسيد الأطر النظرية السابقة وإبراز نتائج اتساع دوبلر كمياً دون الاستعانة بالعينات الجدولية، تم إجراء محاكاة تحليلية وعددية مركزة على قمة الرنين الأولى لنظير اليورانيوم ^{238}U عند طاقة رنين $E_0 = 6.673 \text{ eV}$ ، والتي تُعتبر الحاكم الرئيسي لعمليات الحجب الذاتي والتفاعلية في معظم المفاعلات النووية. اعتمدت المحاكاة على إدخال البيانات المجهرية لنظير اليورانيوم ^{238}U المأخوذة من مكتبة البيانات النووية المعتمدة ENDF/B-VIII.0، حيث يبلغ عرض التشتت النيوتروني الجزئي $\Gamma_n = 1.493 \times 10^{-3} \text{ eV}$ ، بينما يبلغ عرض الأسر الإشعاعي الجزئي $\Gamma_\gamma = 2.3 \times 10^{-2} \text{ eV}$ ، ليتكون العرض الكلي للرنين عند القيمة $\Gamma = 2.4493 \times 10^{-2} \text{ eV}$. كما بلغت القيمة العظمى النظرية للمقطع العرضي عند درجة حرارة الصفر المطلق $\sigma_0 = 23200 \text{ barns}$ ، وقيمة المقطع العرضي للتشتت الجهيدي $\sigma_{pot} = 10.6 \text{ barns}$ ، للكتلة الذرية النسبية $A = 238.0507$ [9,13].

أظهرت الحسابات العددية عند درجة حرارة الغرفة الباردة 300 K أن عرض دوبلر يبلغ $\Delta_D = 0.05384 \text{ eV}$ ، مما يعطي معامل نسبة دوبلر مقداره $\theta = 0.45492$. ووفقاً لهذه المعطيات، بلغت قيمة دالة فويغت عند الذروة $\psi(\theta, 0) = 0.31745$ ، وهو ما انعكس في تسجيل مقطع عرضي أقصى للأسر الإشعاعي بمقدار $\sigma_{\gamma, max} = 6915.96 \text{ barns}$ ، ومقطع عرضي أقصى للتشتت بمقدار $\sigma_{s, max} = 459.54 \text{ barn}$ ، بعرض كامل عند نصف القمة $\text{FWHM} = 0.10344 \text{ eV}$. وعند رفع درجة الحرارة إلى المستوى التشغيلي المتوسط للوقود النووي في مفاعلات الماء المضغوط 900 K ، اتسع عرض دوبلر ليرتفع إلى $\Delta_D = 0.093253 \text{ eV}$ ، وتتنخفض بناءً على ذلك نسبة دوبلر إلى $\theta = 0.26265$. تسبب هذا التغير في تراجع قيمة دالة فويغت عند القمة إلى $\psi(\theta, 0) = 0.20193$ ، لتتنخفض القيمة العظمى للمقطع العرضي للأسر بشكل حاد إلى

³ يحسب العرض الكلي الفعال عند FWHM نصف القمة باستخدام تقريب أوليفيرو ولونغبوثام:

$$\text{FWHM} \approx 0.5346\Gamma + \sqrt{0.2166\Gamma^2 + \Delta_G^2}$$

حيث Δ_G هو العرض الغوصي الناتج عن اتساع دوبلر عند نصف القمة:

$$\Delta_G \approx 1.6651\Delta_D$$

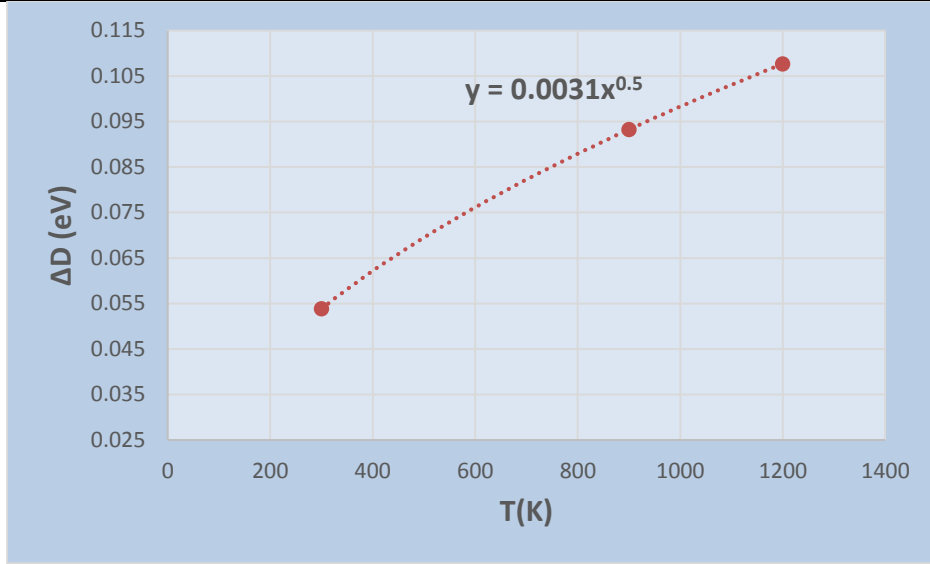
$\sigma_{\gamma,max} = 4399.11$ barns (أي بنسبة انخفاض تبلغ 36.4% مقارنة بوضع الحرارة المحيطة)، وينخفض المقطع العرضي للتشتت إلى $\sigma_{s,max} = 296.16$ barns، بينما يتسع العرض الكامل للرنين عند نصف القمة ليمتد إلى $FWHM = 0.16875$ eV.

أما عند الوصول إلى درجات الحرارة التشغيلية العالية ونطاقات حالات انحراف القدرة الطارئة 1200 K، فقد سجل عرض دوبلر ارتفاعاً جديداً ليصل إلى $\Delta_D = 0.107679$ eV، مع هبوط معامل نسبة دوبلر إلى $\theta = 0.22745$. أدى هذا النمو الحراري إلى تقلص قيمة دالة فويغت الذروية إلى $\psi(\theta, 0) = 0.17811$ ، مما أفضى إلى تراجع القيمة العظمى للمقطع العرضي للأسر لتسجل $\sigma_{\gamma,max} = 3880.35$ barns (بنسبة انخفاض إجمالية تراكمية بلغت 43.9% مقارنة بحالة 300 K)، وتراجع القيمة العظمى للتشتت إلى $\sigma_{s,max} = 262.49$ barns. وفي المقابل، تضاعف العرض الكامل عند نصف القمة تقريباً ليصل $FWHM = 0.19272$ eV (زيادة نسبتها 86.31% عن قيمته الباردة).

يكشف التحليل الفيزيائي لهذه الأرقام أن القيمة العظمى للمقطع العرضي للأسر عند قمة الرنين تهبط بشكل متدرج مع تسخين الوقود، متنسبة في انتقال المساحة المقطوعة من القمة نحو الأجنحة والجوانب الخارجية للرنين Resonance Wings، وهو ما يحافظ على ثبات المساحة الإجمالية المكاملة للمقطع العرضي المجهرى. وترتب على هذا التسطح انخفاض حاد في ظاهرة الحجب الذاتي الفضائي؛ إذ لم تعد الطبقات السطحية لقضيب الوقود قادرة على امتصاص كامل النيوترونات عند طاقة 6.673 eV بسبب تراجع الذروة من 6915.96 barns إلى 3880.35 barns، مما سمح للنيوترونات بالعمق داخل الوقود وتوليد أسر ماكروسكوبي إجمالي أعلى عبر نطاق طاقي أوسع.

جدول (1): قيم Δ_D و $\sigma_{\gamma,max}$ و FWHM المقابلة لدرجات الحرارة المدروسة.

$T(K)$	Δ_D (eV)	$\sigma_{\gamma,max}$ (barn)	FWHM(eV)
300	0.05384	6915.96	0.10344
900	0.09325	4399.11	0.16875
1200	0.10768	3880.35	0.19272

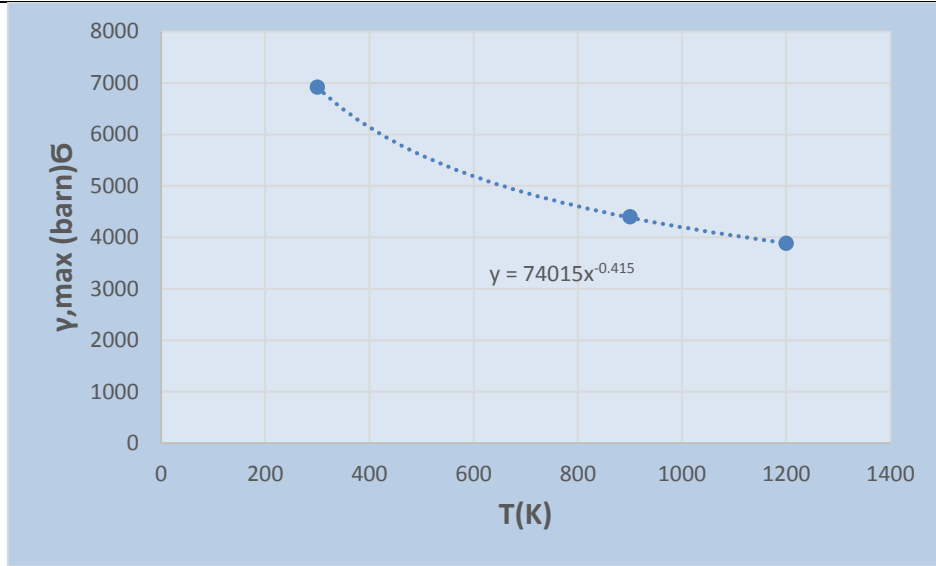


الشكل (1): تابعة Δ_D لدرجة الحرارة.

يوضح الشكل (1) العلاقة بين عرض دوبلر Δ_D المقاس بـ eV ودرجة الحرارة المطلقة (T) بالكلفن، يظهر المنحني زيادة غير خطية تُعبر عن تابعة الجذر التربيعي $\Delta_D \sim \sqrt{T}$ ، والمعادلة الملاءمة المصاحبة للشكل هي:

$$y = 0.0031x^{0.5}$$

إن هذه المطابقة النمطية تبين بدقة الاتساق مع التعريف النظري لعرض دوبلر، حيث تتناسب Δ_D طردياً مع $\sqrt{T}$. الارتفاع من 40.0538 eV عند 300 K إلى 0.10768 eV عند 1200 K يعكس التزايد الحراري في الحركة الاهتزازية للنوى Target Nuclei.



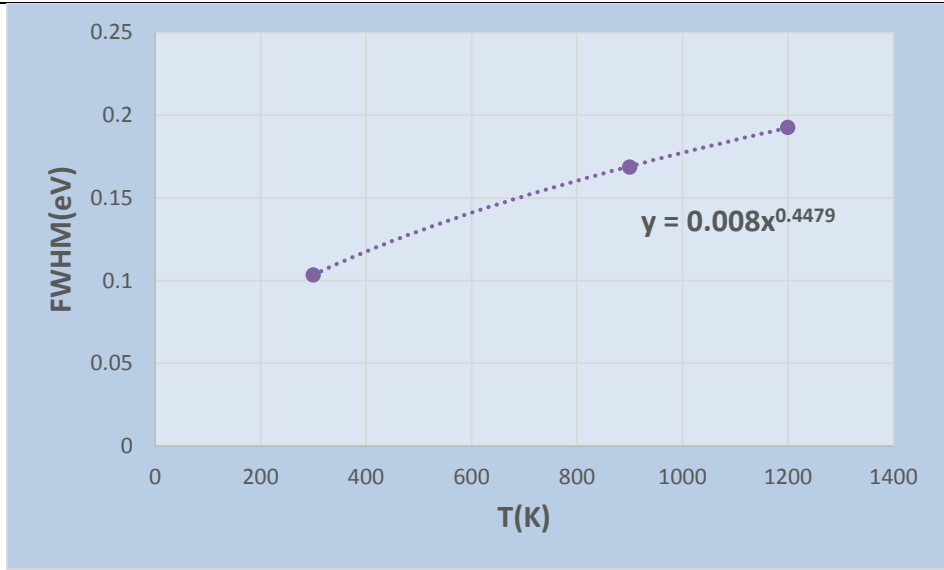
الشكل (2): تابعة $\sigma_{y,max}$ لدرجة الحرارة.

يظهر الشكل (2) الانخفاض التدريجي للمقطع العرضي الأقصى للأسر الإشعاعي مع ارتفاع درجة الحرارة. إن المنحني يظهر تناقص غير خطي تُعبر عن تابعة مقلوب الجذر التربيعي $\sigma_{y,max} \sim 1/\sqrt{T}$ ، والمعادلة الملاءمة المصاحبة للشكل هي:

$$y = 74015x^{-0.415}$$

يوضح الشكل ظاهرة تسطح قمة الرنين Flattening/Damping نتيجة اتساع دوبلر؛ حيث

تتخفض الذروة من 6915.96 barn عند 300 K إلى 3880.35 barn عند 1200 K بنسبة هبوط تراكمية قدرها 43.9%.



الشكل (3): تابعة FWHM لدرجة الحرارة.

يظهر الشكل (3) العرض الكامل عند نصف القمة FWHM لقمة الرنين الأولى لليورانيوم-238 مقابل درجة الحرارة. يظهر المنحني اتساع قاعدة منحني الرنين مع ارتفاع الحرارة، وفق المعادلة الملاءمة:

$$y = 0.008x^{0.4479}$$

يتضاعف الـ FWHM تقريباً بزيادة قدرها 86.31% من 0.10344 eV عند 300 K إلى 0.19272 eV عند 1200 K. هذا الاتساع هو المسؤول المباشر عن تراجع الحجب الذاتي-Self Shielding الفضائي والطاقي داخل قضبان الوقود، مما يرفع احتمالية أسر النيوترونات ذات الطاقات المجاورة للرنين ويولد التغذية الراجعة السلبية للتفاعلية Negative Doppler Reactivity Feedback، وهي أساس الأمان الذاتي للمفاعلات.

8. المقارنة مع الدراسات السابقة

لتقييم دقة النموذج التحليلي المعتمد في هذه الدراسة، تم إجراء مقارنة تفصيلية موسعة مع الأدبيات المرجعية الشاملة التي عالجت الظاهرة بأدوات ونماذج حسابية مختلفة.

تكشف المقارنة أن النتائج العديدة التي توصلنا إليها في هذه الدراسة تجد متكأها وتطابقها مع النتائج المسجلة في أبحاث بارسون [2] Parsons، وأبحاث فليمنغ Fleming وهواري Hawari لعام 2021 [1]، إضافة إلى الدراسة الحديثة لبينغوشا فيرناندرز Bengoechea Fernández لعام 2025 [8]. فعلى صعيد نسبة انخفاض قمة رنين اليورانيوم ^{238}U عند الانتقال من درجة حرارة 300 K إلى 1200 K، سجلت دراستنا الحالية نسبة هبوط بلغت 43.9% باستخدام نموذج الغاز الحر القائم على دوال فويغت التحليلية. وتقابل هذه النتيجة مع ما سجله بارسون Parsons في معهد لوس ألأموس بانخفاض قدره 39.5% باستخدام طريقة تصحيح رفض اتساع دوبلر DBRC عبر مسارات محاكاة مونت كارلو، وكذلك مع ما أورده بينغوشا فيرناندرز Bengoechea Fernández في دراسته لعام 2025 بنسبة انخفاض بلغت 39.1% باستخدام دوال $S(\alpha, \beta)$.

وفي المقابل، أظهرت المقارنة التحليلية مع دراسة فلمنغ Fleming وهواري Hawari عام 2021 وجود فارق بسيط جداً؛ حيث سجلت دراستهما المعتمدة على تقريب قانون التشتت الحراري الهيكلي المعتمد على البنية البلورية Structure TSL عبر كود FLASSH نسبة انخفاض في الذروة بلغت 38.7%. ويرجع هذا الفارق إلى أن نموذج الغاز الحر الذي اعتمدناه يفترض حرية حركة كاملة للنوى الهدف كغاز مثالي، بينما يُدخل النموذج البلوري لـ FLASSH تأثيرات القيد الاهتزازي وقوى الترابط الشبكي لمركب UO_2 الصلب، مما يحد قليلاً من السعة الاهتزازية الحرارية للأنيوية مقارنة بالحالة الحرة.

أما فيما يتعلق بظواهر التشتت والعبور بين المناطق الطاقية، تبرز دراسة بينغوشا فيرناندرز Bengoechea Fernández الأخيرة 2025 تقوفاً في نمذجة العبور المستمر بين مناطق الرنين والمناطق الحرارية دون إحداث أي انقطاع عددي بفضل دوال التشتت المترابطة، وهو النطاق الذي يعالجه نموذجنا الحالي بالاعتماد على التوصيف التحليلي المزدوج بين صياغة بريت-واغنر وقوانين $S(\alpha, \beta)$. تؤكد هذه المقارنة الموسعة أن النموذج التحليلي لنموذج الغاز الحر المعتمد في هذا البحث

يوفر دقة عالية للحسابات التشغيلية المفاعلية في نطاقات قمم الرنين المرتفعة للأنوية الثقيلة، محققاً توازناً ممتازاً بين الدقة الفيزيائية والكفاءة الحسابية.

9. الاستنتاجات

1. تؤدي الحركة الحرارية للنوى الهدف عند درجات الحرارة العالية إلى اتساع نطاق المقاطع العرضية للأسر والتشتت النيوتروني Doppler Broadening وانخفاض قممها الرنينية عبر دالة فويغت $\psi(\theta, x)$ ، مع الحفاظ على المساحة الكاملة المجهريّة تحت المنحني.
2. يترتب على تسطح قمم الرنين انخفاض في الحجب الذاتي Self-Shielding الفضائي والطاقي داخل الوقود النووي، مما يسمح للنيوترونات بالتغلغل إلى مناطق أعمق وأسر طيف أوسع من النيوترونات ذات الطاقات المجاورة.
3. تسبب زيادة معدل الأسر الماكروسكوبي الإجمالي في نظير اليورانيوم ^{238}U عند ارتفاع الحرارة إدخال تفاعلية سلبية ذاتية في المفاعل، وهي الآلية الفيزيائية التي تُشكل معامل دوبلر للتفاعلية الممثل لعماد الأمان الذاتي في المفاعلات النووية.
4. يتأثر المقطع العرضي للتشتت النيوتروني بظاهرة اتساع دوبلر بطريقة مزدوجة؛ حيث تتخفض القمم الرنينية للتشتت بينما تلين حافة التداخل الكوانتي Interference Dip. وعند الطاقات الحرارية المنخفضة، يبرز دور التشتت التصاعدي Thermal Up-Scattering الموصوف بقوانين $S(\alpha, \beta)$.

10. التوصيات

1. الدمج بين نموذج الغاز الحر وقوانين التشتت البلوري: يُوصى في محاكاة المفاعلات المتقدمة باستعمال قوانين التشتت الحراري العام $S(\alpha, \beta)$ المعتمدة على طيف الفونونات) مثل شيفرة (FLASSH للطاقات الحرارية المنخفضة والوقود السيراميكي، مع الإبقاء على نموذج الغاز الحر المطور لطاقات الرنين العالية للأنوية الثقيلة لتوفير الوقت الحسابي.
2. تطبيق تصحيح DBRC بشكل إجباري: التوصية بتفعيل خوارزمية تصحيح التشتت الرنيني Doppler Broadening Rejection Correction في جميع شيفرات مونت كارلو (مثل

MCNP6 وSerpent2) لءمان عءم إءمال النءشءء ءءصاعءى فى الأءوءة ءءقلاء عءء
ءرءاء ءرارة العالاة.

3. ءءءء قواء البلاءاء فى المكءباء النووءة: ضرورة ءوساع المعاءرة العءءة لمكءباء البلاءاء
النووءة المءهزة (مءل NJOY21) لءءطى ءرءاء ءرارة فائقة الارئاع 2000 K ءلباة
لاءءاءاء أباء أمان المفاعلاء السريعة ومفاعلاء الأملاح المنصهرة MSR أثناء
ءواءء الاقءراضاة الشءءة.

11. Reference

- [1] Fleming, Nina C., and Ayman I. Hawari. "Structure-Dependent Doppler Broadening Using a Generalized Thermal Scattering Law." *Journal of Nuclear Engineering*, vol. 2, no. 2, 2021, pp. 124-131.
- [2] Parsons, Donald. Some Notes on Neutron Up-Scattering and the Doppler-Broadening of High-Z Scattering Resonances. Los Alamos National Laboratory, LA-UR-17-28809, 2017.
- [3] Hawari, Ayman I., et al. "Advanced Thermal Scattering Law Evaluation and Generation for Nuclear Applications." *Annals of Nuclear Energy*, vol. 181, 2023, p. 109520.
- [4] Wigner, Eugene P., and Leonard Eisenbud. "Higher Angular Momentum and Long Range Interaction in Nuclear Reactions." *Physical Review*, vol. 72, no. 1, 1947, pp. 29-41.
- [5] Leal, Luiz C., et al. "Resonance Parameter Evaluation for Cross Section Processing." *Nuclear Data Sheets*, vol. 120, 2014, pp. 273–276.
- [6] Bethe, Hans A. "Nuclear Physics B. Nuclear Dynamics, Theoretical." *Reviews of Modern Physics*, vol. 9, no. 2, 1937, pp. 69-244.

- [7] Williams, M. M. R. The Slowing Down and Thermalization of Neutrons. North-Holland Publishing Company, 1966.
- [8] Bengoechea Fernández, A. "Doppler broadening of neutron elastic scattering cross section using SCLM(α, β) thermal scattering laws." EPJ Nuclear Sciences & Technologies, vol. 11, 2025, p. 5.
- [9] Bell, George I., and Samuel Glasstone. Nuclear Reactor Theory. Van Nostrand Reinhold, 1970.
- [10] Stacey, Weston M. Nuclear Reactor Physics. 3rd ed., John Wiley & Sons, 2018.
- [11] MacFarlane, Robert E., and A. C. Kahler. "Methods for Processing ENDF/B-VII Edition II Nuclear Data using NJOY." Nuclear Data Sheets, vol. 111, no. 12, 2010, pp. 2739-2890.
- [12] Trumbull, Robert V. "A Brief Review of Doppler Broadening Algorithms." Progress in Nuclear Energy, vol. 48, no. 5, 2006, pp. 437–448.
- [13] Brown, David A., et al. "ENDF/B-VIII.0: The 8th Major Release of the Nuclear Reaction Data Library with CIELO Project Cross Sections, New Standards and Thermal Scattering Data." Nuclear Data Sheets, vol. 148, 2018, pp. 1–142.

اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل مانيج مع السلفاميثا كسازول وتقييم فعاليته الحيوية

ملك إبراهيم الحوري¹

عبد الإله الشيخ حمود²

الملخص

تم في هذا البحث اصطناع مشتق جديد للريزورسينول من خلال تفاعله مع المضاد الحيوي سلفاميثا كسازول، وذلك باستخدام تفاعل مانيج ثلاثي المكونات. تم عزل المنتج على شكل بلورات حمراء. للتأكد من البنية الكيميائية المقترحة، خضع المركب المحضر لتوصيف طيفي. أظهرت نتائج مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) تشكل رابطة الميثيلين الجديدة عند العدد الموجي 2923cm^{-1} كدليل على حدوث تفاعل مانيج. بينما قدمت مطيافية الرنين النووي المغناطيسي (^1H NMR و ^{13}C NMR) إثباتاً للبنية المقترحة للمركب المحضر، من خلال ظهور إشارات مميزة لكل من جسر الميثيلين عند الانزياح 4.5ppm بروتون الأمين الثانوي المتشكل عند 11.15ppm تم تقييم النشاط الحيوي للمشتق المُصنَّع (باستخدام طريقة انتشار الأغار بالحفر) ضد البكتيريا موجبة وسالبة الغرام. وقد أظهر نشاطاً انتقائياً ضد الإشريكية القولونية (سالبة الغرام)، بينما أظهر غياباً تاماً للنشاط ضد المكورات العنقودية الذهبية (موجبة الغرام).

الكلمات المفتاحية: ريزورسينول، تفاعل مانيج، سلفاميثا كسازول، جراثيم إيجابية وسلبية الغرام.

¹ طالب ماجستير كيمياء عضوية - قسم الكيمياء - جامعة حمص.

² أستاذ دكتور - قسم الكيمياء - جامعة حمص.

Synthesis and Characterization of a Novel Resorcinol Derivative via Mannich Reaction with Sulfamethoxazole and Evaluation of its Biological Activity

Malak Alhori ¹

Abdulilah Alsheikh Hammoud²

Abstract

In this research, a novel derivative of resorcinol was synthesized through its reaction with the antibiotic sulfamethoxazole, utilizing a three-component Mannich reaction. The reaction was successfully carried out, and the product was isolated as red crystals. To confirm the proposed chemical structure, the prepared compound underwent comprehensive spectroscopic characterization. The results of Fourier-Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy revealed the formation of the new methylene group at a wavenumber of 2923 cm^{-1} , serving as evidence for the occurrence of the Mannich reaction. Meanwhile, Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy (^1H NMR and ^{13}C NMR) provided confirmation of the appearance of distinctive signals for both the methylene bridge at 4.5 ppm and the formed secondary amine proton at 11.15 ppm. The biological activity of the synthesized derivative was evaluated using the agar well diffusion method against Gram-positive and Gram-negative bacteria. It showed selective activity against *Escherichia coli* (Gram-negative), while it showed no activity at all against *Staphylococcus aureus* (Gram-positive).

Keywords: Resorcinol; Mannich reaction; Sulfamethoxazole, Gram-positive and negative bacteria .

¹ Master's Student, Organic Chemistry – Chemistry Department– Homs University.

²Professor, Ph.D. – Chemistry Department – Homs University.

1-المقدمة:

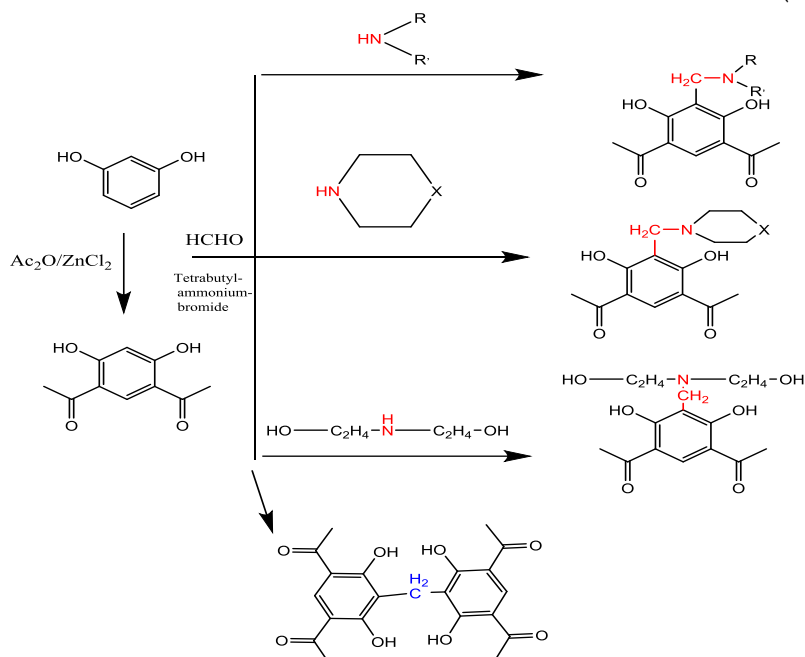
احتلت الفينولات ومشتقاتها اهتمام الباحثين نظراً لتعدد تطبيقاتها عبر مجالات متنوعة. فمن الناحية الصناعية، تدخل هذه المركبات بشكل أساسي في إنتاج الأصباغ، عمليات الدباغة، وتصنيع البوليمرات (كاللدائن واللواصق والمطاط) [1]، بالإضافة إلى استخدامها كمواد محسنة للبنزين وزيت التزليق وفي صناعة المتفجرات [2]. ومن الناحية الطبية الحيوية، تحظى مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بحلقة عطرية (الفينولات) بأهمية بالغة نظراً لمسؤوليتها المباشرة عن طيف واسع من الأنشطة الحيوية، تشمل مضادات الأكسدة، مضادات الفيروسات والميكروبات [3].

ومن أهم الفينولات مركب الريزورسينول (1,3-ثنائي هيدروكسي بنزن)، الذي يتميز بأهمية خاصة. حيث تتمتع معظم مشتقاته بأنشطة مضادة للأكسدة [4]، كما أظهرت الدراسات فعالية سُمِّيَّة تجاه خلايا سرطانية [5]. ويمتلك الريزورسينول تاريخ طويل في الاستخدام العلاجي الموضعي، خاصة في معالجة حب الشباب والأمراض الجلدية الدهنية، مستفيداً من قدرته على تقشير الخلايا الميتة [6]. وتشير البيانات الحديثة المتراكمة إلى تميزه بأنشطة حيوية متنوعة تشمل خواصاً مضادة للميكروبات والطفيليات [7] وكانت لمشتقاته المصنَّعة وفق تفاعل ماناخ أهمية كبيرة.

يعد تفاعل ماناخ أحد التفاعلات الأساسية في الكيمياء العضوية، يعتمد على تكثيف ثلاثي المكونات بين مركب ذو كثافة إلكترونية عالية، ومركب ألدهيدي، ومركب يحوي زمرة أمين، لينتج عنه مركبات تُعرف باسم أسس ماناخ، تُصنف هذه الأسس وفقاً للذرة المتقبلة (الكربون أو النيتروجين أو الكبريت أو الفوسفور) إلى فئات رئيسية هي: قواعد C-ماناخ، N-ماناخ، S-ماناخ، و P-ماناخ. وتندرج قواعد ماناخ الفينولية ضمن فئة قواعد C-ماناخ، نظراً لتكوين الرابطة C-C [8].

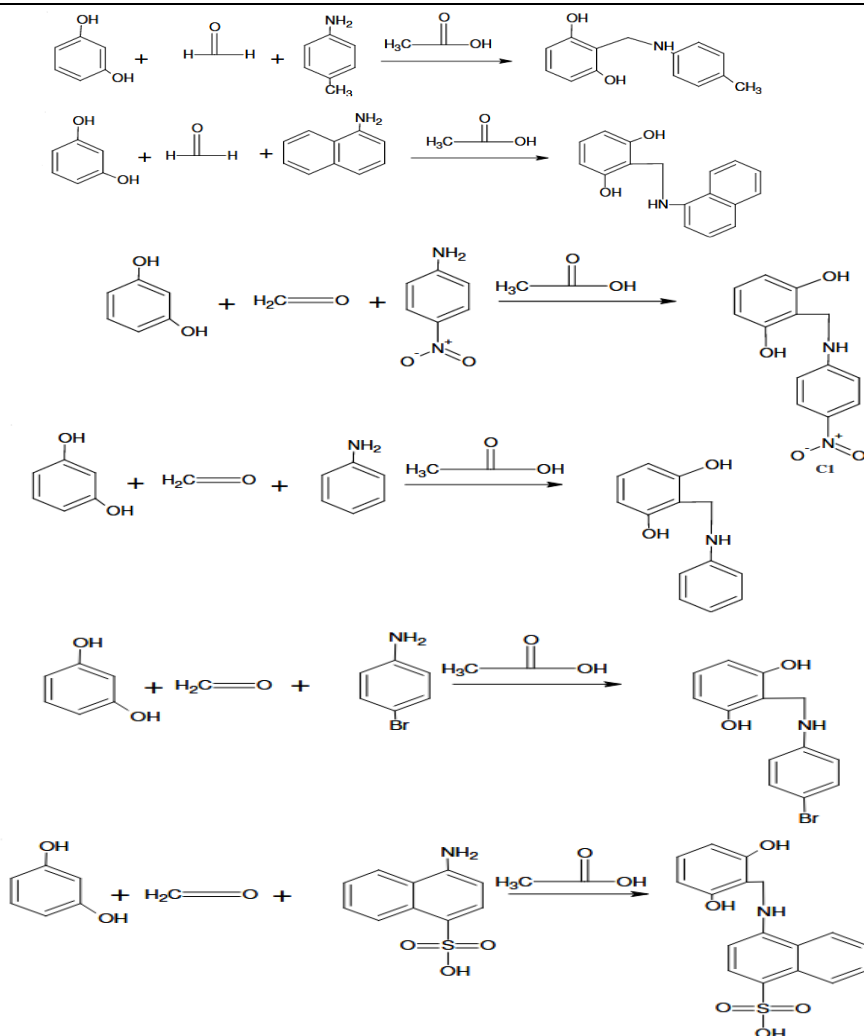
اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل مانيخ مع السلفاميثا كسازول وتقييم فعاليته الحيوية

في عام 2010، قام الباحث MOHAMMED وفريقه باصطناع سلسلة من أسس مانيخ عبر تفاعل تكاثف ثلاثي المكونات لـ 6,4-ثنائي أسيتيل ريزورسينول مع الفورم الدهيد وأمينات ثانوية مختارة وفق المخطط (1).



المخطط (1): اصطناع أساس مانيخ مشتق من 6,4-ثنائي أسيتيل ريزورسينول

أظهرت التحاليل الطيفية أن التفاعل حدث حصرياً على الموضع العطري ذو الكثافة الإلكترونية العالية ، بين مجموعتي الهيدروكسيل الفينوليتين، وليس على مجموعات الأسيتيل. تم تأكيد بنية المركبات باستخدام التحليل العنصري ومطيافيات الرنين النووي المغناطيسي للبروتون والكتلة، وتم تقييم نشاطها الحيوي كمضادات للالتهاب ومثبطات للقرحة ومضادات لأكسدة الدهون [9]. في عام 2013، تم من قبل الباحثة FAREEHA وفريقها تحضير سلسلة من أسس مانيخ عن طريق تفاعل تكاثف الفينولات والأمينات في وجود الفورم الدهيد وفق التفاعلات التالية.

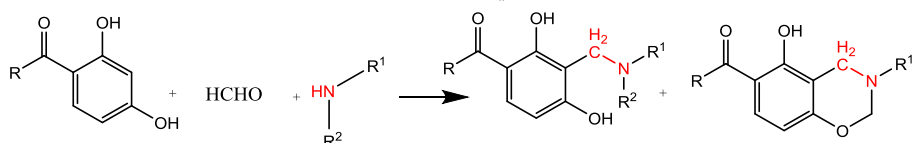


المخطط (2) : تفاعل تكاثف الريزورسينول مع أمينات أولية في وجود الفورم الدهيد.

وتم توصيف أسس ماناخ المُحضَّرة باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء، وتم اختبار جميع المركبات المُحضَّرة من حيث فعاليتها المضادة للبكتيريا ضد بكتيريا باستوريا ملتوسيدا والمكورات العنقودية الذهبية. وأظهرت النتائج أن معظم المركبات فعالة بشكل كبير ضد هذه البكتيريا الممرضة [10]. كما أجريت من قبل الباحث Yoshihiko ومجموعته عملية أمينو ميثيلية انتقائية لمركبات 2,4-ثنائي هيدروكسي بنزويل في الموضع C(3) باستخدام تفاعل ماناخ مع الفورم الدهيد والأمينات الثانوية في

اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل مانيخ مع السلفاميثاكسازول وتقييم فعاليته الحيوية

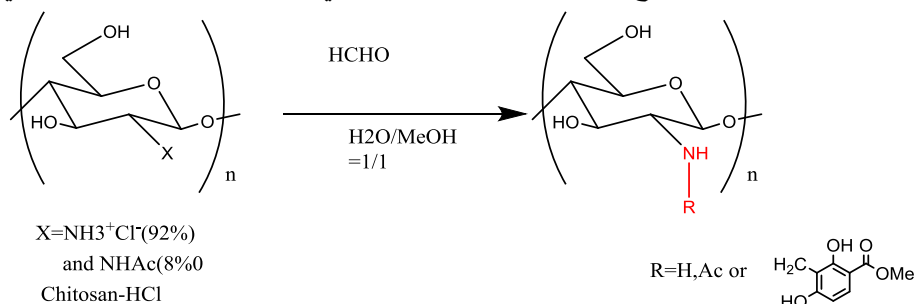
وسط من الميثانول. وفي المقابل، أدى استخدام الأمينات الأولية إلى تكوين مشتقات 3,1-بنزوكسازين عبر خطوة تحلق تلقائية وفق التفاعل التالي:



Substrate R	HCHO / equiv	Amine R ¹ R ²	Time / h	Product	Yield ^b / %
Me 1a	1.1	Et Et	1 h	2a	79
MeO 1b	1.1	Et Et	1 h	2b	76
H 1c	1.1	Et Et	0.8 h	2c	67
Me 1a	1.1	2d	0.4 h	2d	94
Me 1a	1.1	2e	0.5 h	2e	93
MeO 1b	2	n-C ₆ H ₁₃ H	0.5 h and then 3 h ^c	3f	61
MeO 1b	2	3g	1 h and then 1 h ^c	3g	66
MeO 1b	2	PhCH ₂ H	1.5 h and then 5 h ^c	3h	63
MeO 1b	4	3i	0.2 h and then 1 h ^d	3i	81

المخطط (3) : تفاعل تكاثف 4,2- ثنائي هيدروكسي بنزويل مع أمينات مختلفة بوجود الفورم ألدهيد.

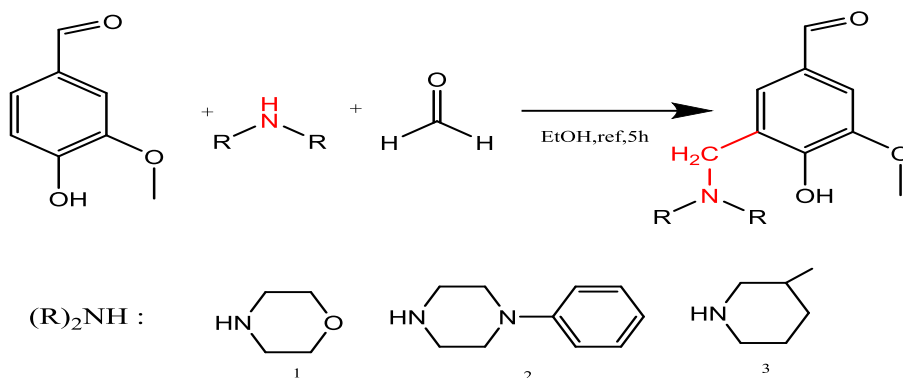
وقد استُخدمت هذه الطريقة بنجاح لإعادة تعديل بنية الكيتوزان في خطوة واحدة وفق التفاعل التالي:



المخطط (4) : تعديل الكيتوزان مع مشتقات مختلفة.

حيث أدخلت سلاسل جانبية N-بنزيل عبر سلوك مشابه للأمين الثانوي، منتجة مشتقاً جديداً يتمتع بدوائية محسنة في المذيبات العضوية. كما تم تحضير مشتقات 1,3-بنزوكسازين من تفاعل أمينات أولية متنوعة مع ريزورسينولات [11].

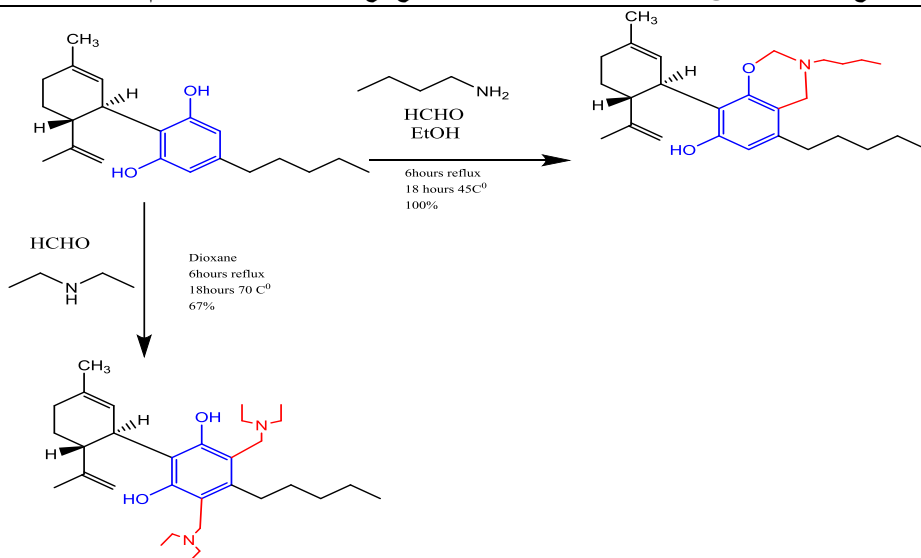
في عام 2022، تم من قبل الباحث Sinan ومجموعته تحضير جزيئات جديدة تحوي جزء أساس ماناخ الفينولية وتقييم فعاليتها كمثبطات لأنزيمي ألفا-غليكوسيداز وأستيل كولين إستراز. حيث حُضِرَت ألدهيدات فينولية (1-3) من الفانيلين عبر تفاعل ماناخ، وهيدرازيدات كربوكسيلية، ثم خمسة عشر مشتق قاعدة شيف، أظهرت المركبات نشاطاً تثبيطياً قوياً لكلا الإنزيمين [12].



المخطط (5): اصطناع أساس ماناخ مشتق من الفانيلين

في عام 2023، تم من قبل الباحث Szőke وفريقه تحضير ثلاثة مشتقات جديدة من الكانابينويدات عبر تفاعلات ماناخ على الحلقة العطرية وهي طريقة غير مسبقة لتعديل الكانابينويدات، وتم تقييم تأثيرها الوقائي على خلايا عضلة القلب تحت الإجهاد التأكسدي ونقص التروية مقارنة بالمركب الأصلي [13].

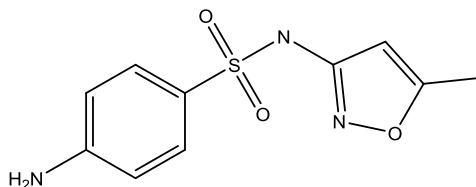
اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل ماناخ مع السلفاميثاكسازول وتقييم فعاليته الحيوية



المخطط (6) : تفاعل تكاثف الكانبيدول مع امينات مختلفة بوجود الفورم ألدهيد.

يعد السلفاميثاكسازول (N,1-(5-ميثيل-3-إيزوكسازوليل) سلفانيلاميد) واحد من أدوية السلفا التي تم اكتشافها في عام 1968. يُستخدم كمضاد حيوي ضد البكتيريا موجبة الجرام وسالبة الجرام [14]، يوجد على شكل مسحوق بلوري أبيض إلى أبيض مصفر قليلاً، عديم الرائحة تقريباً، تبلغ نقطة انصهاره هي 167°C⁰ درجة مئوية، و تشير قيمة معامل الانقسام logP البالغة 0.89 إلى أنه مركب محب للماء [15]،

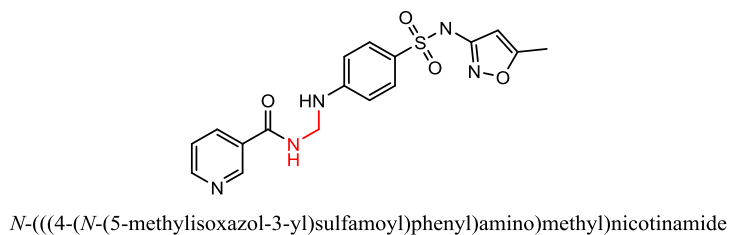
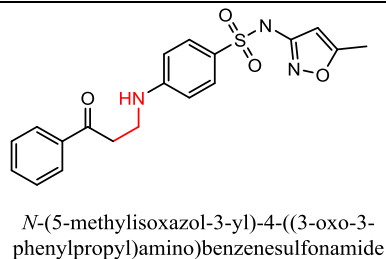
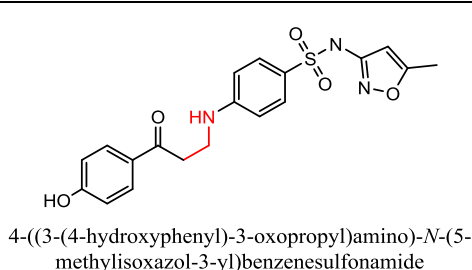
وأشارت التقارير العلمية إلى أن السلفوناميدات المدرجة في قواعد ماناخ أظهرت فعالية ملحوظة كعوامل مضادة للبكتيريا، وكانت أقل سمية من السلفوناميد الأصلي [16].



4-amino-N-(5-methylisoxazol-3-yl) benzene sulfonamide

(Sulfamethoxazole)

الشكل (1): الصيغة البنائية للسلفاميثاكسازول.



الشكل (2): بعض مشتقات مانيج للسلفاميثا كسازول [15][16].

2- هدف وأهمية البحث:

تتميز مشتقات الريزورسينول المحضرة وفق تفاعل مانيج بأهمية علمية، نظراً لكونها تمثل فئة مركبات تجمع بين الخصائص المميزة للهيكل الفينولي المضاد للأكسدة والمضاد للميكروبات، مع الوظيفة الأمينية التي يضيفها جزء أساس مانيج. تُظهر هذه المشتقات عادةً تحسناً ملحوظاً في النشاط الحيوي والاستقرار الدوائي مقارنة بمركباتها الأصلية. انطلاقاً من هذه الأهمية يهدف هذا البحث إلى:

1- اصطناع مشتق أميني جديد للريزورسينول من خلال تفاعله مع سلفاميثا كسازول وفق تفاعل مانيج.

2- اثبات هوية الناتج باستخدام مطيافية الرنين النووي المغناطيسي البروتوني $^1\text{H NMR}$ والكربوني $^{13}\text{C NMR}$ ، ومطيافية الأشعة تحت الحمراء IR.

3- دراسة الفعالية الحيوية للمشتق المحضر على نوعين من الجراثيم إيجابية الغرام، وسلبية الغرام.

3- القسم العملي:

3-1- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل مانيخ مع السلفاميثا كسازول وتقييم فعاليته الحيوية

• جهاز طيف الطنين النووي المغناطيسي بروتوني نموذج 400Hz من شركة Bruker السويسرية.
• جهاز طيف الامتصاص الضوئي ما تحت الأحمر نموذج FT-IR 4100 من شركة Jasco في كلية العلوم جامعة دمشق
• صفائح كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة من الألمنيوم مطلية بالسليكا جيل F₆₀254 قياس 20×20 من شركة Merck الألمانية

• ميزان حساس من النوع Sartorius BL-210S الألماني
• سخان مزود بمحرك مغناطيسي Agimatic P-Selecta 243 الصيني

- مجموعة من الأدوات الزجاجية المختلفة.
- حاضنة Heratherm الأمريكية
- أطباق بيتري معقمة قطر 9mm مع وسط الآغار المغذي.
- ماسحة زجاجية معقمة .
- موقد تعقيم باللهب .
- ماسحة زجاجية معقمة .
- ماصات الكترونية معقمة .
- أطباق مأكوني مع عزلات من جراثيم إيجابية الغرام (*Staphylococcus Aureus*)، وسلبية الغرام الإيشريشيا القولونية (*E.Coli*).

3-2- المواد الكيميائية المستخدمة:

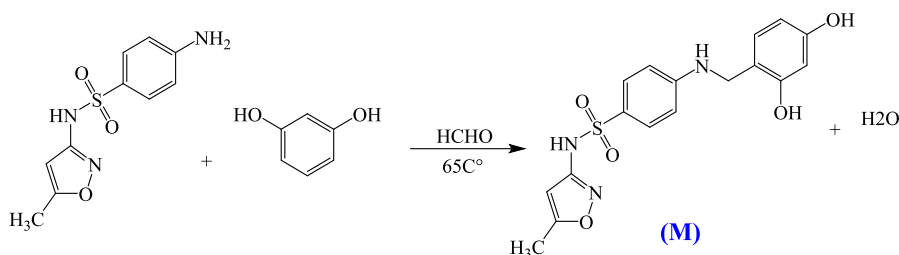
ريزورسينول نقي شركة Rajasthan الهندية ، سلفاميثا كسازول نقي من شركة Telangana الهندية، الفورمالين 36.5% انتاج شركة eurolab البريطانية، مذيبيات عضوية (ميثانول 99.9%، إيثانول 99.9% ثنائي ميثيل سلفوكسيد 99.9%) من أنتاج شركة Sigma Aldrich ماء مقطر .

3-3- تحضير مشتق أميني للريزورسينول وفق مانيخ (M):

يُضاف إلى حوجلة مصفوفة ثنائية الفتحة سعة (100mL) مزودة بسخانة و بمحرك مغناطيسي ومبرد عكوس وحمام مائي (20mmol, 0.5g) من السلفاميثا كسازول. أُضيف إلى الحوجلة (20mmol, 1.6mL) من الفورم ألدهيد بتركيز 36.5%، يليه إضافة بضع قطرات من حمض الخل الثلجي 10% كوسيط و 20mL من الميثانول كمذيب للمواد المتفاعلة. خلط المزيج مع التحريك المستمر عند درجة حرارة 55°C لمدة ساعة.

بعد ذلك، أُضيف محلول الريزورسينول (20mmol, 0.22g) المُذاب في 10mL من الميثانول إلى المزيج السابق تدريجياً باستخدام قمع التقطير. رُفعت بعد ذلك درجة حرارة التفاعل إلى 65°C، وترك المزيج تحت الغليان المرتد مع التحريك المستمر لمدة 15 ساعة.

تم تتبع سير التفاعل باستخدام كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (TLC)، باستخدام طور متحرك مكون من ثنائي كلورو الإيثان والميثانول بنسبة (30:70) وكانت قيمة $R_f=0.89$ الشكل (2). بعد انتهاء زمن التفاعل، فصل الناتج الصلب بالترشيح، ثم نُقي بواسطة إعادة البلورة باستخدام الإيثانول. أمكن الحصول على المنتج النهائي على شكل راسب بلوري بلون أحمر الشكل (3) ودرجة انصهار $m.p=250C^0$ و بلغ مردود التفاعل 60% .



المخطط (7): تفاعل اصطناع المشتق M وفق مانيج.



الشكل (2): كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة للمركب (M) ($R_f=0.89$) الشكل (3): المركب (M)

3-4- دراسة الفعالية المضادة للجراثيم للمشتق (M):

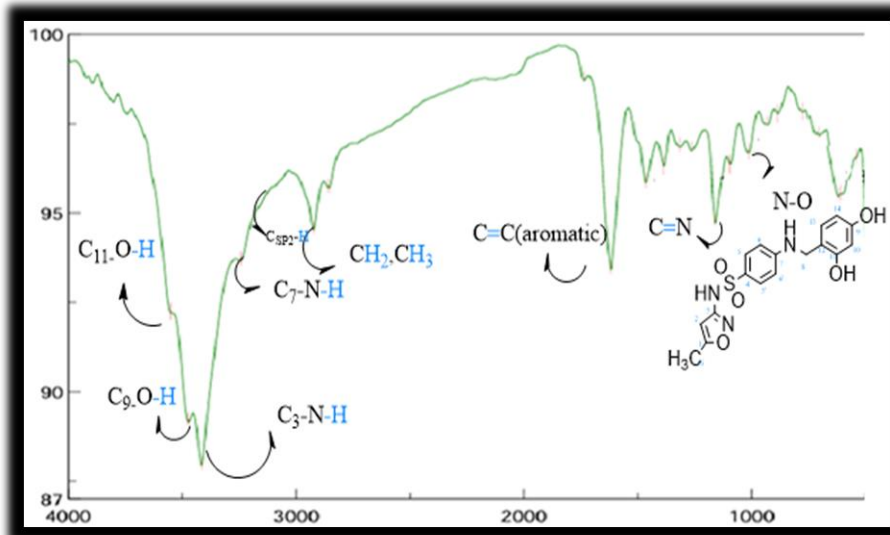
اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل مانيخ مع السلفاميثا كسازول وتقييم فعاليته الحيوية

تم دراسة الفعالية الحيوية للمشتق المحضر (M) والمواد المقارنة باستخدام طريقة الحفر بالأغار في كلية الصيدلة في جامعة حمص ، حُضرت التراكيز المطلوبة بإذابة المواد في المذيب ثنائي ميثيل سلفوكسيد (DMSO) للحصول على تراكيز (50 µg/mL) (100 µg/mL) لكل من: المشتق الجديد (M) (العينات 4 و 5)، والمادة الأولية الريزورسينول (العينات 1 و 6)، والسلفاميثا كسازول (العينات 2 و 3). ووضعت في أطباق بيتري (Petri Dishes) الحاوية على وسط الآغار المغذي بسلالتين معياريتين من الجراثيم: الأولى إيجابية الغرام من نوع (*Staphylococcus aureus*)، والثانية سلبية الغرام من نوع (*Escherichia coli*). أُحدثت حفر في الوسط المزروع باستخدام أسطوانات معدنية من الستانلس ستيل بقطر (8mm)، ثم وُزعت العينات المحلولة داخل الحفر بدقة. نُقلت الأطباق بعد ذلك إلى الحاضنة بدرجة حرارة ثابتة تتراوح بين (36-37°C) ولمدة (36) ساعة. تم قياس أقطار هالات التثبيط المتشكلة حول الحفر وسُجلت النتائج بالمليمتر.

4-النتائج والمناقشة:

4-1- دراسة بنية المنتج M باستخدام مطيافية (FT-IR):

يبين طيف الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) للمشتق المُحضر الشكل (4) ظهور عصابة مميزة لمجموعة الميثيلين الجسرية (CH_2) في المجال $2856\text{--}2923\text{cm}^{-1}$ أي نجاح حدوث تفاعل مانيخ وتشكل الجسر الرابط بين مكونات التفاعل. كما يظهر امتصاص مجموعات الهيدروكسيل الفينولية (O-H) عند العدد الموجي 3552cm^{-1} و 3471cm^{-1} في حين ظهرت عصابات امتصاص قوية لمجموعة السلفوناميد (S=O) عند 1313cm^{-1} و 1159cm^{-1} ، بالإضافة لامتصاصات أخرى موضحة بالجدول(1).



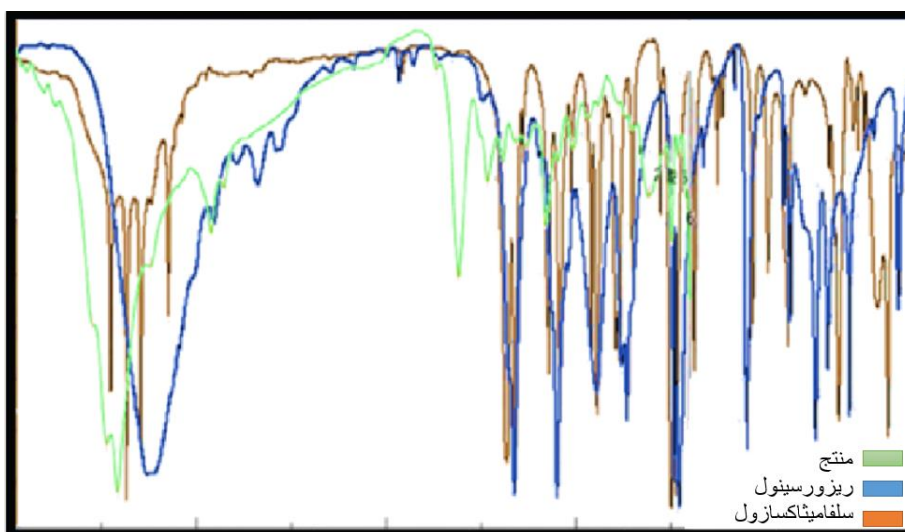
الشكل(4): طيف الأشعة تحت الحمراء للناتج M

الجدول(1): قيم امتصاص طيف IR للمنتج

الزمرة	العدد الموجي للزمر الوظيفية $\nu(\text{Cm}^{-1})$
-O-H	3471- 3552
$\text{C}_3\text{-N-H}$	3414
$\text{C}_7\text{-N-H}$	3243.68
CH_2, CH_3	2923.56-2856.06
$\text{C}=\text{C}$	1464 - 1617
SO_2	1156 symmetric 1313 Asymmetric

الشكل(5): مقارنة أطياف الأشعة تحت الحمراء للمنتج وللمواد المتفاعلة.

ومن خلال مقارنة بيانات طيف المركب الناتج مع بيانات المواد الأولية (الريزورسينول، سلفاميثا كسازول) لوحظ اختفاء عصابة امتصاص مجموعة الأمين (NH_2) التي تظهر عند العدد الموجي $3373\text{--}3498\text{cm}^{-1}$ ، وانزياح عصابات امتصاص الزمر الهيدروكسيلية نحو الأعداد الموجية الأكبر. ويوضح الجدول (2) عصابات امتصاص أهم الزمر المميزة لكل من المنتج، والمواد المتفاعلة.



الجدول(2): عصابات امتصاص الزمر المميزة في طيف IR للمنتج M وللمواد المتفاعلة.

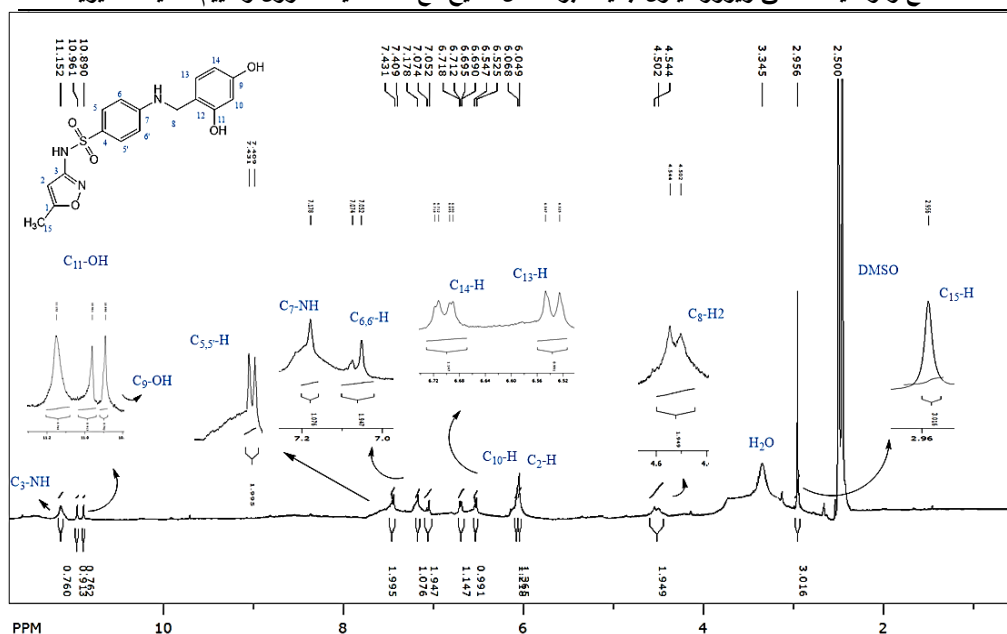
الزمرة	$-\text{O}-\text{H}$	$\text{C}_{\text{sp}^2}-\text{H}$	$\text{C}=\text{C}$	NH_2	NH	CH_2
الريزورسينول	$3266\text{--}3231$	3078	$1608\text{--}1489$	–	–	–
سلفاميثا كسازول	–	3150	$1504\text{--}1597$	$3373\text{--}3498$ stretch 1622 bend	3300	–

2924- 2856	3414	-	1465- 1617	3080	3471- 3552	المنتج
---------------	------	---	---------------	------	---------------	--------

4-2- دراسة بنية المنتج M باستخدام مطيافية الرنين النووي المغناطيسي البروتوني:

يظهر الشكل (6) طيف الرنين النووي المغناطيسي البروتوني للمنتج M باستخدام DMSO- d_6 كمذيب. وفيه نلاحظ وجود إشارة بروتونية عند الانزياح الكيميائي (2.5ppm) وهي تعود للمذيب المستخدم (DMSO). كما يظهر إشارة (d) عند الانزياح الكيميائي (4.5ppm) وهي تعود لزمرة الميثيلين الجسرية الناتجة عن تفاعل مانينغ وقد ظهرت ثنائية بسبب ظاهرة التزاوج التوأمي $J^2 = 16.8 \text{ Hz}$ ، إضافة إلى إشارة (S) CH_3 والتي ظهرت عند (2.96ppm)، وتعود الإشارات الواقعة في المجال (-6.049 إلى 7.43ppm) إلى بروتونات الحلقات العطرية، أما الإشارات (S) عند (10.89, 10.56 ppm) فهي تعود إلى بروتونات الهيدروكسيل الفينولية، بينما يعود الامتصاص (S) عند (11.152 ppm) لبروتون الأمين الثانوي (NH) المكون نتيجة التفاعل. ويوضح الجدول (3) جميع قيم انزياحات الإشارات ودلالاتها.

اصطناع وتوصيف مشتق ريزورسينول جديد عبر تفاعل مانيخ مع السلفاميثا كسازول وتقييم فعاليته الحيوية



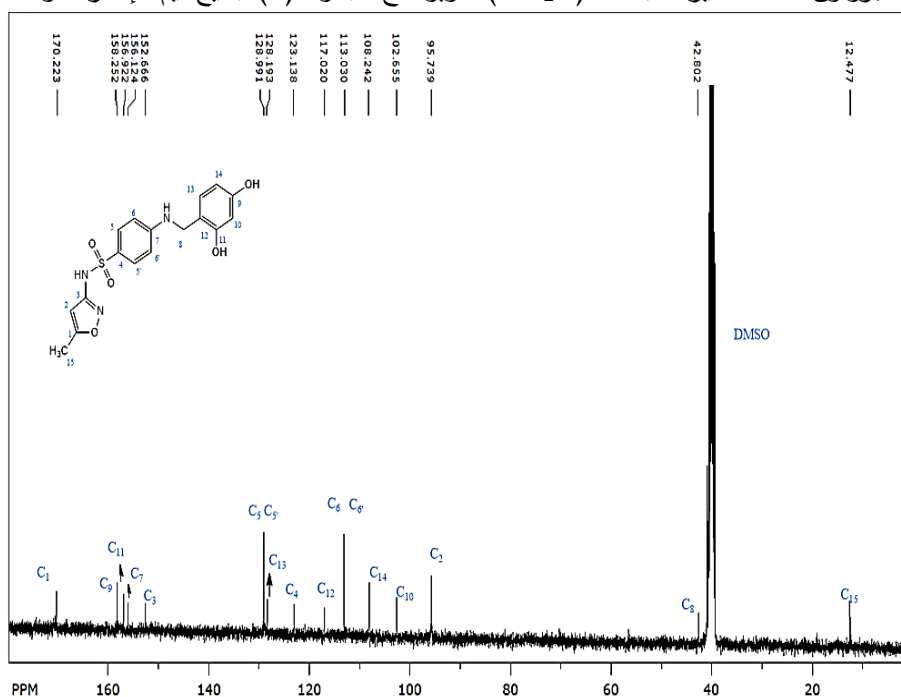
الشكل(6): طيف الطنين النووي المغناطيسي البروتوني للمنتج M.

الجدول (3): قيم انزياحات قمم طيف النووي المغناطيسي البروتوني

الانزياح الكيميائي ppm	No	الانزياح الكيميائي ppm	No
6.704ppm(dd,1H, $J^3=8.8$ Hz, $J^4=2.4$ Hz)	C ₁₄ -H	11.152ppm(S, 1H)	C ₃ -NH
6.536ppm(d,2H, $J^3=8.8$ Hz)	C ₁₃ -H	10.961ppm(S,1H)	C ₉ -OH
6.608ppm(S,1H)	C ₁₀ -H	10.890ppm(S,1H)	C ₁₁ -OH
6.049ppm(S,1H)	C ₂ -H	7.42ppm(d,2H, $J^3=8.8$ Hz)	C _{5,5'} -H
4.523ppm(d,2H, $J^2=16.8$ Hz)	C ₈ -H	7.178ppm(S,1H)	C ₇ -NH
2.956ppm(S,3H)	C ₁₅ -H	7.063ppm(d,2H, $J^3=8.8$ Hz)	C _{6,6'} -H

4-3 - دراسة بنية المنتج M باستخدام مطيافية (^{13}C NMR):

يظهر الشكل (7) طيف الرنين النووي المغناطيسي الكربوني للمنتج M باستخدام $\text{d}_6\text{-DMSO}$ كمذيب. وفيه نلاحظ 15 إشارة عائدة لذرات الكربون وهو ما يطابق عدد ذرات الكربون الموجودة في صيغة المنتج، حيث نلاحظ الإشارة الظاهرة عند قيمة الانزياح (42.802ppm) العائدة لزمرة الميثيلين (CH_2) الناتجة عن تفاعل ماننيخ، وتعود الإشارة (12.477ppm) لزمرة الميثيل (CH_3) و (95.74ppm) فتعود لبروتون الحلقة الغير متجانسة ($\text{C}_{\text{SP}^2}\text{H}$) ، ويوضح الجدول (4) جميع قيم الإشارات ودلالاتها.



الشكل (7): طيف الطنين النووي المغناطيسي الكربوني للمنتج M

الجدول (4): قيم انزياحات قمم طيف النووي المغناطيسي الكربوني.

الانزياح الكيميائي PPM	NO	الانزياح الكيميائي PPM	NO
117.020	C ₁₂	170.223	C ₁
113.030	C _{6,6'}	158.252	C ₉
108.242	C ₁₄	156.922	C ₁₁
102.655	C ₁₀	156.124	C ₇
95.739	C ₂	152.666	C ₃
42.802	C ₈	128.991	C _{5,5'}
12.477	C ₁₅	128.193	C ₁₃
–	–	123.138	C ₄

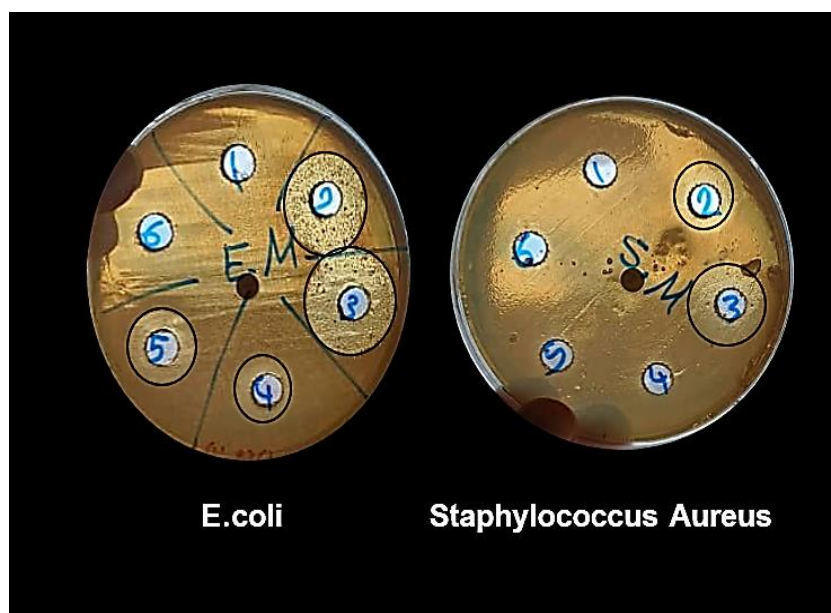
5- نتائج الفعالية الحيوية للمشتق M:

يوضح الجدول (5) والشكل (8) نتائج تقييم الفعالية المضادة للبكتيريا للمشتق المحضر (M) ومقارنتها بالمواد الأولية (الريزورسينول والسلفاميثا كسازول) عند كل من (100 µg/mL)، (50µg/mL)، بالإضافة إلى نتائج التحكم السلبي (DMSO) والإيجابي (جنتاميسين). أظهرت النتائج تبايناً واضحاً في سلوك المشتق (M) تجاه السلالتين الجرثوميتين المدروستين. فبالنسبة للجراثيم إيجابية الغرام (*Staphylococcus aureus*)، لم يُظهر المشتق (M) وكذلك المادة الأولية الريزورسينول أي هالات

تنشيط تذكر عند كلا التركيزين، في حين أبدى السلفاميثا كسازول حالة تنشيط بقطر (15mm) للتركيز المنخفض و (18mm) للتركيز المرتفع.

أما بالنسبة للجراثيم سلبية الغرام (*E. coli*)، فقد أبدى المشتق (M) فعالية تنشيطية ملحوظة ومتوسطة الشدة، حيث بلغ قطر حالة التنشيط (12mm) عند التركيز (50 µg/mL)، وارتفع إلى (17mm) عند التركيز (100 µg/mL)، مما يشير إلى وجود استجابة طردية مع زيادة التركيز. في المقابل، سجل السلفاميثا كسازول أقطار تنشيط أعلى بلغت (20mm) و (27mm) للتركيزات المذكورة على التوالي، بينما لم يُبدِ الريزورسينول أي تأثير يُذكر.

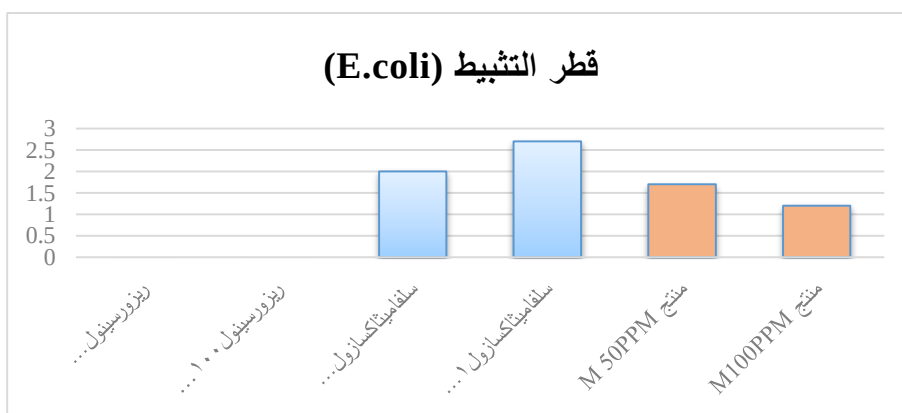
تُثبت هذه النتائج أن المشتق (M) يتمتع بفعالية تنشيطية انتقائية تجاه الجراثيم سلبية الغرام دون إيجابية الغرام.



الشكل (8): مناطق التنشيط للمركبات (منتج M، سلفاميثا كسازول، ريذورسينول) تجاه الجرثومتين (*E. coli*)، (*Staphylococcus Aureus*)

الجدول (5): قيم أقطار التثبيط للمركبات المدروسة.

قطر التثبيط للريزورسينول (mm)		قطر التثبيط للمنتج (mm)		قطر التثبيط للسلفاميثا كسازول (mm)		الجرثومة
100µg/ mL	50µg/ mL	100µg/ mL	50µg / mL	100µg/ mL	50µg/ mL	
0	0	17	12	27	20	<i>E.coli</i>
0	0	0	0	18	15	<i>S.aureus</i>



الشكل (9): رسم بياني يوضح فرق الفعالية تجاه (*E. coli*) بين المركبات المدروسة.

6- الاستنتاجات والمقترحات:

(1) تم بنجاح اصطناع مشتق جديد من الريزورسينول مع السلفاميثا كسازول وفق تفاعل مانيخ، حيث تم الحصول على مركب بلوري أحمر اللون.

- (2) أثبتت نتائج التحاليل الطيفية (^{13}C NMR، ^1H NMR، FT-IR) هوية وبنية المركب المحضّر. حيث شكل ظهور إشارة جسر الميثيلين ($-\text{CH}_2-$) في كل من طيفي الأشعة تحت الحمراء والرنين النووي المغناطيسي الدليل المباشر على نجاح تفاعل مانيج وتشكّل الرابطة الجديدة.
- (3) أظهرت البيانات الطيفية تطابقاً تاماً بين الخصائص الطيفية للمنتج والصيغة البنائية المقترحة.
- (4) أظهر المركب المحضّر فعالية انتقائية تجاه الجرثومة سلبية الغرام *E. coli* / لا أنها أقل من فعالية المادة الأولية، بينما كان غير فعال تجاه *S. aureus* موجبة الغرام في التراكيز المختبرة.

المقترحات:

- اختبار الفعالية الحيوية للمركب المحضّر كمضاد للأكسدة، نظراً لفعالية مكوناته.
- اصطناع مشتقات جديدة باستخدام فينولات أخرى أو أدوية أمينية أخرى.

7-المراجع:

- [1]. Gaitan E. Environmental goitrogenesis. CRC Press; 1989 Mar 31.
- [2]. Albuquerque BR, Heleno SA, Oliveira MB, Barros L, Ferreira IC. Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. Food & function. 2021;12(1):14-29.
- [3]. Tahir T, Ashfaq M, Saleem M, Rafiq M, Shahzad MI, Kotwica-Mojzych K, Mojzych M. Pyridine scaffolds, phenols and derivatives of azo moiety: current therapeutic perspectives. Molecules. 2021 Aug 11;26(16):4872.
- [4]. Otsubo M, Sakimoto K, Egami H, Hamashima Y. Dearomative enantio- and diastereoselective difluorination of resorcinol derivatives. Tetrahedron. 2021 Sep 10;96:132355.
- [5]. Zheng Y, Wu FE. Resorcinol derivatives from Ardisia maculosa. Journal of Asian natural products research. 2007 Sep 1;9(6):545-9.
- [6]. Romagnoli C, Baldisserotto A, Vicentini CB, Mares D, Andreotti E, Vertuani S, Manfredini S. Antidermatophytic action of resorcinol derivatives: ultrastructural evidence of the activity of phenylethyl resorcinol against Microsporum gypseum. Molecules. 2016 Sep 30;21(10):1306.

- [7]. Stasiuk M, Kozubek A. Biological activity of phenolic lipids. Cellular and Molecular life sciences. 2010 Mar;67(6):841-60.
- [8]. Tokalı FS, Taslimi P, Demircioğlu İH, Şendil K, Tuzun B, Gülçin İ. Novel phenolic Mannich base derivatives: synthesis, bioactivity, molecular docking, and ADME-Tox Studies. Journal of the Iranian Chemical Society. 2022 Feb;19(2):563-77.
- [9]. Khan MS, Husain A, Sharma S. New 4, 6-diacetyl resorcinol mannich bases: synthesis and biological evaluation. Acta Poloniae Pharmaceutica. 2010 May 1;67(3):261-6.
- [10]. Kousar F, Nosheen S, Zahra SN, Kousar S, Jahan N. Synthesis and biological activity of important phenolic Mannich bases. Asian Journal of Chemistry. 2013 Jan 1;25(1):59.
- [11]. Omura Y, Taruno Y, Irida Y, Morimoto M, Saimoto H, Shigemasa Y. Regioselective Mannich reaction of phenolic compounds and its application to the synthesis of new chitosan derivatives. Tetrahedron Letters. 2001 Oct 8;42(41):7273-5.
- [12]. Tokalı FS, Taslimi P, Demircioğlu İH, Şendil K, Tuzun B, Gülçin İ. Novel phenolic Mannich base derivatives: synthesis, bioactivity, molecular docking, and ADME-Tox Studies. Journal of the Iranian Chemical Society. 2022 Feb;19(2):563-77.
- [13]. Szőke K, Kajtár R, Gyöngyösi A, Czompa A, Fésüs A, Lőrincz EB, Petróczi FD, Herczegh P, Bak I, Borbás A, Bereczki I. Pharmacological evaluation of newly synthesized cannabidiol derivatives on H9c2 cells. Antioxidants. 2023 Sep 4;12(9):1714.
- [14]. Sager AG, Abaies JK, Katoof ZR. Design, Molecular Docking, ADMET Studies, Synthesis, Characterization, and Antimicrobial of Nicotinamide Derivatives via Mannich reaction. Iraqi Journal of Science. 2025 Mar 30:992-1009.
- [15]. Rudy BC, Senkowski BZ. Sulfamethoxazole. In Analytical profiles of drug substances 1973 Jan 1 (Vol. 2, pp. 467-486). Academic Press.
- [16]. Sager AG, Abaies JK, Issa RA. Synthesis, Characterization, Biological Activity, and Molecular Docking Study of Some New Sulfamethoxazole Derivatives. Baghdad Science Journal. 2024 Nov 1;21(11):3411-27.

دراسة الخصائص التحسسية لأفلام رقيقة من أكسيد التنغستن تجاه بخار البروبانول

¹مياده حبوس

الملخص

حُضِرَت ثلاثة أفلام رقيقة من أكسيد التنغستن (WO_3) باستخدام تقنية الترسيب الفيزيائي للبخر (Physical Vapor Deposition, PVD)، وذلك باستعمال مسحوق أكسيد التنغستن بوصفه مادة المصدر، ويسماكات بلغت (998.7، 1620، 2240) نانومتر، حيث رُسِبَت الأفلام على ركائز زجاجية ضمن شروط محددة من الضغط ودرجة الحرارة. دُرِسَت خصائص التيار-الجهد (V-I) لهذه الأفلام، كما حُسِبَت حساسيتها تجاه بخار البروبانول بتركيز 100 جزء في المليون (100ppm)، ضمن مجال من درجات الحرارة تراوح بين 50 و350 درجة مئوية. وأُجريت مقارنة بين الأفلام عند درجة حرارة تشغيل بلغت 250 درجة مئوية، وأظهرت النتائج أن الفلم ذي السماكة 1620 نانومتر سجل أعلى حساسية وأكبر استجابة تجاه بخار البروبانول. كما قورنت حساسية الفلم الرقيق ذي السماكة 1620 نانومتر، المحضّر باستخدام تقنية التبخير الحراري، مع حساسية فلم سميكة محضّر بطريقة الطلاء الكيميائي، بلغ حجم حبيباته 72.19 نانومتر، تجاه بخار البروبانول. وأظهرت المقارنة أن الفلم السميكة المحضّر بطريقة الطلاء الكيميائي، وبحجم حبيبي مقداره 72.19 نانومتر، سجل حساسية أعلى مقارنةً بالفلم الرقيق المحضّر بالتبخير الحراري.

الكلمات المفتاحية:

أكسيد التنغستن WO_3 ، بخار البروبانول، الخصائص التحسسية، الأفلام الرقيقة.

¹مشرف على الأعمال، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حمص

Studying the Sensing Properties of Thin Films Tungsten Oxide Towards Propanol Vapor

MAYADA HBOUS²

Abstract

Three thin films were prepared by PVD (Physical Vapor Deposition) starting from WO₃ powder with thicknesses (998.7, 1620, 2240nm) respectively on glass substrates under limited thermal and pressure conditions, we have studied their I-V characteristics and calculated the sensitivity for 100 ppm of propanol vapor adsorption (The temperature of the films have been changed from 50°C to 350°C). A comparison among them was achieved at 250°C as an operating degree and found that WO₃ (1620 nm) has more sensitivity and has more power to adsorb for propanol vapor on it, then we have compared sensitivity of the thin film with a thickness 1620nm which prepared by thermal evaporation with sensitivity of the thick film with a particle (72.19nm) which prepared by chemical painting towards propanol vapor, and found the sensitivity of the thick film with a particle (72.19)nm which prepared by chemical painting is the highest.

Keywords:

Tungsten Oxide WO₃, Propanol Vapor, Sensing Properties, Thin Films.

² Supervisor, Department of Physics, Faculty of Science, University Homs

1. المقدمة:

1.1. الحساسات النانوية للحالة الصلبة وتقنية النانو:

تدرس تقنية النانو الجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز حجم حبيباتها ١٠٠ نانومتر، وتتميز بدقة عالية في إنتاج هذه المواد وفي تفاعلاتها الداخلية لتوجيه هذه الجزيئات نحو الحصول على الخصائص المطلوبة.

تحتل تقنية النانو بأهمية بالغة باعتبارها من أنظف التقنيات المستخدمة في الإنتاج، مما يساهم في تقليل النفايات الصناعية والتلوث، ورفع كفاءة الصناعات الإلكترونية والزراعية والطبية ومعالجة المياه والبيئة [1][2].

تعتبر أجهزة استشعار الغاز من أفضل مخرجات تكنولوجيا النانو، وخاصة تلك المصنوعة من أكسيد المعادن [3،4]، وذلك لتمتعها بالحساسية العالية، والمرونة الكيميائية الجيدة، والتكلفة المنخفضة، والحجم الصغير، وانخفاض استهلاك الطاقة، وانخفاض حد الكشف (بضع أجزاء في المليون)، والاستقرار، بالإضافة إلى إمكانية تصنيعها للكشف عن أكثر من غاز واحد في نفس الوقت [5]، لذلك، نجد أنه من المهم دراسة أجهزة الاستشعار وخصائصها الحساسة للأبخرة العضوية، وهو أمر بالغ الأهمية في العديد من المجالات الصناعية [6].

1.2. الأفلام الرقيقة:

تُعتبر الأفلام الرقيقة من أهم التقنيات في القرن العشرين، إذ تُستخدم هذه التقنية لتحضير ودراسة المواد على المستوى الميكروي أو حتى النانوي، مع الحد من التأثيرات الناتجة عن عيوب البلورات أو المساحة السطحية الهائلة للمواد الصلبة، إلخ. إضافةً إلى ذلك، تتميز الأفلام الرقيقة بانخفاض تكلفتها، وملاءمتها للبيئة، وصغر حجمها، مما ساهم في انتشارها السريع في الصناعات الكهروضوئية والإلكترونية. ومع مرور الوقت، ازداد الاهتمام بالأفلام الرقيقة، لا سيما في مجال أشباه الموصلات، في العديد من التطبيقات التقنية والصناعية، مثل: الحماية من التآكل، والمرشحات البصرية، والطلاءات المضادة للانعكاس، والخلايا الشمسية، والطبقات المقاومة للخدش، وأجهزة الاستشعار [7].

1.3. تعريف الحساسات الغازية:

هي أجهزة استشعار تستخدم للكشف عن وجود غاز معين أو قياس تركيزه في الوسط المحيط، وذلك من خلال تحويل التفاعل بين الغاز ومادة الحساس إلى إشارة كهربائية يمكن قياسها وتحليلها. وتعد الحساسات الغازية من الأدوات المهمة في المجالات الصناعية والبيئية والطبية لأنها تساعد على رصد الغازات والابخرة بدقة وتحسين السلامة وجودة المراقبة.

1.4. مبدأ عمل أجهزة الاستشعار:

يعتمد مبدأ عمل أجهزة الاستشعار على تغير المقاومة الكهربائية لأكسيد المعدن عند تعرضه لجزيئات غاز ملوثة [8، 9]. ويحدث هذا التغير بسبب تفاعلات الامتزاز والتحلل الفيزيائية أو الكيميائية على سطح مادة الاستشعار، مما يحدث تغيراً فيزيائياً فريداً يمكن رصده من خلال سلسلة من المبادئ مثل الموصلية والاستقطاب الكهربائي، إلخ.

1.5. بارامترات أداء الحساس:

(a) الحساسية (Sensitivity): هي النسبة بين مقاومة مادة الحساس بوجود الهواء وبين مقاومة مادة الحساس بوجود الغاز أي Ra/Rg مع العلم أن كلاً من Ra و Rg لها علاقة كبيرة مع التفاعلات التي تحدث على السطح وهي نسبة مميزة لكل حساس وبالتالي كلما ازداد التغير في إشارة الخرج من أجل تغير معلوم للدخل يكون الحساس أكثر حساسية.

(b) زمن الاستجابة (Time Response): هو الزمن اللازم حتى يستجيب الحساس أي يحدث تغير في إشارة الخرج من أجل مجال محدد لإشارات الدخل وهو زمن مميز لكل حساس.

(c) زمن الاسترجاع (Time Recovery): هو الزمن اللازم لعودة إشارة الخرج إلى قيمتها الأساسية بعد إزالة الغاز.

(d) حد الكشف (LOD, limit of Detection): هو أدنى تركيز من الغاز يمكن عنده لجهاز الاستشعار ان يميز بوضوح بين الاستجابة الناتجة عن وجود الغاز وإشارة الخلفية، ضمن شروط قياس محددة.

(e) حرارة التشغيل (Temperature Operating): هي درجة الحرارة التي نحصل عندها على أكبر تغير في إشارة الخرج.

(f) عمر الحساس (Sensor Lifespan): هو أطول فترة زمنية يحافظ فيها الحساس على استقراره وحسن أداء عمله (يحافظ فيها على الحساسية، زمن الاستجابة وغيرها من البارامترات) [10].

1.6. الدراسة المرجعية:

استخدم الباحثون هذا الأكسيد في الكثير من التطبيقات الصناعية بما فيها الحساسات الغازية ففي عام 1995: أشار H.Meixner et al إلى أن أكاسيد المعادن نصف الناقلة ولاسيما أكسيد التتغستين تكون ناجحة عند تصنيعها كحساسات غازية وذلك لسهولة تصنيعها كأغشية رقيقة بعدة طرائق [11,29].

وفي عام 2008: قام S. Vallejos et al بتحضير أغشية من أكسيد التتغستين وذلك بالترسيب بواسطة Interruptions By Rf Sputtering على ركائز من السليكون، وسمحت طريقة الترسيب المهبطي ذات التقطعات المتعددة بنقصان حجم الحبيبة في أغشية WO_3 المحضرة، وتبين أن حساسية الأغشية WO_3 المحضرة بالترسيب بثلاثة انقطاعات بوجود الغازات المؤكسدة أعلى من حساسية الأغشية المحضرة بدون انقطاعات [12,28].

في عام 2010: أشار Deliang Chen et al إلى استخدامات الحساسات الغازية المصنعة من أكاسيد المعادن نصف الناقلة في الصناعة وفي تطبيقات متعلقة بالبيئة لذلك استخدموا أكسيد التتغستين كصفائح نانوية ذات بعد ثنائي في صناعة الحساسات الخاصة بالكحول وتوصلوا إلى أن هذه الحساسات هي حساسة للغاية للكحولات في مجال درجات الحرارة من $260^{\circ}C$ وحتى $360^{\circ}C$ وكانت قيم الحساسية حوالي 70 من أجل 200ppm من الإيثانول، وحوالي 75 من أجل 200ppm إيزوبروبانول وحوالي 33 من أجل 300ppm ميثانول، وكانت أزمنة الاستجابة والاسترجاع أقل من 15s من أجل كل أنواع الكحول المجربة وأشاروا إلى وجود علاقة خطية بين استجابة الصفائح النانوية من أكسيد التتغستين وتركيز الكحول في حين أن الحبيبات النانوية من أكسيد التتغستين لم تُبد هذه العلاقة [13,30].

في عام 2019 : قام كل من Agarwal & Agarwal و Sachdeva بإجراء مقارنة بين أغشية رقيقة من أكسيد التتغستين وأكاسيد أخرى للكشف عن الأسيتون، وأظهرت النتائج ان الخصائص التحسسية تتأثر بنوع الغشاء ودرجة حرارة التشغيل [14].

في عام 2022: درس Singh و Yadav و Gupta تأثير الابعاد النانوية لأكسيد التنغستن على كفاءة التحسس وتبين أن البنى منخفضة الأبعاد تعطي حساسية أفضل [15].
في عام 2022 قام Jebur بتصنيع حساس غازي من أغشية رقيقة من أكسيد التنغستن النانوية واختبارها في تطبيقات مصافي النفط تجاه بعض الغازات السامة وتبين إنها تمتلك حساسية جيدة وأداء واعد في مجال التحسس الغازي [16].

2. هدف البحث:

يهدف البحث بشكل مباشر إلى:

* دراسة تأثير السماكة على الخصائص الكهربائية والتحسسية لأفلام WO₃ الرقيقة المحضرة بتقنية PVD.

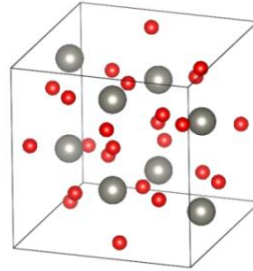
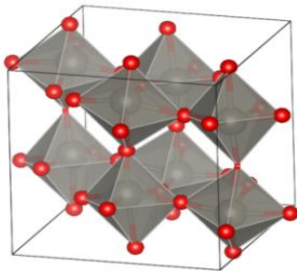
* المقارنة المعيارية بين نمطين من الحساسات: الأفلام الرقيقة (المحضرة بالتبخير الحراري) والأفلام السميكة النانوية (المحضرة بالطلاء الكيميائي) لتحديد البنية الأفضل أداءً تجاه اتجار البروبانول.

3. المواد والأجهزة المستخدمة وطرائق البحث:

3.1. المواد المستخدمة:

—أكسيد التنغستن (WO₃):

أكسيد التنغستن مادة صفراء وهو ثابت لا يتفكك بالحرارة كما لا يتفاعل مع الحموض إلا بصعوبة غير أنه ينحل جيداً في القلويات مشكلاً التنغستات [17].



الشكل (1): البنية البلورية لأكسيد التنغستين.

تتميز الأغشية الرقيقة من أكسيد التنغستين (WO_3) بخصائص فيزيائية وكيميائية مميزة، مما جعلها مناسبة للعديد من التطبيقات، ولا سيما استخدامها محفزات في تفاعلات الأكسدة والاختزال، وفي الأجهزة الضوئية وأجهزة استشعار الغازات. وقد أظهرت أجهزة الاستشعار المعتمدة على أكسيد التنغستين كفاءة في الكشف عن عدد من الغازات، من أبرزها ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) والأمونيا (NH_3) وكبريتيد الهيدروجين (H_2S). وقد حظيت أغشية أكسيد التنغستين باهتمام بحثي واسع في مجال استشعار الغازات، ويُعزى ذلك بصورة أساسية إلى عاملين مهمين:

1. القدرة على الكشف عن الغازات: تتميز أجهزة الاستشعار الغازية بإمكانية الكشف عن المركبات والغازات الموجودة في الوسط المحيط، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات المراقبة والكشف عن الملوثات الغازية.
2. تأثير الخصائص الفيزيائية والكيميائية بظروف التحضير: تتأثر خصائص أغشية أكسيد التنغستين الرقيقة بالبنية البلورية والمورفولوجية للفيلم، والتي ترتبط بصورة مباشرة بظروف تحضيره، الأمر الذي ينعكس على خصائصه الكهربائية واستجابته للغازات [18].

وبوجه عام، ترتبط الخصائص التحسسية لمركب أكسيد التنغستين (WO_3) بطبيعته البنيوية والكيميائية، ومن أهم العوامل المؤثرة فيها:

1. يمتلك مركب WO_3 بنيةً بلورية مميزة تُصنّف ضمن بني الأكاسيد ذات الصيغة العامة ABO_3 ، مع بقاء الموقع A شاغراً.
2. يُعد WO_3 من الأكاسيد القابلة لفقد الأكسجين من بنيتها البلورية، مما يؤدي إلى تكوّن عيوب وفجوات أكسجينية ترتبط بخصائصه الكهربائية والتحسسية [19].

-البرويانول (C_3H_7OH):

مركب هيدروكربوني ينتمي إلى الكحوليات غير قابل للامتزاج بالماء له الصيغة الكيميائية C_3H_7OH يُستخدم البروبانول كمادة مذيبي في الصناعات الدوائية ويُستخدم كوقود لكونه أقل ضرراً بالبيئة عن البنزين [20,21].

الجدول (1): الصفات الفيزيائية للغاز الهدف.

نقطة الغليان	نقطة الانصهار	الكثافة	الكتلة الجزيئية	الصيغة
97.98°C (760mmHg)	-126°C	0.803g/cm ³ (T=25°C)	60.01g/mol	C ₃ H ₇ OH

3.2. الأجهزة المستخدمة:

-جهاز طحن بالكرات عالية الطاقة HEBM:



الشكل (2): إحدى نماذج مطاحن الكرات عالية الطاقة (HEBM) المطحنة الكواكبية متغيرة السرعة.

-جهاز القياسات الكهربائية (المنحنيات المميزة تيار-جهد):

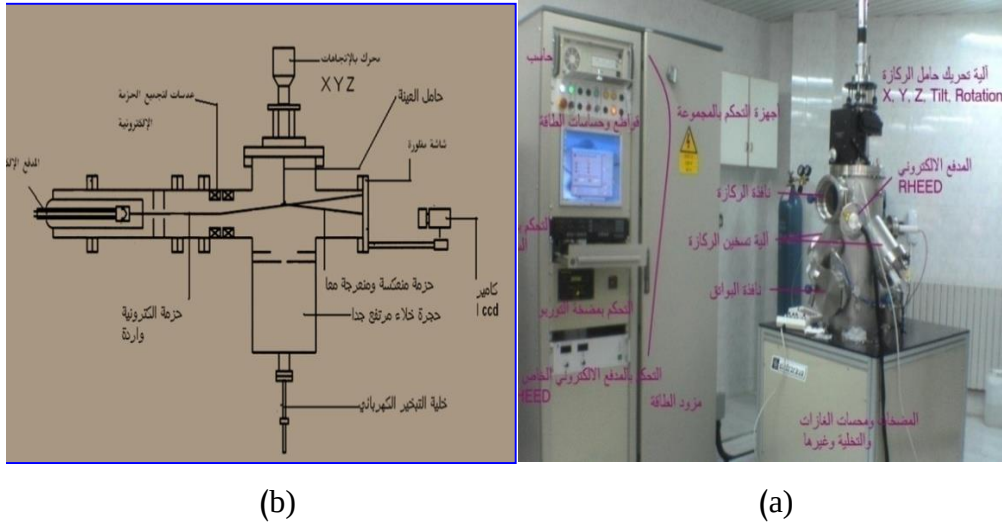


الشكل (3): صورة عامة لجهاز قياس المنحنيات المميزة (I-V) .

الجدول (2) بارامترات جهاز KEITHLEY 237 المطبقة عند دراسة المميزات تيار-جهد.

Start Value (V) =	-100
Stop Value (V) =	+100
Steps Count =	20
Current Limit (A) =	0.1
Time Interval (ms) =	500
Bias (v) =	0

-جهاز الترسيب الحراري (Thermal Deposition):



الشكل (4): (a) صورة لجهاز الترسيب الحراري، (b) مخطط تفصيلي لجهاز الترسيب الحراري.

3.3. تحضير الأفلام الرقيقة بتقنية الترسيب الفيزيائي للبخر (PVD):

تم تحضير ثلاثة أنواع من الأفلام الرقيقة بتقنية الترسيب الفيزيائي للبخر (PVD) (شركة إلتروفا، إيطاليا) الموجود بهيئة الطاقة الذرية بدمشق بسماكات 1620، 998.7، و2240 نانومتر على التوالي وهي السماكات الفعلية للعينات التي تم تحضيرها. ولتحقيق ذلك، وُضعت ركيزة زجاجية نظيفة في مكانها المخصص داخل الجهاز، ثم فُرغت الحجرة من الهواء إلى ضغط 5×10^{-4} ملي بار، ثم بُخِّرَت المادة للحصول على السماكة المطلوبة. يوضح الجدول 1 السماكات وشروط التحضير.

الجدول (3): شروط تحضير الأفلام الرقيقة (1620، 998.7، 2240 نانومتر)

معدل التبخير	الضغط داخل الحجرة	حرارة الفلم أثناء التبخير	طريقة الترسيب	المادة المصدر
32 A°/sec	4-10×5 mbar	400°C	تبخير حراري	بودرة أكسيد (التتغستن)

اخترنا معدل تبخر 32 درجة مئوية/ثانية كسرعة مناسبة، ودرجة حرارة 400 درجة مئوية للركيزة المراد ترسيبها، وذلك لتجنب أي عوامل أخرى قد تُسبب مشاكل في الأفلام المُحضرة.

3.4. تحضير مساحيق أكسيد التتغستن النانوية:

حُضِرَت المساحيق النانوية الخاصة بالحساسات الغازية باستخدام طرائق متعددة، متضمنة أسلوب التغطية الهلامي والترسيب الكيميائي المختلط والتفكك المعدني العضوي، بالإضافة لهذه الطرائق يُعتبر الطحن بالكرات عالية الطاقة أحد أهم الطرائق الفعالة في تحضير المواد بالأبعاد النانوية المستخدمة في تطبيقات الحساسات الغازية. وفي دراستنا هذه تم تحضير المساحيق النانوية باستخدام مطحنة الكرات عالية الطاقة التي تعتمد على مبدأ تنشيط التفاعلات الصلبة ميكانيكياً حيث من المتوقع أن يتغير البعد الوسطي للحجم البلوري والحبيبي لمساحيق المواد بشكل ملحوظ خلال الطحن. وفي دراستنا تم تحضير المساحيق النانوية باستخدام مطحنة الكرات عالية الطاقة. حيث طُحنت مساحيق أكسيد التتغستن (WO_3) بواسطة نظام (Activator 2S، روسيا) لمدة تتراوح من ساعة إلى 18 ساعة، بزيادة قدرها 3 ساعات بين كل طحن [22] كما تم استخدام جهاز انعراج الشع السينية (XRD) للتأكد من تغير البنية البلورية للمساحيق المحضرة خلال عملية الطحن كما تم حساب الحجم الحبيبي باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM).

الجدول (4): شروط عمل مطحنة الكرات عالية الطاقة.

سرعة القرص [rpm]	سرعة الحجرة [rpm]	أقطار كرات الطحن [mm]	حجم الحجرة [ml]	نسبة وزن الكرات إلى المسحوق	نوع مادة الحجرة والكرات	المادة الأولية
640	320	10	80	1:20	كربيد التتغستن	WO_3 ,

3.5. تحضير الأفلام السميكة من مسحوق أكسيد التتغستن النانوي:

تم تحضير هذه الأفلام باستخدام طريقة الطلاء الكيميائي، والتي مراحلها على النحو التالي:
أولاً- تنظيف الركائز الزجاجية:

قبل تحضير الأغشية من مساحيق الأكاسيد المعدنية المستخدمة يجب تحضير الركائز وتنظيفها. تُقسّم إجراءات التنظيف إلى: تنظيف حامضي، تنظيف قلوي، والتنظيف الجاف. حيث يتضمن كل من التنظيف الحمضي والقلوي تنظيفاً سائلاً مع ملاحظة إن إزالة الجزيئات الملوثة قد تقوم في نفس الوقت بتنشيط سطحي، أما التنظيف الجاف فله تأثير كبير في إزالة الملوث دون تنشيط للسطوح.

تم تنظيف الشرائح الزجاجية المستخدمة في هذه الدراسة على النحو التالي:

- (a) وضع الشرائح الزجاجية في جهاز الأمواج فوق الصوتية في محلول منظف عادي.
- (b) وضع الشرائح الزجاجية في محلول 1M HCL لمدة 15 دقيقة.
- (c) نقل الشرائح إلى حوض فيه ماء نقي للشطف وإزالة آثار الحمض المتعلقة به لمدة 20 دقيقة.
- (d) تجفيف الشرائح الزجاجية بوساطة ورق تنشيف خاص بغية عدم ترك أي آثار للغبار على الشريحة. [23].

ثانياً- تثبيت الأقطاب الكهربائية:

بعد الانتهاء من تنظيف الركائز نقوم بتثبيت الأقطاب الكهربائية المخصصة لإجراء القياسات الكهربائية ويتم ذلك بخلط معجون الفضة مع اللاصق المرفق به ووضعه على الركيزة بعد ذلك نضع القطب الكهربائي فوقه (وهو سلك رفيع من معدن الفضة والنحاس) ونحاول تثبيته يدوياً، بعد الانتهاء من تثبيته نضع الركائز المثبت عليها بالإلكترودات على سخان بدرجة حرارة 25°C لمدة ساعتين، بعد ذلك نتركهم في الهواء الجوي لمدة يومين حتى تثبتت الإلكترودات بشكل جيد على الركائز [23].

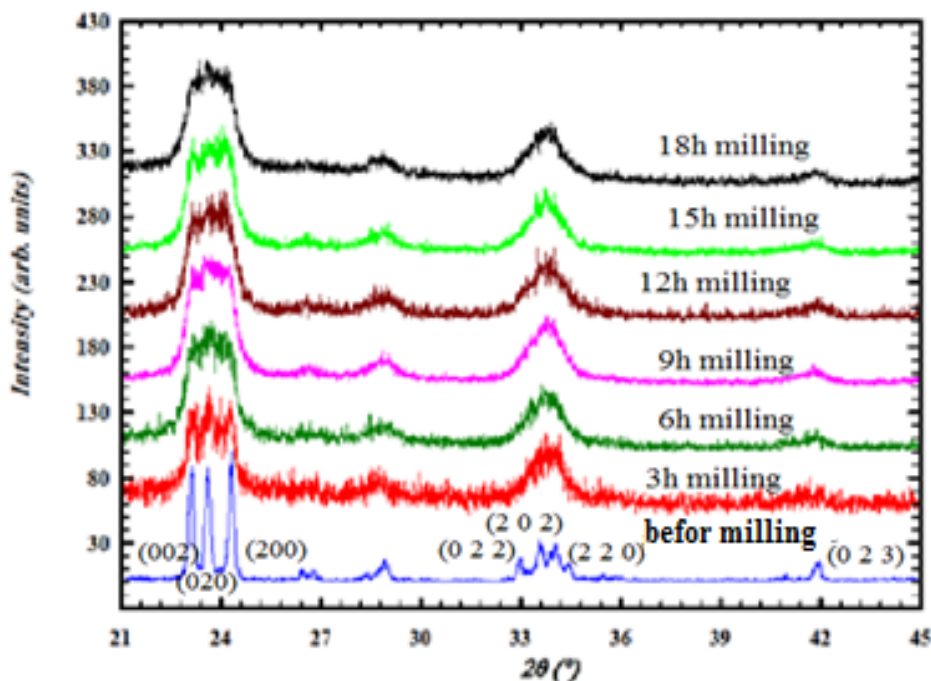
ثالثاً- الطلاء الكيميائي:

بعد تثبيت الإلكترودات على الركائز نقوم بتنظيفها بالإيثانول ثم بالماء المقطر ثم نجففها بورق تنشيف خاص بعد ذلك تم مزج مساحيق الأكاسيد المعدنية (غير المطحونة والمطحونة) بالماء المقطر لتشكيل عجينة منها ثم نقوم بعد ذلك بطليها على الركائز المسخنة من 20°C وحتى 30°C ثم نتركها في الهواء الجوي لليوم الثاني حتى تجف ومن ثم يتم استخدامها في الدارات الكهربائية الموجودة ضمن الحجرة الغازية الشكل (3) [23].

4. نتائج البحث ومناقشتها:

4.1. الدراسة البنيوية لأكسيد التنغستن المطحون لفترات من (1-18h):

دُرست البنية البلورية لمساحيق الأكاسيد المعدنية المستخدمة باستخدام مطيافية انعراج الأشعة السينية STOE transmission Stadi-P diffractometer وسُجلت أطياف الانعراج للمساحيق بخطوة قياس 0.02° وخطوة الكاشف نصف درجة كل 60 ثانية والمجال الزاوي (2θ) من 10° إلى 90° .



الشكل (5): أطياف انعراج الأشعة السينية على مساحيق أكسيد التتغستين قبل الطحن وبعده .

نلاحظ من أطياف انعراج الأشعة السينية الشكل (5) وقبل عملية الطحن وجود قمم براغ عالية الشدة دالة على الأبعاد الميكروية لمساحيق أكسيد التتغستين ولُوحظ بعد عملية الطحن انخفاض في شدة قمم براغ وزيادة مستمرة في عرض هذه القمم Full Width at Half maximum (FWHM) مع استمرار عملية الطحن، كما لُوحظ أن مواقع القمم في أطياف الانعراج لم تتغير ولم تظهر قمم جديدة ولم تغب إلا القمم ذات الشدات المنخفضة أصلاً وهذا يدل على أن البنية البلورية لمسحوق أكسيد التتغستين لم تتغير وإنما ينخفض البعد الوسطي لحجم بلوراته بسرعة في الساعات الأولى من الطحن ثم يصبح هذا

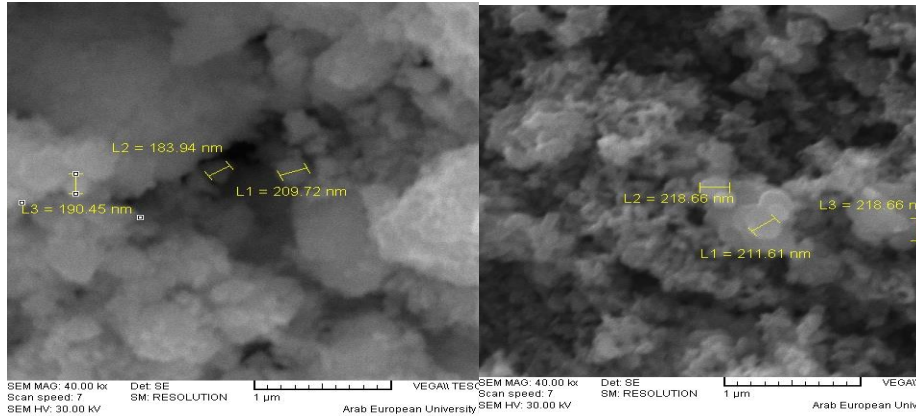
الانخفاض بطيئاً جداً وبعدها تحدث زيادة في البعد الوسطي للحجم البلوري وتبقى المساحيق على هذه الحالة رغم استمرار عملية الطحن .

4.2. الدراسة المورفولوجية للمساحيق النانوية:

- صور المجهر الإلكتروني الماسح SEM لمساحيق أكسيد التنغستن:

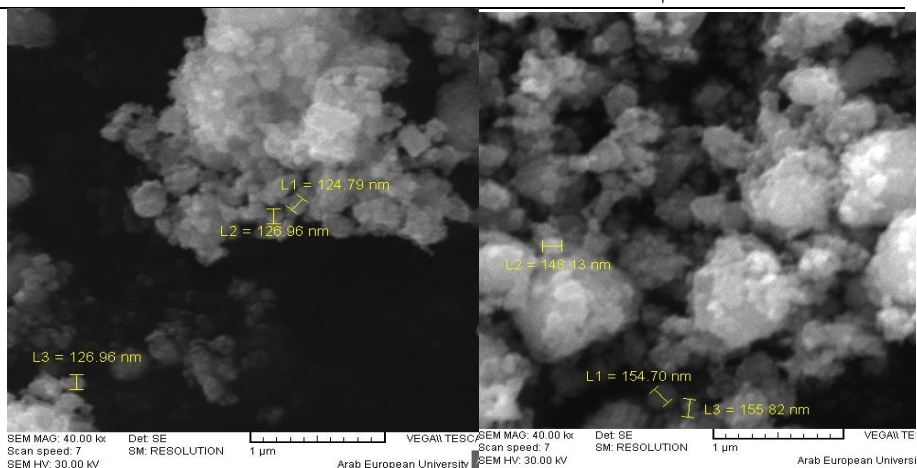
تم استخدام المجهر الإلكتروني الماسح الذي يمكن من خلاله معرفة المظهر العام لأسطح المواد (ناعم، خشن، متجانس، غير متجانس) وكذلك البعد الوسطي للحجم الحبيبي كما يمكن باستخدام التقانة السابقة معرفة سماكة الأغشية (لأنه يأخذ مقطعاً عرضياً لها) كما يمكن معرفة نوع العناصر الداخلة في التركيب الكيميائي للمركبات وذلك من خلال التقانة الملحقة به وهي EDX والتي تعني مطيافية أشعة السينية

ذات الطاقة المتبددة Energy dispersive X-Ray



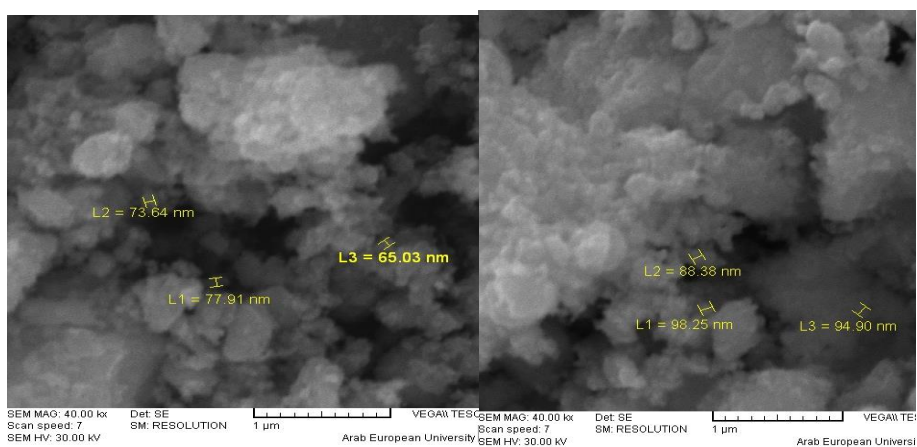
من الطحن 3h

قبل الطحن.



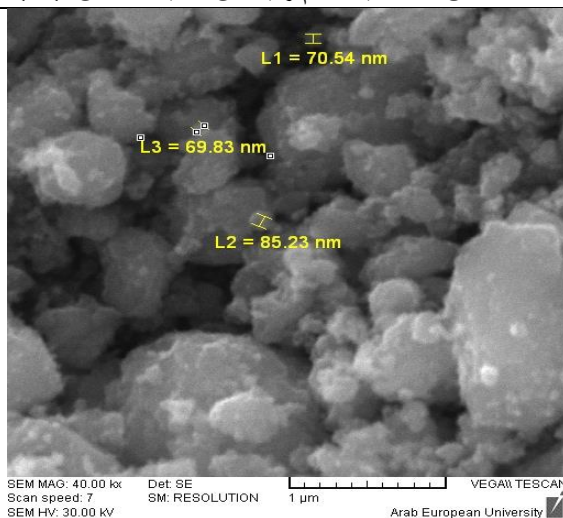
من الطحن.9h

من الطحن.6h



من الطحن.15h

من الطحن.12h



من الطحن. 18h بعد

الشكل (6): صور ميكروية بالمجهر الإلكتروني الماسح لمساحيق WO₃ خلال مراحل الطحن المتعددة.

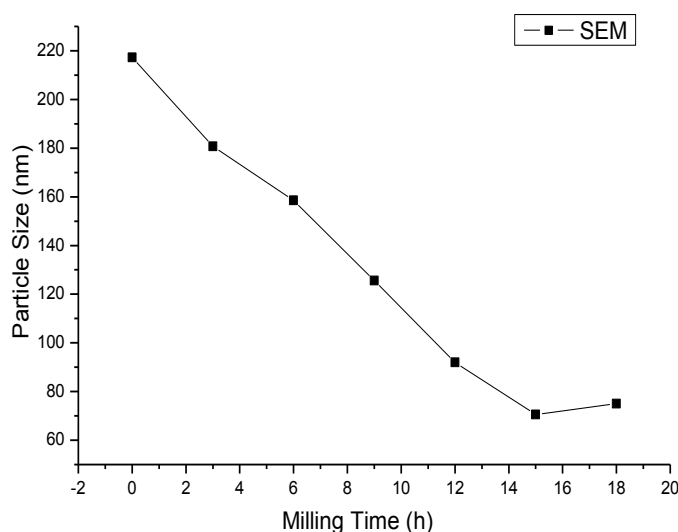
من الصور نستنتج قيم البعد الوسطي للحجم الحبيبي لمساحيق WO₃ قبل الطحن وخلال كل مراحل الطحن والنتائج في الجدول (5).

الجدول (5): قيم البعد الوسطي لحجم حبيبات مساحيق WO₃.

المركب	البعد الوسطي للحجم الحبيبي باستخدام SEM D[nm]
WO ₃ -0h	216.31
WO ₃ -3h	194.7
WO ₃ -6h	152.88
WO ₃ -9h	126.23

93.84	WO ₃ -12h
72.19	WO ₃ -15h
75.2	WO ₃ -18h

ويرسم العلاقة بين قيم البعد الوسطي للحجم الحبيبي لمساحيق أكسيد التنغستن والمسجلة باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح وزمن الطحن نحصل على الشكل (7).



الشكل (7): تغير البعد الوسطي للحجم الحبيبي لمساحيق WO₃ كتابع لزمن الطحن .

نلاحظ من الشكل (7) التناقص التدريجي للبعد الوسطي للحجم الحبيبي مع زيادة فترة الطحن حتى الزمن 15h ثم يزداد البعد الوسطي لحجم الحبيبات مع زيادة فترة الطحن ويمكن تفسير ذلك بالتكسير المباشر لهذه لحبيبات بسبب تعرضها لإجهادات وضغوط وقوى قص تؤثر في مناطق الضعف الموجودة في البنية الحبيبية فتستجيب الحبيبات في بداية الطحن وتتفكك إلى حبيبات أكثر نعومة مترافقة مع سطوحاً مشحونة كهربائياً بشكل متعاكس وعند الوصول إلى أبعاد نانوية محددة تصبح القوة الكهربائية بين الحبيبات النانوية أكبر من قوى ثقلها وبسبب قابلية المواد إلى التشكل تتجمع هذه الحبيبات مع

بعضها وتتشكل حبيبات أكبر من سابقتها فنراها بالمجهر الإلكتروني الماسح وكأنها حبيبة واحدة وبالتالي يُلاحظ أن البعد الحبيبي يزداد مع الطحن حتى أبعاد نانوية محددة .

4.3. دراسة الخصائص التحسسية للأفلام المُحضرة:

أُجريت القياسات الكهربائية داخل حجرة يمكن ضبط ضغطها، مصنعة محلياً (GS-Chal-L16-F3) يمكن التحكم بنوع وكمية الغاز الداخل إليها، تم ربط المزدوجة الحرارية (المستخدمة لتسخين حوامل الأفلام) إلى حوامل الأفلام للتحكم ومراقبة عملية التسخين خلال عمليات القياس، تم قياس مقاومات الأفلام بطريقة المحسبين، حيث تم التحقق من السلوك الأومي للاتصال الكهربائي من خلال دراسة خصائص التيار - جهد ($I-V$)، تم مراقبة قياسات المقاومة الكهربائية للأفلام المحضرة بوجود الهواء الطبيعي فقط ب (R_{air}) أو بوجود نسبة محددة من الغاز المدروس مع الهواء حيث يرمز للمقاومة ب (R_{gas}) ، وسجلت نتائج القياس وحفظت إلكترونياً. خضعت جميع الأفلام المُحضرة من مسحوق أكسيد التنغستن لنفس ظروف ومعاملات القياس الكهربائية المطبقة على جهاز KEITHLEY 237 وذلك بوجود بخار البروبانول وهي موضحة في الجدول (4).

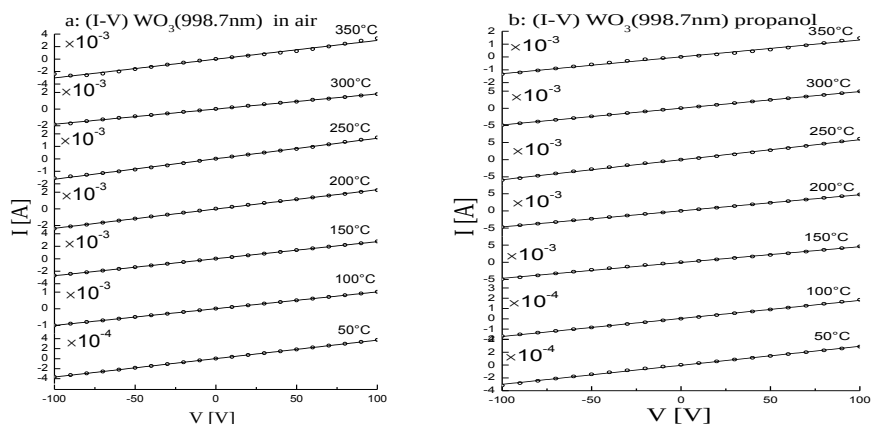
الجدول (6): بارامترات جهاز KEITHLEY 237 المطبقة عند دراسة المميزات تيار-جهد

Start Value (V) =	-100
Stop Value (V) =	+100
Steps Count =	20
Current Limit (A) =	0.1
Time Interval (ms) =	500
Bias (v) =	0

وقد استخدمت هذه الطريقة سابقاً من قبل آخرين لدراسة تحسس الكثير من المواد ذات البنى النانوية للرطوبة والغازات وأبخرة المواد العضوية [24،25].

تمت دراسة الخصائص $IV-V$ لكل فلم محضر في الهواء وفي 100 جزء في المليون من بخار البروبانول عند درجات حرارة مختلفة (50-350 درجة مئوية) كما يلي:

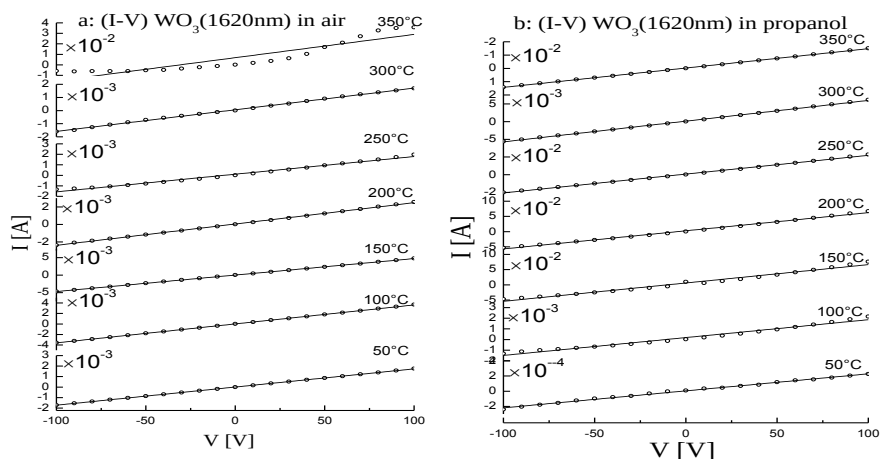
4.3. الخصائص التحسسية لفلم رقيق من WO_3 سماكته 998.7 نانومتر:



الشكل 8. تغير مميزات التيار-الجهد لفلم رقيق من WO_3 (998.7 نانومتر)

أ: في الهواء، ب: بوجود 100ppm بروبانول

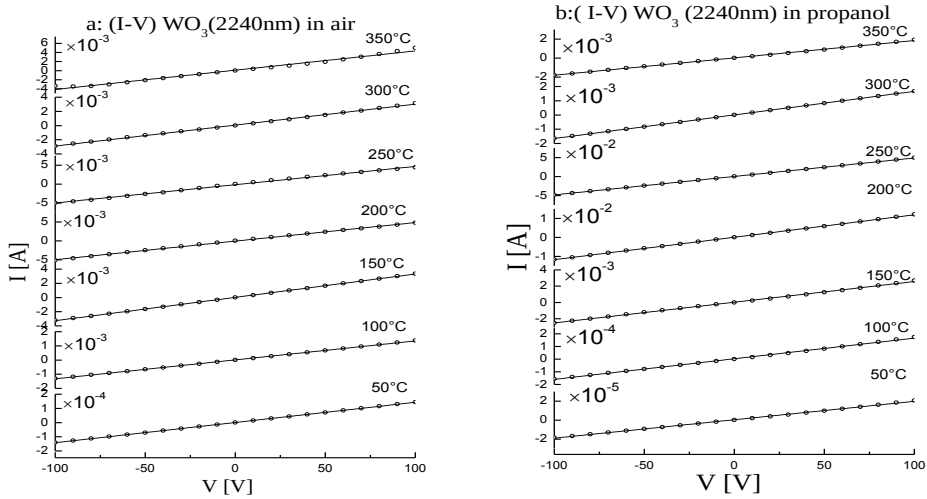
44. الخصائص التحسسية لفلم رقيق من WO_3 سماكته 1620 نانومتر:



الشكل 9. تغير مميزات التيار-الجهد لفلم رقيق من WO₃ (1620 نانومتر)

أ: في الهواء، ب: بوجود 100ppm بروبانول

4.5. الخصائص التحسسية لفلم رقيق من WO₃ سماكته 2240 نانومتر:



الشكل 10. تغير مميزات التيار-الجهد لفلم رقيق من WO₃ (2240 نانومتر)

أ: في الهواء، ب: بوجود 100ppm بروبانول

نلاحظ من الأشكال السابقة أن جميع الأفلام الرقيقة تتأثر بتغير درجات الحرارة المطبقة أثناء القياسات، ولها مقاومة أومية، حيث تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة التيار من ميكرو أمبير عند 50 درجة مئوية إلى بضعة أجزاء من الملي أمبير عند 350 درجة مئوية، ومن هذه الأشكال يمكننا حساب المقاومة في الهواء وفي بخار البروبانول في الجداول (5، 6، 7) على النحو التالي:

مع ملاحظة أن القيم الواردة في الجداول تمثل متوسط القياسات التي تم الحصول عليها خلال دورتي التسخين من 50 درجة مئوية إلى 350 درجة مئوية وبالعكس.

الجدول 7: قيم المقاومة للفلم (998.7nm) WO₃ في الهواء وفي 100ppm من بخار البروبانول

T[°C]	50	100	150	200	250	300	350
R _{air} [Ω]	2.71E+05	9.94E+04	3.66E+04	4.32E+04	6.09E+04	5.49E+04	3.29E+04
R _{gas} [Ω]	2.93E+07	4.88E+06	9.89E+05	4.91E+05	4.42E+05	2.58E+05	2.49E+05

الجدول 8: قيم المقاومة للفلم (1620nm) WO₃ في الهواء وفي 100ppm من بخار البروبانول

T[°C]	50	100	150	200	250	300	350
R _{air} [Ω]	5.78E+04	2.77E+04	2.12E+04	4.10E+04	5.89E+04	6.06E+04	3.82E+03
R _{gas} [Ω]	4.41E+06	2.61E+05	1.28E+05	5.52E+04	3.41E+04	2.94E+04	4.20E+03

الجدول 9: قيم المقاومة للفلم (2240nm) WO₃ في الهواء وفي 100ppm من بخار البروبانول

T[°C]	50	100	150	200	250	300	350
R _{air} [Ω]	7.02E+05	7.48E+04	3.04E+04	2.04E+04	2.06E+04	3.38E+04	2.33E+04
R _{gas} [Ω]	4.98E+07	1.16E+06	2.11E+05	4.53E+04	1.80E+04	2.01E+04	3.38E+04

4.6. حساب حساسية أفلام أكسيد التنغستن اتجاه بخار البروبانول:

نحسب حساسية الفلم الرقيق من أكسيد التنغستن (WO₃) لبخار البروبانول من المعادلة التالية:

$$S = \frac{R_{air}}{R_{gas}} \times 100 \quad [13,26,]$$

إن: R_{air}: مقاومة الفلم الرقيق في الهواء (Ω)

R_{gas}: مقاومة الفلم الرقيق في البروبانول (Ω)

S: الحساسية (%).

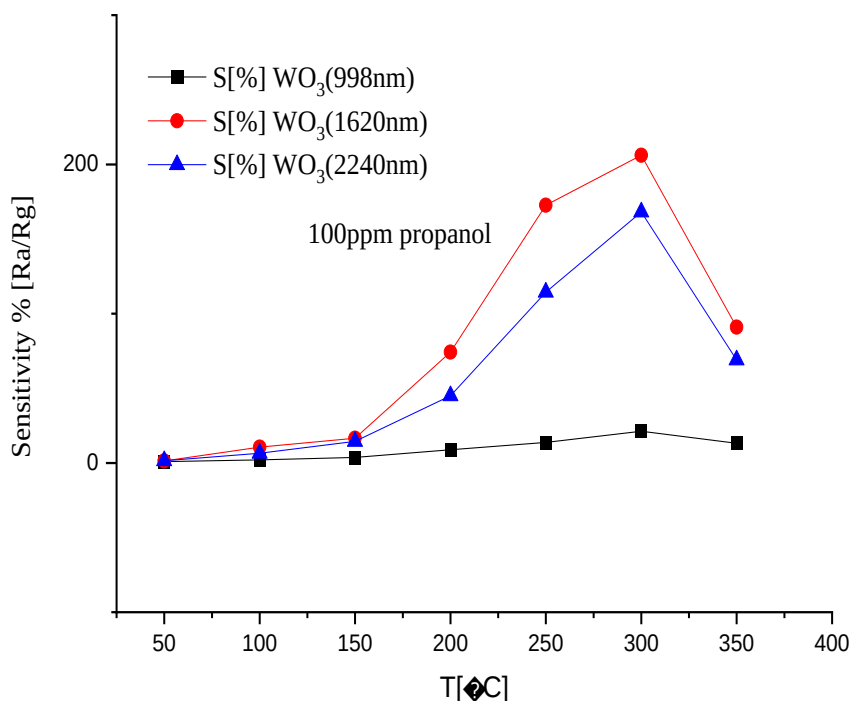
الجدول (10): قيم الحساسية للأفلام الرقيقة WO₃ بوجود بخار C₃H₇OH مع تغيرات T.

T[°C]	S[%]WO ₃ (998.7nm)	S[%]WO ₃ (1620nm)	S[%]WO ₃ (2240nm)
-------	-------------------------------	------------------------------	------------------------------

دراسة الخصائص التحسسية لأفلام رقيقة من أكسيد التنغستن تجاه بخار البروبانول

50	0.92	1.31	1.41
100	2.04	10.61	6.44
150	3.70	16.52	14.41
200	8.80	74.28	45.03
250	13.78	172.73	114.44
300	21.28	206.12	168.16
350	13.22	90.95	68.93

عندما قمنا برسم الحساسية كتابع لدرجة الحرارة لثلاثة أفلام رقيقة (998.7، 1620، 2240 نانومتر) على النحو التالي الشكل (11).

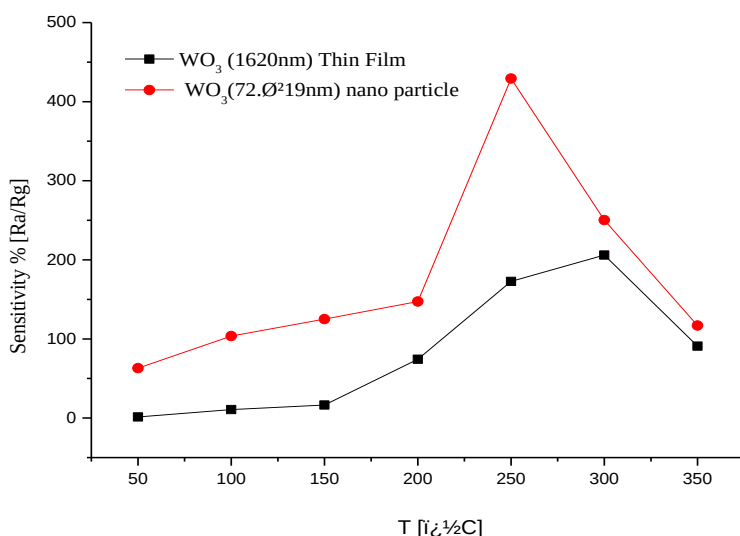


الشكل 11. تغير الحساسية لأفلام رقيقة من WO₃ بوجود 100ppm من بخار البروبانول كتابع لدرجة الحرارة

نلاحظ أن حساسية فلم WO₃ الرقيق بسمك 1620 نانومتر تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة لتصل إلى قيمة عالية تبلغ 206% عند 300 درجة مئوية، ثم تنخفض مع زيادة درجة الحرارة. لذا، يمكننا القول إن 300 درجة مئوية هي درجة حرارة التشغيل المثلى لهذا الفلم. وينطبق الأمر نفسه على فلم WO₃ الرقيق بسمك 2240 نانومتر وفلم WO₃ الرقيق بسمك 998.7 نانومتر. وجدنا أن فلم WO₃ الرقيق بسمك 1620 نانومتر يتمتع بحساسية عالية، حيث يلعب كل من السمك والعيوب دورًا كبيرًا في الحساسية. لذا، نجد أن هناك المزيد من العيوب على السطح عند 1620 نانومتر، وتقل هذه العيوب بزيادة السمك إلى 2240 نانومتر [27,28].

4.7. مقارنة الخصائص التحسسية لمادة أكسيد التنتستين المحضرة كأفلام رقيقة مع الأفلام المحضرة كأفلام سميكة نانوية:

في دراسة سابقة [20]، قمنا بتحضير أفلام سميكة من مسحوق أكسيد التنتستين النانوي باستخدام طريقة الطلاء الكيميائي. درست خصائص الحساسية تجاه بخار البروبانول، وأظهرت النتائج أن الفلم ذو حجم الجسيمات الأصغر (72.19 نانومتر) يتمتع بحساسية أكبر تجاه بخار البروبانول. لذا، قورنت حساسية هذا الفلم بحساسية فلم رقيق (1620 نانومتر)، والنتائج موضحة في الشكل (12).



الشكل (12). مقارنة حساسية فلم WO₃ (1620 نانومتر) مع فلم WO₃ (72.19 نانومتر) كدالة لدرجات الحرارة المطبقة

نلاحظ من الشكل السابق أن طبقة WO₃ (72.19 نانومتر) أكثر حساسية من طبقة WO₃ (1620 نانومتر). ويعزى ازدياد حساسية طبقة WO₃ ذات الحجم 72.19 نانومتر لبخار البروبانول، مقارنةً بسمك طبقة WO₃ (1620 نانومتر)، إلى الخصائص البنيوية المميزة للمادة النانوية، ولا سيما مساحة سطحها النوعية الكبيرة ونسبة مساحة السطح إلى الحجم العالية. تؤدي هذه الخصائص إلى زيادة عدد المواقع النشطة المتاحة لامتصاص جزيئات الأكسجين والبروبانول، مما يعزز التفاعل السطحي ويحدث تغييراً أكبر في المقاومة الكهربائية للمستشعر.

بالإضافة إلى ذلك، تتميز البنية النانوية عادةً بمسامية أعلى وعدد أكبر من حدود الحبيبات، مما يسهل انتشار جزيئات الغاز داخل طبقة الاستشعار ويحسن كفاءة تفاعل الغاز مع السطح. في المقابل، تكون الأفلام الرقيقة عادةً أكثر كثافة وأقل مسامية، مما يحد من عدد المواقع النشطة ويؤدي إلى استجابة أقل. لذلك، يُمكن تفسير الاستجابة الفاتقة للمستشعر ذي البنية النانوية لبخار البروبانول كنتيجة مباشرة لتأثيرات البنية النانوية على الامتزاز، ونقل الشحنة، ونفاذية الغاز داخل مادة الاستشعار.

5. الاستنتاجات:

1. تم تحضير ثلاثة أفلام رقيقة من أكسيد التنغستن بتقنية الترسيب الفيزيائي للبخار وبسماكات 998.7 و 1620 و 2240 نانومتر، ودُرست خصائصها الكهربائية والتحسسية تجاه بخار البروبانول بتركيز 100 ppm ضمن مجال درجات حرارة تراوح بين 50 و 350 °م.
2. أظهرت قياسات التيار-الجهد أن الأفلام المحضرة تمتلك سلوكاً أومياً، كما انخفضت مقاومتها الكهربائية بصورة عامة مع ارتفاع درجة الحرارة، مما يؤكد تأثير الخصائص الكهربائية للأفلام بدرجة الحرارة وبوجود بخار البروبانول.
3. أظهرت النتائج أن الحساسية تعتمد بصورة واضحة على سماكة الفيلم ودرجة حرارة التشغيل. وقد حقق الفيلم ذي السماكة 1620 نانومتر أعلى حساسية تجاه بخار البروبانول، إذ بلغت الحساسية العظمى 206.12% عند درجة حرارة 300 °م، ولذلك اعتُبرت هذه الدرجة درجة التشغيل المثلى لهذا الفيلم.

4. لم تستمر الحساسية في الازدياد مع ارتفاع درجة الحرارة إلى ما بعد درجة التشغيل المثلى، بل انخفضت عند 350 °م. ويمكن ربط ذلك بتغير توازن عمليات امتزاز جزيئات البروبانول وتفاعلها مع سطح الفيلم وعمليات إزالة الامتزاز عند درجات الحرارة المرتفعة.
5. أظهرت المقارنة بين الأفلام الرقيقة أن الفيلم ذي السماكة 1620 نانومتر يمتلك أفضل استجابة ضمن الأفلام الرقيقة المدروسة، وهو ما يشير إلى أن السماكة والبنية السطحية للفيلم تؤثران بصورة مباشرة في عدد المواقع الفعالة المتاحة لتفاعل الغاز مع سطح مادة الاستشعار.
6. عند مقارنة الفيلم الرقيق WO_3 ذي السماكة 1620 نانومتر بالفيلم السميك النانوي ذي حجم الحبيبات 72.19 نانومتر، أظهر الفيلم النانوي حساسية أعلى تجاه بخار البروبانول. ويمكن تفسير ذلك بزيادة المساحة السطحية النوعية وارتفاع نسبة مساحة السطح إلى الحجم، إضافة إلى زيادة عدد المواقع النشطة وحدود الحبيبات التي تسهم في تعزيز تفاعل جزيئات البروبانول مع سطح مادة الاستشعار.
7. بناءً على النتائج المحصلة، يتضح أن تقليل أبعاد مادة WO_3 إلى المجال النانوي يمكن أن يعزز خصائص التحسس تجاه بخار البروبانول، في حين أن اختيار السماكة ودرجة حرارة التشغيل المناسبين يمثلان عاملين مهمين في تحسين أداء الفيلم الحساس.

6. مقترحات البحث:

1. إجراء دراسات لاحقة على حساسات أكسيد التنغستن اتجاه غازات وأبخرة عضوية أخرى.
2. إجراء مقارنة لإداء الحساسات عند تراكيز مختلفة من بخار البروبانول.
3. دراسة تأثير سماكة الفلم على الحساسية وزمن الإستجابة.
4. يُقترح مقارنة أكسيد التنغستن بمواد نانوية أخرى.

7. قائمة المصادر والمراجع والملاحق:

- [1] الإسكندراني، محمد شريف. (2010). تكنولوجيا النانو: من أجل غدٍ أفضل. المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب.
- [2] Kim, G.-S., Lee, Y. J., Kim, D.-G., & Kim, Y.-D. (2008). Consolidation behavior of Mo powder fabricated from milled Mo oxide by hydrogen-reduction. Journal of Alloys and Compounds, 454(1–2), 327–330. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2006.12.039> □ ◆

- [3] Kim, D.-G., Min, K. H., Chang, S.-Y., Oh, S.-T., Lee, B.-H., & Kim, Y.-D. (2005). Effect of pre-reduced Cu particles on hydrogen-reduction of W-oxide in WO₃ –CuO powder mixtures. Materials Science and Engineering: A, 399(1–2), 326–331. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.04.010> □ ◆
- [4] Ramana, C. V., Utsunomiya, S., Ewing, R. C., Julien, C. M., & Becker, U. (2006). Structural stability and phase transitions in WO₃ thin films. The Journal of Physical Chemistry B, 110(21), 10430–10435. <https://doi.org/10.1021/jp056664i> □ ◆
- [5] Miller, T. A., Bakrania, S. D., Perez, C., & Wooldridge, M. S. (2006). Nanostructured tin dioxide materials for gas sensor applications. In K. E. Geckeler & E. Rosenberg (Eds.), Functional nanomaterials (pp. 453–476). American Scientific Publishers.
- [6] Saloum, S., & Alkhaled, B. (2010). Growth rate and sensing properties of plasma deposited silicon organic thin films from hexamethyldisilazane compound. Acta Physica Polonica A, 117(3), 484–489. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.117.484> □ ◆
- [7] I Blaszczyk-Lezak, I. K., Wrobel, A. M., Aoki, T., Nakanishi, Y., Kucinska, I., & Tracz, A. (2006). Remote nitrogen microwave plasma chemical vapor deposition from a tetramethyldisilazane precursor. 1. Growth mechanism, structure, and surface morphology of silicon carbonitride films. Thin Solid Films, 497(1–2), 24–34.
- [8] Wang, C., Yin, L., Zhang, L., Xiang, D., & Gao, R. (2010). Metal oxide gas sensors: Sensitivity and influencing factors. Sensors, 10(3), 2088–2106. <https://doi.org/10.3390/s100302088> □ ◆
- [9] Lee, G.-H., & Kang, S. (2006). Sintering of nano-sized WC–Co powders produced by a gas reduction-carburization process. Journal of Alloys and Compounds, 419(1–2), 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.09.060> □ ◆
- [10] Huang, J., & Wan, Q. (2009). Gas sensors based on semiconducting metal oxide one-dimensional nanostructures. Sensors, 9(12), 9903–9924. <https://doi.org/10.3390/s91209903>
- [11] Meixner, H., Gerblinger, J., Lampe, U., & Fleischer, M. (1995). Thin-film gas sensors based on semiconducting metal oxides. Sensors and Actuators B: Chemical, 23(2–3), 119–125.
- [12] Vallejos, S., Khatko, V., Calderer, J., Gracia, I., Cané, C., Llobet, E., & Correig, X. (2008). Micro-machined WO₃ -based sensors selective to oxidizing Gases, Sensors and Actuators B132. 209–215

- [13] Chen, D., Hou, X., Wen, H., Wang, Y., Wang, H., Li, X., Zhang, R., Lu, H., Xu, H., Guan, S., Sun, J., & Gao, L. (2010). The enhanced alcohol-sensing response of ultrathin WO_3 nanoplates. *Nanotechnology*, 21(3), 035501.
- [14] Sachdeva, S., Agarwal, A., & Agarwal, R. (2019). A comparative study of gas sensing properties of tungsten oxide, tin oxide and tin-doped tungsten oxide thin films for acetone gas detection. *Journal of Electronic Materials*, 48, 1617–1628.
<https://doi.org/10.1007/s11664-018-06881-1>
- [15] Yadav, A., Singh, P., & Gupta, G. (2022). Dimension dependency of tungsten oxide for efficient gas sensing. *Environmental Science: Nano*, 9, 40–60. <https://doi.org/10.1039/D1EN00872B>
- [16] Jebur, K. H. (2022). Fabrication of a gas sensor from thin films of tungsten oxide nanoparticles and their use in oil refineries. *Journal of Petroleum Research and Studies*, 12(1), 226–241
- [17] دكلر، هنري، وبيرقدار، هيام. (1971). الكيمياء اللاعضوية: الجزء الثاني لطلاب شهادة الكيمياء اللاعضوية. مطبعة محمد هاشم الكتبي.
- [18] M. Gillet, A. Al-Mohammad, C. Lemire; 2002- **Microstructural analysis of WO_3 thin films on alumina substrates**, *Thin Solid Films* 410. pp94–199.
- [19] Al Mohammad, A. (2009b). Synthesis, separation and electrical properties of $WO_3 -x$ nanopowders via partial pressure high energy ball-milling. *Acta Physica Polonica A*, 116(2), 240–244.
- [20] عبد الله، ع. هـ. (دون تاريخ). الكيمياء الفيزيائية. الجامعة الأمريكية في بيروت، دار الراتب الجامعية
- [21] مؤسسة أعمال الموسوعة للنشر والتوزيع. (1999). الموسوعة العربية العالمية (الطبعة الثانية، 30 مجلدًا). مؤسسة أعمال الموسوعة للنشر والتوزيع
- [22] SHERIF M, 2001- **Mechanical Alloying For Fabrication Of Advanced Engineering Materials**, Noyes publications william andrew publishing Norwich, New York, U.S.A, pp254.
- [23] Hbous, M.(2015).preparing films from nano metals oxids powders and studing their properties as sensors for gases which pollute environment.doctoral dissertation, homs university.158
- [24] Strandwitz, N., Fornash, S., & Li, H. (2003). Nano-scale gas/vapor sensor. NNUN REU Program at Pennsylvania State Nanofabrication Facility, USA, 68–69.
- [25] Khoshnevis, S., Dariani, R. S., Azim-Araghi, M. E., Bayindir, Z., & Robbie, K. (2006). Observation of oxygen gas effect on porous

- silicon-based sensors. *Thin Solid Films*, 515(4), 2650–2654. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.05.044> 
- [26] Wang, K. Kalyanasundaram, M. Stanacevic, and P. Gouma; 2010-**Nanosensor Device for Breath Acetone Detection L**, *SENSOR LETTERS*. Vol.8. pp1-4.
- [27] Al Mohammad, A. (2009a). Effect of substrate structures on epitaxial growth and electrical properties of WO₃ thin films deposited on (1012) and (0001) α -Al₂ O₃ surfaces. *Vacuum*, 83(11), 1326–1332.
- [28] Adilakshmi, G., Sivasankar Reddy, A., Sreedhara Reddy, P., & Seshendra Reddy, C. (2021). Electron beam evaporated nanostructure WO₃ films for gas sensor application. *Materials Science and Engineering: B*, 273, 115421. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115421>
- [29] Lei, G., Lou, C., Liu, X., Xie, J., Li, Z., Zheng, W., & Zhang, J. (2021). Thin films of tungsten oxide materials for advanced gas sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 341, 129996. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129996>
- [30] Spagnoli, E., Krik, S., Fabbri, B., Valt, M., Ardit, M., Gaiardo, A., Vanzetti, L., Della Ciana, M., Cristino, V., Vola, G., Caramori, S., Malagù, C., & Guidi, V. (2021). Development and characterization of WO₃ nanoflakes for selective ethanol sensing. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 347, 130593. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130593>