

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 19

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

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

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 : ++ 963 31 2138071

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

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

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة
11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام 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 (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننًا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
26-11	د. حمود العرابي	دراسة سماكة طبقة الأوزون لعدد من المدن الواقعة على خط عرض $35^{\circ}N$
50-27	رازان محمد سلوم أ.د. عبد الهادي صوفان	تقدير الجرعة الممتصة في الأعضاء المهمة لأنثى حامل الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب MDCT للصدر باستخدام الكود MCNP
80-51	روان عميش د.رشدي مدور د.محمد كيشي	تحضير مشتق إيثر الكيتوزان - ميترونيديازول المحفّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية والحرارية
104-81	مي معين عاقل د.أديب حسن زيني د.طارق عراج عراج	تأثير المبيد الفوسفوري العضوي Diazinon في نمو برغوث الماء العذب <i>Daphnia magna</i> وبقائه
122-105	نسرين الأسعد أ.د. عبد الباسط الخطيب د.محمد شعيب	دراسة استقرار المنظومات الديناميكية غير الخطية المتزاوجة ذات الطبولوجيا الديناميكية

دراسة سماكة طبقة الأوزون لعدد من المدن الواقعة على خط عرض $35^{\circ}N$

الدكتور حمود العرابي¹

الملخص:

أظهرت قياسات سماكة طبقة الأوزون في المدن المدروسة (طوكيو، طهران، السليمانية، اللاذقية، جزيرة كريت، جزيرة مالطا) والواقعة على خط العرض 35° شمالاً، خلال عام 2020 قيماً متقاربة، حيث بلغ المتوسط العام لسماكة طبقة الأوزون (307.3 DU) وذلك باستخدام أجهزة قياس الأوزون الكلي (OMI)، (GOME-2) المحمولة على الأقمار الصناعية (MetOp، AURA)، ولم تسجل أي تأثيرات ملحوظة لمجمل الإجراءات المتخذة خلال جائحة كوفيد-19 على طبقة الأوزون في هذه المدن، والمتمثلة في الملاحه الجوية والنشاط الصناعي بشكل عام، كما لم تتأثر طبقة الأوزون فوق خط العرض المدروس باتساع مساحة ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي التي سجلت في السنة نفسها.

الكلمات المفتاحية: خط عرض $35^{\circ}N$ - الدورة الشمسية - الستراتوسفير - طبقة الأوزون - الأوزون الكلي.

1) أستاذ مساعد في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية.

Study of the Ozone Layer Thickness for a Number of Cities Located at 35° North Latitude

Hammoud AL-OURABI¹

Abstract:

Measurements of ozone layer thickness in the studied cities (Tokyo, Tehran, Sulaymaniyah, Latakia, Crete Island, and Malta Island), located at 35°N latitude during the year 2020, showed closely aligned values, with an annual average ozone layer thickness of (307.3 DU). These measurements were obtained using the Ozone Monitoring Instrument (OMI) and the Global Ozone Monitoring Experiment (GOME-2) carried aboard satellites (AURA, MetOp). No noticeable effects were recorded from the overall measures implemented during the COVID-19 pandemic on the ozone layer in these cities, particularly those related to transportation and industrial activity. Additionally, the ozone layer over the studied latitude was unaffected by the expansion of the ozone hole over the South Pole, which was recorded in the same year.

Kay words: Latitude 35°N, Sunspot cycle, Stratosphere, Ozone layer, Total ozone.

1) Assist. Prof. at the department of physics, faculty of sciences, Damascus University.

مقدمة:

يُمثل الأوزون الكلي (Total Column Ozone) أحد المكونات الأساسية للغلاف الجوي، حيث يلعب دوراً هاماً في امتصاص الأشعة فوق البنفسجية الضارة (UV-B) وحماية النظم البيئية والصحة البشرية. تعرّف سماكة طبقة الأوزون بالكمية الكلية في عمود رأسي من الهواء بدءاً من سطح البحر، وتقدر هذه السماكة بوحدة الدوبسون (DU)، وهي تختلف من خط عرض إلى آخر لأسباب كثيرة حيث تكون أقل عند خط الاستواء وأكبر كلما اتجهنا نحو القطبين. وهي تختلف أيضاً حسب المواسم إذ تكون أكثر سماكة في فصل الربيع وأقل في فصل الخريف [1]. ويُمثل توزيع الأوزون الكلي نظاماً ديناميكياً يعكس التفاعل المعقد بين العمليات الكيميائية والفيزيائية والمناخية [14]، أظهرت العديد من الدراسات الحديثة تباينات مكانية وزمانية حتى عند خط العرض الواحد، فعند خط العرض 35° شمالاً وصل التباين في تراكيز الأوزون إلى 35DU ما بين المدن التي قيست كمية الأوزون فيها، ويعزى ذلك إلى العوامل المناخية والظروف الخاصة بكل منطقة [29]. وتبرز هنا أربع آليات رئيسية:

1. التأثيرات المناخية الكبرى: تؤثر أنماط التذبذب المناخي مثل التذبذب القطبي (Arctic Oscillation -AO) والتذبذب الأطلسي الشمالي (North Atlantic Oscillation -NAO)، على نقل الأوزون الستراتوسفيري عبر تعديل شدة التيار النفاث القطبي [11].
2. الظواهر الجوية المتطرفة: أظهرت دراسة حديثة أن العواصف الرعدية الشديدة ترفع الأوزون السطحي 20-30% عبر النقل العمودي والموجات الحارة مما يزيد من تكوين الأوزون الضار بمعدل 3-5 ppb/°C، والعواصف الرملية تقلل الأوزون الكلي 10-15 DU عبر حجب الإشعاع الشمسي [5].
3. التفاعلات المحلية: يلاحظ أن الجزر الحرارية الحضرية (Urban Heat Islands -UHIs) كما في مدينة طوكيو تزيد من تفاعلات NO_x-VOC، وأن الرياح البحرية في مالطا تخفف التلوث لكنها تنقل رطوبة تؤثر على غيوم الستراتوسفير، التضاريس الجبلية حول طهران تعدل أنماط الرياح الرأسية والأفقية.
4. التغير المناخي طويل الأمد: إن ارتفاع 1°C في درجة الحرارة يقلل الأوزون الستراتوسفيري بنحو 1-2 DU، وتغير أنماط الرياح يعدل مسارات نقل الأوزون بنسبة 5-10% لكل عقد [12].

على الرغم من وقوع عدة مدن على خط العرض نفسه (35° شمالاً)، إلا أن البيانات تظهر اختلافاً ملحوظاً في تراكيز الأوزون، وهو ما يعكس التفاعل المعقد بين العوامل الطبيعية والبشرية [28].

شهد ثقب الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية في عام 2020 اتساعاً استثنائياً، حيث بلغت مساحته القصوى 24.8 مليون كم² في 20 أيلول [18]، ليصبح أحد أكبر الثقوب المسجلة وأطولها عمراً (من آب إلى كانون الأول) [4]. ويعزى هذا الاتساع غير المألوف إلى تفاعل عوامل جوية وكيميائية، أهمها وجود دوامة قطبية قوية ومستقرة سجلت درجات حرارة قياسية في الستراتوسفير (-78°C) كما وثقتها وكالة ناسا [19]، واستمرار وجود مركبات الكلور والبروم المستنفدة للأوزون رغم تقليصهما بموجب بروتوكول مونتريال [23]، بالإضافة إلى تأثيرات غير مباشرة لتغير المناخ عززت استقرار الدوامة القطبية [21].

تشير هذه الملاحظات إلى الحساسية الشديدة لنظام الأوزون للتباينات المناخية، رغم الاتجاه العام نحو التعافي على المدى الطويل كما أكدته منظمة الأرصاد العالمية في تقييمها العلمي لعام 2020 [24]. وتؤكد هذه النتائج الحاجة إلى استمرار الرصد الدقيق لنظام الأوزون في ظل تغير المناخ العالمي.

أهمية البحث وأهدافه:

ان مراقبة سماكة طبقة الأوزون ومعرفة تأثير أطنان من الملوثات الغازية والتي حققت بها خلال العقود السابقة يتطلب جهود جميع الدول والمراكز البحثية حول العالم. وترتكز هذه الدراسة على إيجاد الوسطي العام لكمية الأوزون وإلى تحليل التباين في الأوزون الكلي بين ست مدن تقع على خط العرض 35°N (طوكيو، طهران، السليمانية، اللاذقية، جزيرة كريت، جزيرة مالطا)، مع الإشارة على تأثير التلوث الحضري (NO_x، VOCs)، والخصائص الجغرافية (الارتفاع، القرب من المسطحات المائية) والأنماط الجوية الموسمية. ويهدف هذا البحث إلى:

1. دراسة سماكة طبقة الأوزون فوق عدة مدن واقعة على خط العرض 35° شمالاً.
2. دراسة تأثير بعض العوامل الفلكية والطبيعية والبشرية على طبقة الأوزون على خط العرض المدروس.

طريقة البحث:

تم أخذ البيانات اليومية لكمية الأوزون الجوي الكلية فوق المدن المدروسة والواقعة على خط العرض 35° شمالاً ذات الإحداثيات الفلكية الموضحة في الجدول (1). بواسطة أجهزة قياس كمية الأوزون (Ozone Monitoring Instrument OMI و Global Ozone (GOME-2) و Ozone Monitoring Experiment-2) والمحمولة على الأقمار الصناعية (MetOp، AURA) ودقة القياس لهما على الترتيب $1-2\%$ ، $1-3\%$ وتعتبر قياسات عالية الدقة ومستقرة وهي مناسبة تماماً لاتجاهات طويلة المدى والمراقبة العالمية، حيث أن درجة تمثيل البيانات على سطح الأرض هي 1° خط عرض $\times 1.25^\circ$ خط طول، وتم تسجيل كمية الأوزون الكلية بانتظام كسماكة لطبقة الأوزون [1]. وتعتمد طريقة البحث على أخذ البيانات لكمية الأوزون الكلية اليومية فوق هذه المدن المذكورة بعد إدخال الإحداثيات الفلكية على الموقع المراد حساب كمية الأوزون الكلية له.

جدول(1): الموقع الفلكي للمدن المدروسة.

الارتفاع عن سطح البحر (m)	خط الطول	خط العرض	المدينة
16	$14.51^\circ E$	$35.89^\circ N$	جزيرة مالطا
60	$25.14^\circ E$	$35.34^\circ N$	جزيرة كريت
11	$35.79^\circ E$	$35.52^\circ N$	اللاذقية (سورية)
882	$45.43^\circ E$	$35.55^\circ N$	السليمانية (العراق)
1700-1200	$51.38^\circ E$	$35.68^\circ N$	طهران (إيران)
40	$139.65^\circ E$	$35.67^\circ N$	طوكيو (اليابان)

يظهر الجدول (1) المدن المدروسة والواقعة على خط العرض نفسه تقريباً وعلى خطوط الطول المختلفة حيث تمتد من خط الطول $14.51^\circ E$ (مالطا) إلى خط الطول $139.65^\circ E$ (طوكيو) وهي مناطق تشمل مناخات وبيئات مختلفة، فنجد أن مدينة مالطا (مالطا) تتصف بمناخ متوسطي مع رياح بحرية قوية، وبسبب موقعها المعزول تكون مستويات الأوزون متأثرة بالانبعاثات القادمة من أوروبا وشمال أفريقيا عبر الرياح، وتتصف مدينة كريت (اليونان) بمناخ متوسطي نموذجي (صيف جاف حار وشتاء معتدل ممطر)، مدينة اللاذقية (سورية) ذات مناخ متوسطي

معتدل (صيف حار ورطب وشتاء معتدل وممطر، وتتصف مدينة السليمانية (العراق) بمناخ متوسطي مع صيف حار وشتاء بارد وممطر، بينما مدينة طهران (إيران) لها مناخ شبه جاف، مع صيف حار وجاف وشتاء بارد، وتعد من أكثر المدن تلوثاً في العالم، مع مستويات عالية من الجسيمات الدقيقة وأكاسيد النتروجين التي تتفاعل مع الأوزون [10]، وفي أقصى الشرق لهذه المدن مدينة طوكيو والتي تتصف بمناخ شبه استوائي رطب، مع صيف حار ورطب وشتاء معتدل، وتعاني من تلوث هواء مرتفع (تلوث حضري وضباب دخاني) بسبب الكثافة الصناعية والمرورية [22]. ان خط العرض 35°N يقع في قلب مناطق خطوط العرض الوسطى للكرة الأرضية، حيث تعمل خطوط العرض الوسطى كمختبر طبيعي لمراقبة كيفية اختلاط الهواء الاستوائي الغني بالأوزون والهواء القطبي المستنفد للأوزون، ويمثل خط العرض هذا منطقة انتقالية حيوية بين المناطق الاستوائية ذات الأشعة الشمسية العالية والمناطق المعتدلة ذات التقلبات الجوية الموسمية، مما يجعله موقعاً مثاليًا لرصد التفاعلات الديناميكية بين النقل الجوي الستراتوسفيري، وتغيرات سماكة الأوزون، والتعرض للأشعة فوق البنفسجية (UV) في مناطق مأهولة كثيفة. كما أن وقوعه ضمن النطاق شبه المداري (Subtropical Jet Stream) يُعزز عمليات تبادل الهواء بين خطوط العرض العليا والمناطق المدارية، مما يؤثر على توزيع الأوزون ومستوياته. لذا، تُعد دراسة الأوزون عند هذا الخط أساسية لتقييم الاتجاهات طويلة الأمد، وفعالية بروتوكول مونتريال، وتأثيرات التغير المناخي على الطبقة الواقية للأرض [16] [26] [27].

النتائج والمناقشة:

تؤثر التباينات الطبوغرافية، مثل الارتفاع عن سطح البحر، بشكل مباشر على تعرض المناطق للطبقة الستراتوسفيرية الغنية بالأوزون، فعلى سبيل المثال، تُظهر مدينة طهران والتي تقع على ارتفاع (1200-1700m) عن مستوى سطح البحر مستويات أوزون أقل من مدينة مالطا (منخفضة الارتفاع) بسبب التلوث المحلي الناجم عن انبعاثات أكاسيد النيتروجين [17]. كما تلعب الديناميكية الجوية دوراً جوهرياً، حيث يُسهّم النقل الستراتوسفيري في الربيع في رفع مستويات الأوزون في المناطق الساحلية مثل مالطا، بينما تقلل العواصف الترابية في المناطق الداخلية (السليمانية، طهران) من كفاءة تكوينه [15].

تُظهر تغيرات كمية الأوزون الكلية خلال العام الواحد عدة مناخي، منها تغيرات يومية، وقصيرة الأمد وفصلية، وكذلك توجد عوامل أخرى تؤدي إلى تغيرات طويلة الأمد في كمية الأوزون، كفعالية البقع الشمسية، ودورة الهواء العلوي، وهي تستمر لأكثر من سنة، ثم تعود طبقة الأوزون إلى مستواها الطبيعي حالما تزول الأسباب المؤثرة في ذلك. كما تتفاعل دورة البقع الشمسية (SC) مع الذبذبة الثنائية (QBO) عبر ثلاث عمليات رئيسية:

- تعديل رياح الستراتوسفير الاستوائية: من خلال الطور الغربي لـ (QBO-W)، حيث تزداد كفاءة نقل الأوزون نحو خطوط العرض الوسطى (35°N) بنسبة 15-20% في سنوات الذروة الشمسية [9]، ويعزز هذا التأثير تركيز الأوزون بشكل خاص في الطبقة (20-25 km).

- تضخيم الإشارة الشمسية: عندما يتزامن QBO-E (الشرقي) مع الحد الأدنى للدورة الشمسية، يُلاحظ انخفاض إضافي 3-5 DU في الأوزون الكلي [13]، وهذه التأثيرات تكون أكثر وضوحاً في شهري شباط-آذار.

- تفاعل غير خطي مع التيار النفاث: تُظهر النمذجة العددية أن QBO+SC يعدلان سرعة التيار النفاث القطبي بـ $10 \text{ m/s} \pm$ (متوسط 35°N)، وهذا يغير أنماط نقل الأوزون عبر تعديل موضع الدوامة القطبية (Front Polar Vortex).

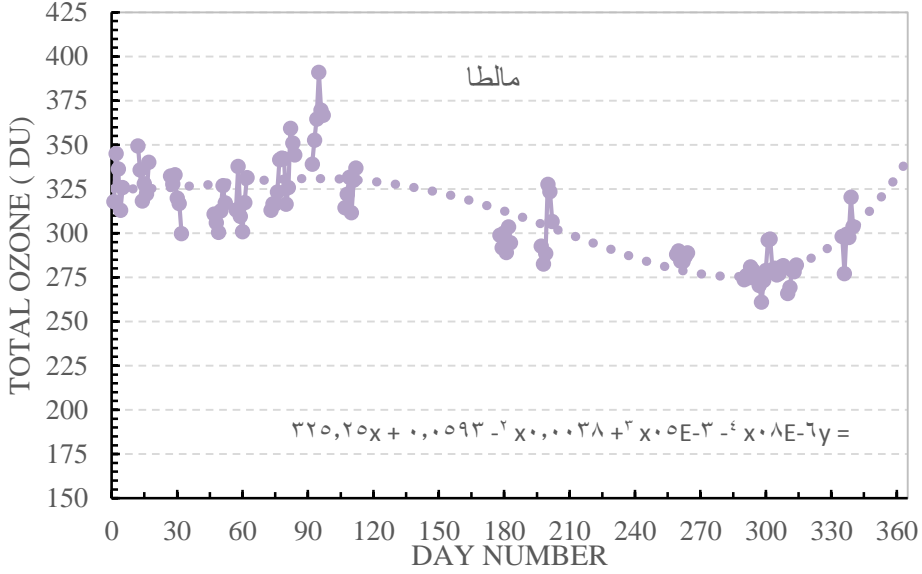
يُلاحظ من الجدول (2) أن المتوسطات السنوية x لكمية الأوزون الكلية متقاربة وكذلك الانحراف المعياري خلال العام نفسه والذي يظهر التأثير الموسمي الواضح وكذلك يري المدى المحسوب بين القيم الصغرى والعظمى، وقد سُجلت قيمة كمية الأوزون الوسطية للمدن المدروسة الواقعة على خط العرض 35°N قيمة تقارب وسطياً $307.3 \pm 2.5 \text{ DU}$ وهذه القيمة تماثل سماكة طبقة الأوزون لخط العرض المدروس.

جدول(2): المتوسطات السنوية، القيم العظمى، القيم الصغرى، والانحراف المعياري SD والمدى R، وحيث x المتوسط الشهري لكمية الأوزون الجوي الكلية بوحدة الدوبسون (DU).

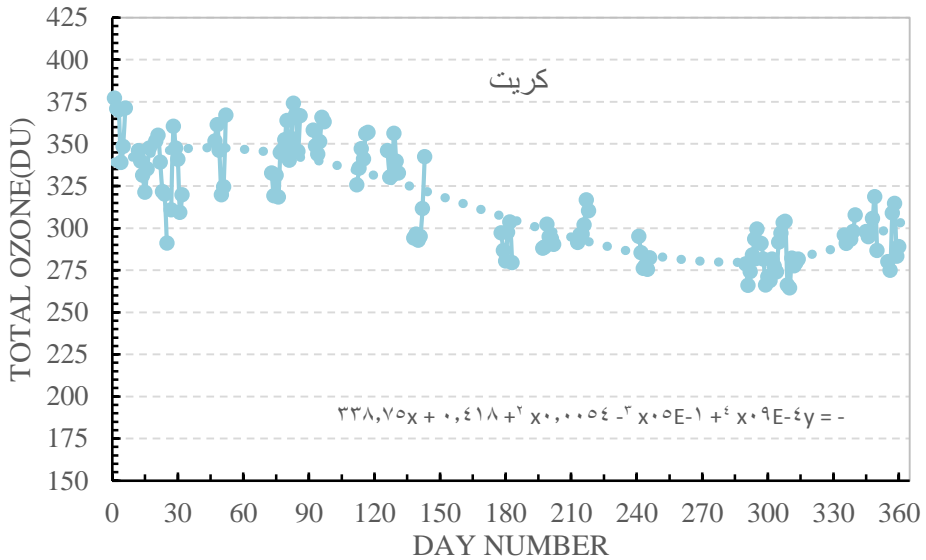
دراسة سماكة طبقة الأوزون لعدد من المدن الواقعة على خط عرض 35°N

المدينة	مالطا	كريت	اللاذقية	السليمانية	طهران	طوكيو
x(MEN)	309.8	315.4	309.8	302.8	300.4	305.4
MAX	391.1	377.2	409.6	395.1	382.9	409.0
MIN	261.1	264.6	240.6	239.3	235.0	243.3
SD	27.1	31.1	38.4	34.6	33.3	36.5
R	130.0	112.6	169.0	155.8	147.9	165.7

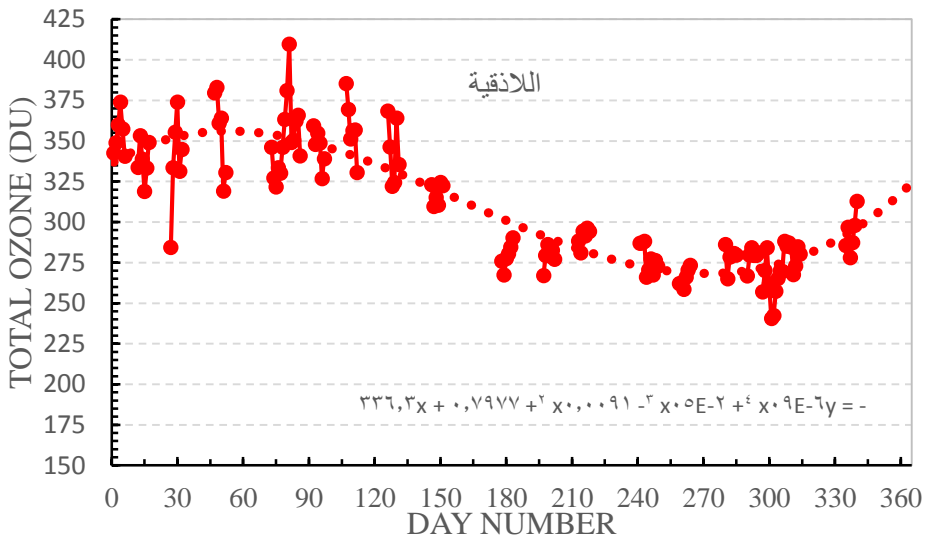
تُظهر الأشكال من (1) إلى (6) تغيرات كمية الأوزون للمدن المدروسة خلال عام 2020 حيث نلاحظ أن القيم العظمى تظهر في أشهر الربيع والقيم الصغرى في أشهر أيلول وتشرين أول وتشرين الثاني والتباينات اليومية قريبة من بعضها البعض ضمن الموسم نفسه.



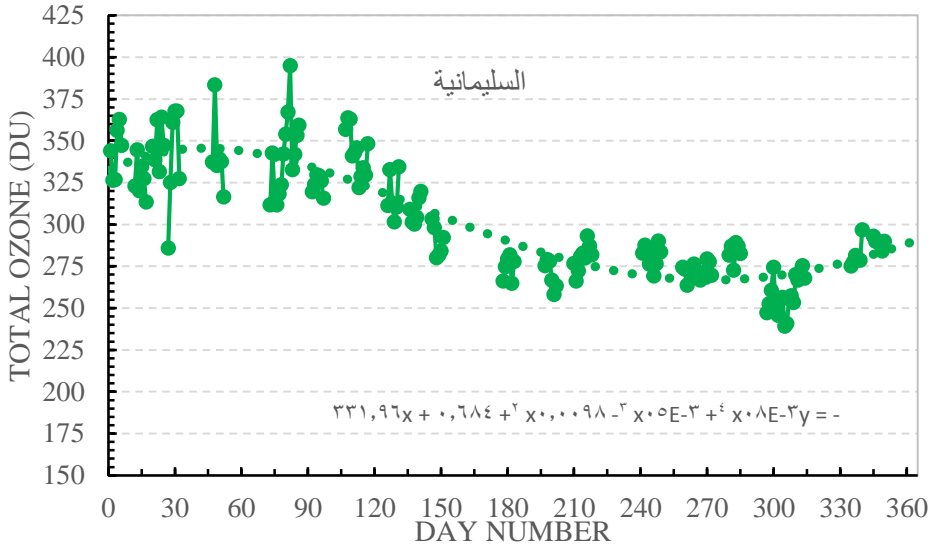
الشكل (1): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة مالطا خلال عام 2020.



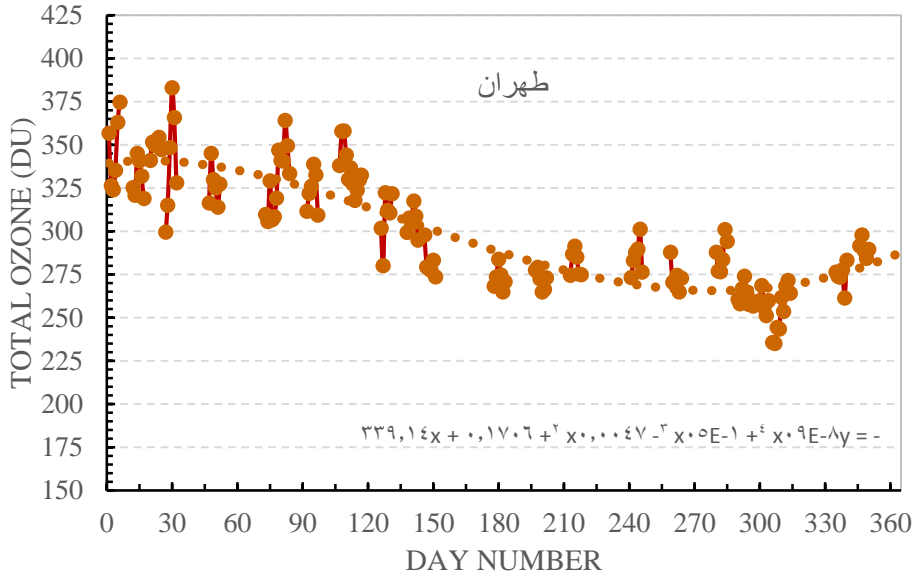
الشكل(2): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة كريت خلال عام 2020.



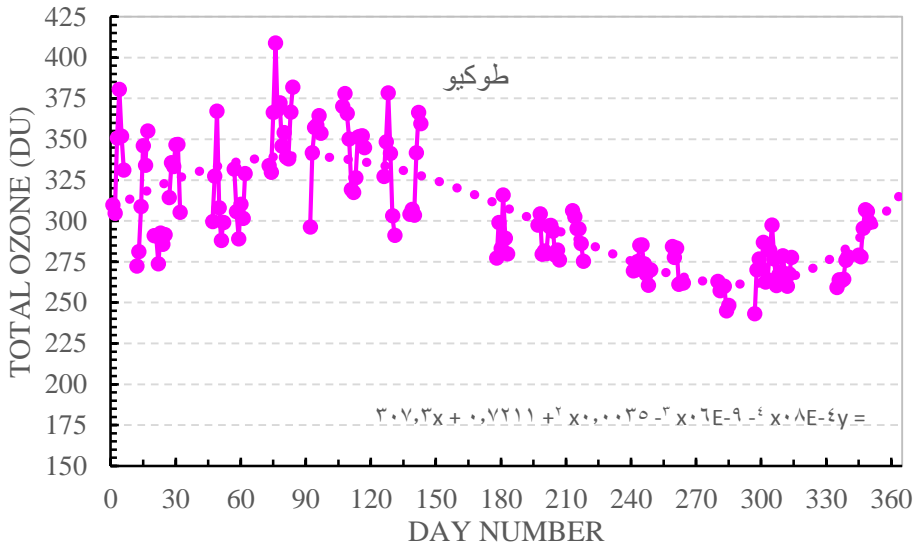
الشكل(3): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة اللاذقية خلال عام 2020.



الشكل(4): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة السليمانية خلال عام 2020.



الشكل(5): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة طهران خلال عام 2020.



الشكل (6): التغيرات اليومية لكمية الأوزون الكلية فوق مدينة طوكيو خلال عام 2020. لقد تأثرت كمية الأوزون الكلية في عام 2020 بعدة عوامل مناخية وفلكية بارزة، بعضها طبيعي والآخر ناتج عن نشاط بشري ومنها جائحة كوفيد-19: حيث أظهرت بيانات من وكالة ناسا (NASA) ووكالة الفضاء الأوروبية (ESA) أن انبعاثات أكاسيد النيتروجين (NO_x) انخفضت بنسبة 20-30% خلال النصف الأول من 2020 مقارنة بالسنوات السابقة، بسبب تقليل النشاط الصناعي والنقل الجوي والبرّي [2]. حيث أن انخفاض NO_x قد يُحفز تكوين الأوزون في طبقة التروبوسفير، لكنه في طبقة الستراتوسفير يُقلل من التفاعلات التي تدمر الأوزون عند وجود مركبات الكلور [3]، وبالتالي لوحظ تحسن طفيف في تكوين الأوزون الستراتوسفيري بسبب انخفاض العوامل المساعدة على تفككه.

وثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي: حيث وصل ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي إلى حوالي 24.8 مليون كم² (من أكبر المساحات المسجلة في السنوات الأخيرة) [24]، وذلك بسبب البرودة الشديدة: حيث قامت بتعزيز تكوين سحب الستراتوسفير القطبية (PSCs) التي تنشط مركبات الكلور والبروم المدمرة للأوزون، كما أوضحت بيانات من قمر AURA التابع لناسا [18] [19]،

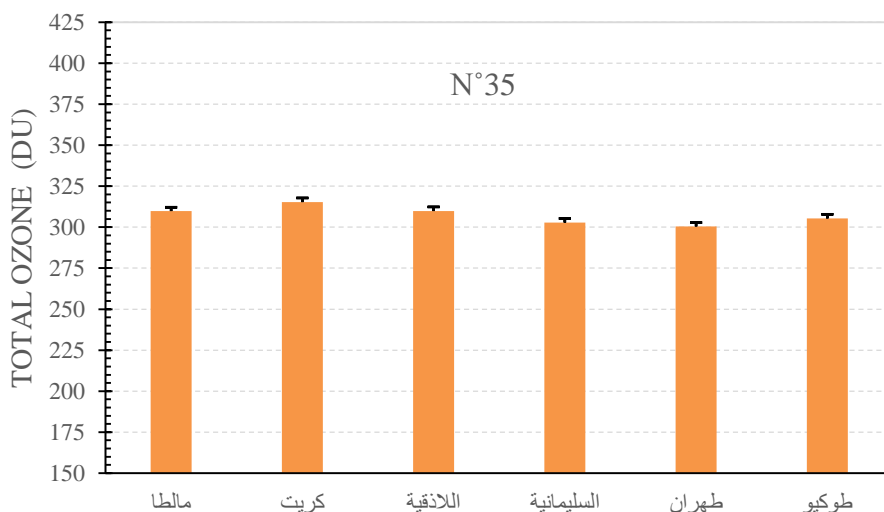
وتأخر انهيار الدوامة القطبية: حيث أدى ذلك إلى استمرار تدمير الأوزون حتى كانون الأول 2020 [20].

ورغم حظر المركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) وفق اتفاقية مونتريال إلا أنها لا تزال موجودة في الغلاف الجوي وتتفاعل مع البرودة الشديدة [1] [25]، حيث أن هذه المركبات لا تتفاعل مع جذر الهيدروكسيل OH^- ولا تتفكك ضوئياً وكذلك لا تزال بالمطر ضمن طبقة التروبوسفير، مما أدى إلى انخفاض حاد في الأوزون فوق القطب الجنوبي بنسبة تصل إلى 60% مقارنة بالمعدل الطبيعي، يضاف إلى ذلك النشاط الشمسي، حيث كانت الشمس في أضعف نشاط لها منذ 100 عام، مرحلة الحد الأدنى للدورة الشمسية في عام 2020 (قرب نهاية دورة الكلف الشمسي 24 وبداية دورة الكلف الشمسي 25) [6] [14]. حيث كان له تأثير محدود نسبياً على طبقة الأوزون في عام 2020، لكنه ساهم في تقلبات طفيفة لها. كذلك التغير في أنماط الرياح (تغير في دوران الغلاف الجوي (QBO - التذبذب الربع سنوي) حيث مرت الرياح الستراتوسفيرية الاستوائية بمرحلة شرقية، مما أثر على نقل الأوزون من المناطق الاستوائية إلى القطبين، ويضاف إلى العوامل السابقة أيضاً، أحداث طبيعية استثنائية كحرائق أستراليا 2019-2020 (حرائق الغابات الضخمة) حيث أطلقت كميات هائلة من الدخان والهباء الجوي إلى الستراتوسفير، بما في ذلك مركبات الكلور والبروم غير المباشرة، والتي تسرع التفاعلات الكيميائية التي تدمر الأوزون [25] [7] [8].

من خلال الأشكال (1,2,3,4,5,6) التي تم فيها تمثيل المنحنيات المعبرة عن التغيرات اليومية لكمية الأوزون الجوي الكلية فوق المدن الواقعة على خط العرض 35° شمالاً خلال العام 2020، تبين ما يأتي:

1. ترتفع كمية الأوزون الجوي الكلية بداية أشهر الشتاء، وتكون القيم عالية في أواخر فصل الشتاء وخلال فصل الربيع بشكل خاص، حيث تقوم الدورة العامة للرياح بنقل الهواء الغني بالأوزون من المناطق المدارية باتجاه مناطق العروض المتوسطة والعليا.
2. يلاحظ أن قيمة كمية الأوزون الجوي الكلية تكون منخفضة خلال فصل الخريف، وتميل كمية الأوزون الكلية خلال فصل الصيف إلى التناقص، حيث يترافق ذلك مع زيادة شدة

الإشعاع الشمسي الكلي، وبالتالي زيادة شدة الإشعاعات فوق البنفسجية الواردة من الشمس، وبسبب تناقص كمية الأوزون يزداد خطر الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى سطح الأرض. 3. كما يمكن الإشارة إلى التأثيرات المكانية المميزة للمواقع المدروسة حيث يلاحظ أكبر استجابة لـ QBO-W + Solar Max في مدينة طوكيو عند (+10DU)، وتأثير ضعيف للعواصف الرملية في مدينتي طهران والسليمانية واستقرار ديناميكي في جزيرتي مالطا وكريت.



الشكل (7): كمية الأوزون الكلية المتوسطة فوق المدن المدروسة لعام 2020.

من خلال الشكل (7) الذي يُظهر متوسط كمية الأوزون الجوي الكلية فوق المدن المدروسة الواقعة على خط العرض 35° شمالاً خلال العام 2020، يلاحظ أن كمية الأوزون الوسطية لعام 2020 لمدينة طوكيو قد بلغت 305.4 DU، ولمدينة طهران 300.4 DU، ولمدينة السليمانية 302.8DU، ولمدينة اللاذقية 309.8 DU، وجزيرة كريت 315.4 DU، وبلغت فوق جزيرة مالطا 309.8 DU.

الاستنتاجات:

1- بلغت القيمة الوسطية لكمية الأوزون الكلية المسجلة فوق المدن الستة المدروسة والواقعة على خط عرض 35° شمالاً 307.3 ± 2.5 DU وتعتبر هذه السماكة حامية من الإشعاعات فوق البنفسجية الضارة.

- 2- تراوحت قيم الانحرافات المعيارية لكمية الأوزون الكلية للمدن المدروسة قيمها من 27.1 DU إلى 36.5 DU ومما تدل على التأثير والتباين الموسمي حيث تكون قيمة الأوزون الكلية في أشهر الربيع عظمى، وفي أشهر الخريف صغرى.
- 3- اتساع مساحة ثقب الأوزون في القطب الجنوبي لم يؤثر على سماكة طبقة الأوزون فوق المدن المدروسة والواقعة على خط العرض 35° شمالاً، كما لم يؤثر توقف النشاط الصناعي والنقل لفترة قصيرة عليها.
- 4- وُجدت أكبر قيمة للمدى خلال 2020 في مدينة طوكيو حيث بلغت 169 DU وأصغر قيمة له بلغت 112.6 DU في جزيرة كريت، ويؤكد هذا على التأثير الموسمي مرة أخرى.

المقترحات والتوصيات:

- 1- انشاء شبكة رصد أرضية لقياسات الأوزون السطحي والأوزون الستراتوسفري.
- 2- متابعة مراقبة طبقة الأوزون لفترات طويلة ودراسة تأثير المركبات الكيميائية المؤثرة عليها والتي مازالت موجودة في الغلاف الجوي.
- 3- دراسة سماكة طبقة الأوزون لمواقع على خطي العرض 20° و 40° شمالاً.

المراجع:

1. العرابي حمود، 2017. تحديد كمية الأوزون الكلية ومعامل الأشعة فوق البنفسجية فوق مدينة دمشق لعام 2013، مجلة بحوث جامعة دمشق، العلوم الأساسية، المجلد 33، العدد الثاني، 61-86.
2. Bauwens, M., Compernelle, S., Stavrakou, T. et al. (2020). **Impact of coronavirus outbreak on NO₂ pollution assessed using TROPOMI and OMI observations.** Nature Climate Change, 10, 914–918.
3. Chipperfield, M. P., et al. (2020). **On the cause of recent variations in lower stratospheric ozone.** Geophysical Research Letters, 47(12).
4. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). (2020). **Unusually persistent and large Antarctic ozone hole in 2020.** (Technical Report). European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.
5. Duncan, B.N., et al. (2022). **Thunderstorm Effects on Atmospheric Composition.** Science Advances, 8(24).

6. Ermolli, I., et al. (2023). **TSIS-1 Observations of Solar Cycle 25 Onset**. Solar Physics, 298(4), 78.
7. Farman j.c., and Gardiner B.G., and Shanklin j.d., (1985). **Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction**, Nature, 315, 207-210.
8. Hood, L.L., et al. (2023). **Stratospheric Ozone Response to Solar Forcing**. Nature Geoscience, 16(1), 45-52 .
9. Hood, L.L., Soukharev (2023). **Stratospheric Ozone Response to Combined Solar and QBO Forcing**. J. Atmos. Sci., 80(3), 45-62 . DOI:10.1175/JAS-D-22-0152.1.
10. Hosseinibalam, F et al. (2020). **Temporal and spatial evaluation of criteria air pollutants in Tehran, Iran**. Environmental Engineering Science, 37(5), 339-352. <https://doi.org/10.1089/ees.2019.0345>.
11. Hurrell, J.W., et al. (2013). **The North Atlantic Oscillation and Stratospheric Ozone Transport**. Journal of Climate, 26(12), 4083-4096.
12. IPCC (2023). **AR6 Climate Change 2023: The Physical Science Basis**.
13. Kodera, Kuroda (2022). **QBO-Solar Cycle Interaction in Middle Atmosphere**. Geophys. Res. Lett., 49(12), e2022GL098745.
14. Lean, J., et al. (2022). **Solar Ultraviolet Variability over Cycle 24** . Journal of Geophysical Research: Space Physics, 127(8).
15. Liu, X., et al. (2020). **Stratosphere-Troposphere Exchange of Ozone at Mid-Latitudes** .Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125(12).
16. McKenzie, R. L., et al. (2021). **Health risks from ozone layer depletion at mid-latitudes**. Science of the Total Environment, 755(Part 2), 142652.
17. Monks, P. S., et al. (2015). **Tropospheric Ozone and Its Precursors from Urban to Global Scales** .Atmospheric Chemistry and Physics, 15(15).
18. NASA (2020). Antarctic Ozone Hole Reaches Annual Peak. (<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>).
19. NASA GSFC (2023). **Aura MLS Data Product Validation for Ozone-QBO Studies** .

20. Peter, T., et al. (2021). **COVID-19 lockdowns highlight the complexity of ozone production and its sensitivity to environmental drivers**. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(5), 4163–4185.
21. Smith et al. (2021). **Nature Climate Change**, 11(3), 202-208.
22. Watanabe, M., Nansai, K. (2018). **The Economic Structure of Air Pollution in Tokyo: A Multi-Regional Input-Output Analysis**. *Sustainability*, 10(7), 2250. <https://doi.org/10.3390/su10072250>.
23. World Meteorological Organization (WMO) & United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). **Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2020** (Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 66). Geneva.
24. WMO (2021). **Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2020** . (<https://ozone.unep.org>).
25. World Meteorological Organization (WMO). (2022). **Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022** https://ozone.unep.org/sites/default/files/2022-02/WMO_UNEP_2022_Ozone_Assessment.pdf.
26. World Meteorological Organization (2022). **Ozone and Climate Interactions**. WMO Report No. 1295 .
27. Zanis, P., et al. (2020). **Ozone depletion over the Mediterranean in a changing climate**. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(12), 7483–7497.
28. Zhang, Y., et al. (2019) .**Topographic Impacts on Stratospheric Ozone Variability**. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(12).
29. Zhang, Y., et al. (2023). **Extreme Weather Impacts on Ozone Variability**. *Nature Climate Change*, 13, 456-470.

تقدير الجرعة الممتصة في الأعضاء المهمة لأنثى حامل الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب MDCT للصدر باستخدام الكود MCNP

رازان محمد سلوم

أ.د. عبد الهادي صوفان

ملخص :

تم حساب الجرعة الإشعاعية الممتصة في بعض الأعضاء الداخلية الهامة مثل (الدماغ والرئتين والغدة الدرقية والقلب والثديين والمبيضين والحوض والرحم) لفانتوم رقمي يحاكي جسم أنثى حامل خلال الأشهر الثلاث الأولى من حملها وبأبعاد قياسية (بطول 173سم ووزن 55 كغ ومتوسط حجم الرحم $(76mm^3)$) وكان الهدف الأساسي من الدراسة التركيز على جرعة الرحم (الجنين) نظرا لحساسية الجنين للإشعاع خلال مراحل تكوينه الأولى و كان من المهم أيضا حساب الجرعة الإشعاعية الممتصة في أعضاء الأم الأخرى والمهمة جدا لنمو الجنين وتطوره وتكوينه (الغدة الدرقية والقلب) حيث أن أي اضطراب في عمل هذه الأعضاء ستعرض الجنين بشكل مباشر لمشكلات خطيرة أثناء نموه. أجريت الدراسة من خلال محاكاة إشعاعية وفق الكود MCNPX وتم إجراء مسح إشعاعي بالتصوير المقطعي المحوسب متعدد الكواشف MDCT (أشعة سينية) لمنطقة الصدر. أظهرت النتائج أن الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها الجنين خلال عملية التصوير الإشعاعي لم تتجاوز $(4.83 \times 10^{-5} Gy)$ عند أعلى قيمة لتيار التعرض الزمني $I=300 mA.s$ ، وهي أقل من الجرعة الجينية المسموحة $(5 mGy)$ التي سمحت بها منظمات الصحة العالمية ولجنة الأمن الإشعاعي العالمي CRP فهي آمنة، و بذلك يكون الجنين محميا من التأثير المباشر للإشعاع . لاحظنا أن أعلى جرعة إشعاعية ممتصة كانت في القلب

تقدير الجرعة الممتصة في الأعضاء المهمة لأنثى حامل الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب MDCT
للصدر باستخدام الكود MCNP

(28.32 m Gy) والثديين (11.7 m Gy) الغدة الدرقية (1.35 m Gy). رغم أن الجرعة الإشعاعية الممتصة في الغدة الدرقية والقلب للأم كانت كبيرة مقارنة مع باقي الأعضاء ، لكنها بقيت ضمن حدود الجرعة الإشعاعية المسموحة خلال عمليات التصوير المقطعي المحوسب (100 – 200m Gy) وبذلك يكون الجنين محميا أيضا من المخاطر الثانوية المحتملة الناتجة عن تأثر أعضاء الأم (المسؤولة بشكل مباشر عن تكوين ونمو وتطور الجنين) بالإشعاع .

كلمات مفتاحية :

الجرعة الجنينية الإشعاعية - كود MCNP - التصوير المقطعي المحوسب
متعدد الكواشف MDCT - الفانتوم .

Estimation of absorbed dose to critical organs of a pregnant female from MDCT of the chest using the MCNP code

Abstract :

The absorbed radiation dose to some important internal organs (such as the brain, lungs, thyroid gland, heart, breasts, ovaries, pelvis, and uterus) was calculated for a digital phantom simulating a pregnant female body during the first three months of pregnancy, with standard dimensions (173 cm tall, 55 kg weight, and an average uterus size of 76 mm³). The primary objective of the study was to focus on the dose to the uterus (fetus), given the fetus's sensitivity to radiation during its early stages of development. It was also important to calculate the absorbed radiation dose to other important maternal organs for the fetus's growth, development, and formation (thyroid gland and heart), as any disturbance in the function of these organs would directly expose the fetus to serious problems during its development. The study was conducted using radiation simulation according to the MCNPX code, and a multi-detector computed tomography (MDCT) scan (X-ray) of the chest area was performed. The results showed that the radiation dose received by the fetus during the radiography process did not exceed (4.83×10^{-5} Gy) at the highest value of the time exposure current, (I=300 mA.s), which is less than the permissible fetal dose (5 mGy) permitted by the World Health Organization and the International Committee on Radiological Safety (ICRP), which is considered safe, and thus the fetus is protected from the direct effects of radiation. We noted that the highest absorbed radiation dose was in the heart (28.32 mGy), breasts (11.7 mGy), and thyroid gland (1.35 mGy). Although the absorbed radiation dose in the mother's thyroid gland and heart was large compared to the rest of the organs, it remained

within the limits of the permissible radiation dose during computed tomography (CT) scans (100-200 mGy), thus the fetus is also protected from the potential secondary risks resulting from the effect of radiation on the mother's organs (directly responsible for the formation, growth, and development of the fetus).

Keywords:

Fetal radiation dose – MCNP code – MDCT – Phantom.

مقدمة :

تمثل أجهزة التصوير الإشعاعي جزءا حيويا من الطب الحديث ، حيث تلعب دورا مهما في تحسين النتائج الصحية للمرضى وتطوير أساليب العلاج وتعزيز فهم التدخلات الطبية ، حيث تتيح الصور الإشعاعية إمكانية رؤية الأعضاء الداخلية مما يساعد في اكتشاف الأمراض والمشكلات التي قد لا تكون مرئية من خلال الفحص البدني التقليدي ، كما تتيح الصور الإشعاعية الدقيقة مراقبة حالة المريض ومتابعة تقدم العلاج كما في حالة متابعة الأورام ، فضلا عن الكشف المبكر عن الأمراض مما يتيح إمكانية علاجها في مراحل مبكرة . تستخدم أجهزة التصوير الإشعاعي عدة أنواع من الأشعة حسب الحاجة إليها لكن من أهم الأشعة المستخدمة نذكر الأشعة السينية (X-rays) التي تستخدم لتكوين صورة للأعضاء والأنسجة داخل الجسم (أكثر استخداماتها تكون لتصوير العظام والأسنان والصدر) ، أيضا الأشعة المقطعية المحوسبة (CT scan) (أشعة سينية تتراوح طاقتها بين 150KV – 50) التي توفر صورا أكثر دقة للأعضاء والأنسجة كما تستخدم الأشعة فوق الصوتية (Ultrasound) في متابعة الحمل لكن عندما تكون الحالة بحاجة تقييم لنشاط الأنسجة والأعضاء (الأورام والعلوم العصبية) يكون التصوير بالانبعاث البوزيتروني (PET Scan) هو الأفضل في هذا المجال وأخيرا نذكر التصوير

بالرنين المغناطيسي (MRI) الذي يعتمد على الحقول المغناطيسية وأمواج الراديو وهي تعطي أيضا صور تفصيلية للأعضاء والأنسجة. كل ما ذكر سابقا هي نقاط إيجابية وحاسمة في المجال الطبي لكن هناك بعض الحالات التي يجب التوقف عندها وعدم اتخاذ قرار إجراء صورة إشعاعية إلا إذا كانت الفائدة الطبية أعلى من المخاطر كما في حالة المرأة الحامل مثلا ، هنا يجب الأخذ بعين الاعتبار وجود جنين في مرحلة التكوين والنمو هذا يعني الكثير من المخاوف حول الآثار الإشعاعية الضارة بالجنين كالأجهاض والتشوهات الخلقية واضطراب وظائف المخ وانخفاض معدل الذكاء واحتمالية إصابة الطفل بالسرطان خلال مرحلة الطفولة لاحقا .

ظهرت أهمية دراسة تفاعلات الجسيمات الواردة من المنبع مع مادة النسيج الحي (العضو المدروس) ، كون هذه التفاعلات ترتبط بشكل مباشر بالآثار البيولوجية التي يمكن أن تطرأ على الخلايا التي تتلقى الإشعاع ، وتصبح هذه الدراسة أكثر أهمية في حال كانت المرأة حامل وتعرضت للإشعاع نظرا لحساسية الأجنة للإشعاع خاصة في المراحل المبكرة من الحمل (مرحلة الانقسام السريع وتمايز الخلايا).

من الجدير بالذكر أن طريقة مونت كارلو من أهم الطرق التي تتيح إمكانية حساب الجرعات ودراسة عملية نقل الجسيمات التي تتابع الجسيم الدقيق من مصدره وحتى فئانه أو امتصاصه من قبل المادة متضمناً فقدان الجسيم لطاقته بعد التفاعل وطبيعة التفاعل . هذه الطريقة تعتمد على كودات محاكاة أهمها MCNP المكتوبة بلغة Fortran البرمجية حيث يعتمد هذا الكود طريقة احتمالية تسمح بتحليل معادلة النقل من لحظة الإصدار من المنبع حتى لحظة الامتصاص مع مراعاة احتمالات التفاعل مع المواد التي واجهتها . إن أهم الوحدات المستخدمة في الكود هي طول المسار ، الطاقة ، الوقت ، درجة الحرارة ، الكثافة الذرية ، الكثافة الكتلية والمقاطع العرضية .

هدف البحث :

تقدير الجرعة الممتصة في الأعضاء المهمة لأنثى حامل الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب MDCT
للصدر باستخدام الكود MCNP

استخدام كود المحاكاة الإشعاعية MCNP لحساب الجرعة الممتصة في بعض الأعضاء المهمة للمرأة الحمل وحساب جرعة الجنين الناتجة عن استخدام التصوير المقطعي المحوسب CT scan لإجراء صورة لمنطقة الصدر للأم .

أدوات البحث :

كود MCNP :

يعد الكود (code Particle – N Carlo Monte) MCNP من أشهر كودات المحاكاة الإشعاعية و فقطرائق مونتّي كارلو وهو يدرس نقل الجسيمات (النيوترونات والفوتونات والإلكترونات بشكل منفصل أو عندما تكون مقترنة ببعضها)، كتب الكود بلغة [1]90 FORTRAN يعمل الكود بنظام DOS-MS ويحتاج إلى ملف دخل يكتب يدوياً ويربط مع الملف الإقلاعي للكود MCNPX.exe عن طريق موجه أوامر نظام الويندوز cmd.exe لكي يقوم بالحسابات اللازمة. تتميز النسخة الحديثة للكود MCNPX2.3.0 بإحتوائها على مكتبة للمقاطع العرضية لجميع تفاعلات الجسيمات المشحونة وغير المشحونة (البروتونات، والجسيمات ألفا، والإلكترونات، والنترونات... الخ) إضافة إلى أشعة غاما. بالنسبة للفوتونات، يراعي الكود التشتت المرن وغير المرن، وإمكانية الانبعاث الفلوري بعد الامتصاص الكهروضوئي، والامتصاص عند انتاج الأزواج مع الانبعاث المحلي لإشعاع الفناء وإشعاع الكبح [2].

الجزء العملي :

أجري المسح الإشعاعي على مجسم رقمي (فانتوم) يحاكي جسم امرأة خلال الثلث الأول من حملها (بأبعاد قياسية بطول 173سم ووزن 55 كغ، ومؤشر كتلة جسم $BMI = 22$ و متوسط حجم الرحم ($76mm^3$) كانت قد طورته شركة . [3]Wiley أجريت الصورة الإشعاعية باستخدام التصوير المقطعي المحوسب متعدد الكواشف MDCT لمنطقة الصدر وتمت المحاكاة الإشعاعية باستخدام الكود MCNP لكن نظرا لصعوبة محاكاة حركة مصدر الأشعة السينية في التصوير المقطعي المحوسب الحلزوني وفق الكود MCNP صمم برنامج مساعد (CT-DOSE CALC)

(مكتوب بلغة البرمجة (VISUAL BASIC) [4] يلعب دورا في الربط بين واجهة المستخدم والكود ، فأتاحت هذه الخطوة إجراء محاكاة لحركة أنبوب الأشعة السينية في حالتي التصوير (المسح الحلزوني والمحوري) وتقييم طيف طاقة أنبوب الأشعة السينية في التصوير المقطعي المحوسب. استخدم الكود MCNP لتقدير قيم الجرعات الإشعاعية الممتصة في الأعضاء اعتمادا على معلمات المسح (جهد الأنبوب $V = 120 \text{ KV}$)، تيار التعرض الزمني $I = 1,100,300 \text{ mA.s}$)، سماكة مرشح الألومنيوم (1.2 mm) ، طول المسح (60 cm) ، درجة الميل $(Pitch = 1)$ أي يتم إجراء مسح كل جزء مراد تصويره من المريض لمرة واحدة فقط دون تكرار ودون إغفال أي منطقة وهذا الخيار يعطي توازنا جيدا بين جودة الصورة والجرعة الإشعاعية) .

وتعرف الخطوة أو الميل $(Pitch)$ بأنها نسبة المسافة التي تقطعها الطاولة التي يستلقي عليها المريض في دورة كاملة مقسومة على عرض حزمة الأشعة .

جهاز MDCT Scan المستخدم في المحاكاة يتألف من عدة مصادر لأشعة غاما التي تتحرك حركة دائرية وفق مسار حلزوني (وفق المحور Z) وتم تصميم هذه المصادر اعتمادا على خاصية الانتقال (TR) المتاحة في الكود MCNP ولسهولة العمل جرى تثبيت المسافة بين المصدر ومركز آلة التصوير (60 cm) وزاوية الحزمة كانت (42.5°) . تم وضع واقي من الرصاص بسماكة (0.5 mm) على منطقة البطن لحماية الجنين وباقي الأعضاء من الإشعاع .

يملك جهاز المسح المقطعي المحوسب متعدد الكواشف (MDCT Scan Multidetector computed tomography) المستخدم في المحاكاة 128 شريحة الذي يتميز بالسرعة (سرعة النقاط الصورة تعني جرعة إشعاع منخفضة يتعرض لها المريض) والدقة العالية جدا بفضل قدرته على إعطاء صور ثلاثية الأبعاد وهذا يمنح صورا تفصيلية للأعضاء والأنسجة مما يجعله خيارا ممتازا في مجال التصوير الطبي.

حساب جرعة الأعضاء وفق الكود MCNP :

استُخدمت العلاقة (1) من المرجع [6] لحساب الطاقة المودعة في كل خلية ((MeV/g) :

$$F = W \cdot T_1 \cdot \sigma_T(E) \cdot H(E) \cdot \left(\frac{\rho_a}{m}\right) \quad (1)$$

حيث :

W : ثقل المصدر .

T_1 : طول مسار الجسيم (cm) .

$\sigma_T(E)$: المقطع العرضي الكلي المجهري (بارن) .

$H(E)$: رقم التسخين (MeV/collision)

ρ_a : الكثافة الذرية لمادة الخلية $\left(\frac{\text{atoms}}{\text{barns.cm}}\right)$

m : كتلة الخلية (gr) .

ثم يتم حساب كمية الجرعة الإشعاعية الممتصة ضمن الأعضاء الداخلية باستخدام العلاقة الرياضية (2):

$$D \left(\frac{\text{Gy}}{\text{source practicle}} \right) = DE \left(\frac{\text{Mev}}{\text{source practicle}} \right) \times 1.6 \times 10^{-13} \left(\frac{1}{\text{Mev}} \right) \times 10^3 \times M^{-1} (g^{-1})$$

حيث :

$D \left(\frac{\text{Gy}}{\text{source practicle}} \right)$: الجرعة الممتصة الصادرة عن كل جسيم من المصدر .

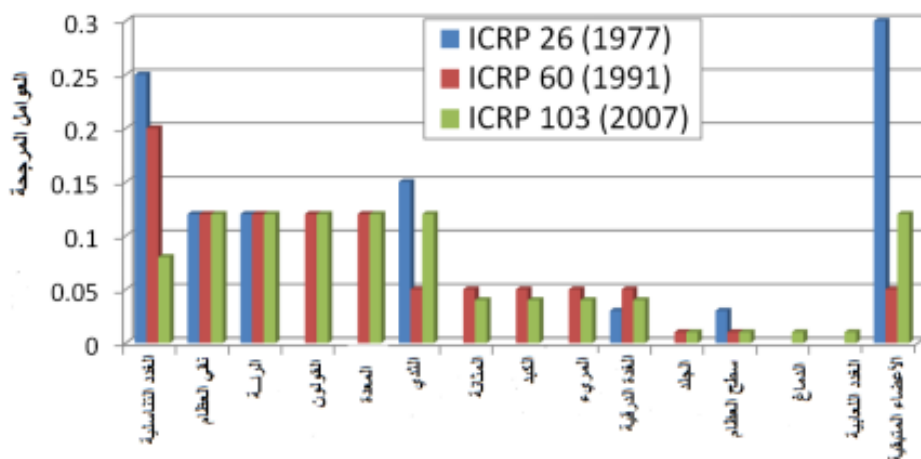
$DE \left(\frac{\text{Mev}}{\text{source practicle}} \right)$: الطاقة المودعة الناتجة عن كل جسيم من المصدر، وتحسب

باستخدام الكود MCNP .

1.6×10^{-13} : ثابت التحويل من jouل إلى Mev .

M : كتلة العضو المدروس (gr) .

تعطى معاملات النسيج المرجحة وفقاً لمنشورات اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية، [5](1977) [6]26 [7]ICRP 103(2007) و ICRP 60 (1991) ، إن قيم هذه المعاملات تستخدم لتحديد كمية الإشعاع الذي يمكن أن تتحملة الأنسجة البشرية دون حدوث آثار ضارة ، تهدف هذه المعاملات إلى حماية الكائنات الحية من المخاطر المحتملة للإشعاع من خلال توفير إرشادات تتعلق بالتعرض المسموح به والمخاطر المرتبطة بأنواع مختلفة من الإشعاع . تم تمثيلها بيانياً في الشكل (1) :



الشكل (1) : معاملات النسيج المرجحة وفقاً لمنشورات اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية، ICRP26 ، ICRP 103 و ICRP60 .

النتائج والمناقشة:

سنعرض فيما يلي نتائج الدراسة التي أجريناها باستخدام كود المحاكاة الإشعاعية MCNP على فانتوم لمرأة حامل خلال الثلث الأول من حملها بعد تحديد ملف الإدخال الذي يتضمن نوع الجسيمات (الفوتونات) وطاقتها ($E = 120 \text{ KeV}$) وجهد أنبوب توليد الأشعة (V)

تقدير الجرعة الممتصة في الأعضاء المهمة لأنثى حامل الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب MDCT
للصدر باستخدام الكود MCNP

(120 kV وكانت شدة تيار التعرض الزمني المطبق في المرحلة الأولى (mA.s) وتم رفعها إلى (100mA.s) في المرحلة الثانية ثم إلى (300mA.s) وقيمة الخطوة (Pitch = 1) وزاوية الحزمة (42.5°) وكانت المسافة بين المصدر ومركز آلة التصوير (60cm)، تم تحديد عدد الشرائح لجهاز التصوير المقطعي MDCT (128 شريحة) .
يشير مصطلح تيار التعرض الزمني في أجهزة التصوير المقطعي المحوسب CT Scan إلى مقدار الإشعاع الذي يتعرض له المريض خلال فترة زمنية محددة أثناء إجراء الفحص، يعتبر هذا التيار أحد العناصر الأساسية التي تحدد جودة الصورة ووضوحها وكذلك مستوى الإشعاع الموجه إلى المريض فكلما زادت شدة التيار حصلنا على صورة أدق وأوضح لكن كآثر جانبي لهذا الإجراء يكون المريض قد تلقى كمية أكبر من الإشعاع .

الجدول (1) : حساب الطاقة المودعة و الجرعة الممتصة في الرحم و في الأعضاء الداخلية المحيطة به عند تطبيق تيار شدته $I = 1 \text{ mA.s}$ ، وتكون طاقة الفوتونات $E=120\text{KeV}$ خلال الثلث الأول من الحمل :

E=120 KeV , I=1 mA.s						
الجرعة الممتصة [Gy=1 J/kg]	الطاقة المودعة [MeV/gr]	مقدار الخطأ	كتلة العضو (gr)	كثافة العضو (g/mm ³)	حجم العضو (mm ³)	الأعضاء
2.01×10^{-6}	1.26E+04	0.0127	1404	1.04	1350	الدماغ
4.51×10^{-6}	3.16E+04	0.0301	12.38	1.04	11.90	الغدة الدرقية
1.04×10^{-5}	6.50E+04	0.0069	349.28	0.30	1180	الرئة اليمنى
1.05×10^{-5}	6.56E+04	0.0071	301.92	0.30	1020	الرئة اليسرى

4.541×10^{-5}	41E+04	0.0409	300	1.04	350	القلب
7.36×10^{-7}	1.03E+04	0.0175	10.61	1.04	10.20	المبيضين
4.68×10^{-6}	2.92E+04	0.0148	644.00	1.40	460.00	الحوض
1.61×10^{-7}	5.63E+03	0.0547	79.04	1.04	76.00	الرحم
3.89×10^{-5}	2.43E+05	0.0048	360.88	1.04	347.00	الثديين

الجدول (2) : حساب الطاقة المودعة و الجرعة الممتصة في الرحم و في الأعضاء الداخلية المحيطة به عند تطبيق تيار شدته $I = 100 \text{ mA.s}$ و تكون طاقة الفوتونات $E=120 \text{ KeV}$ خلال الثلث الأول من الحمل :

E=120 KeV , I=100mA.s						
الجرعة الممتصة [Gy=1 J/kg]	الطاقة المودعة [MeV/gr]	مقدار الخطأ	كتلة العضو (gr)	كثافة العضو (g/ mm ³)	حجم العضو (mm ³)	الأعضاء
2.01×10^{-4}	1.26E+06	0.0127	1404	1.04	1350	الدماغ
4.51×10^{-4}	3.16E+06	0.0301	12.38	1.04	11.90	الغدة الدرقية
1.40×10^{-3}	6.50E+06	0.0069	349.28	0.30	1180	الرئة اليمنى
1.50×10^{-3}	6.56E+06	0.0071	301.92	0.30	1020	الرئة اليسرى
4.541×10^{-3}	41E+06	0.0409	300	1.04	350	القلب
7.36×10^{-5}	4.60E+06	0.0963	10.61	1.04	10.20	المبيضين
4.68×10^{-4}	2.92E+06	0.0148	644.00	1.40	460.00	الحوض
1.61×10^{-5}	5.63E+05	0.0547	79.04	1.04	76.00	الرحم
3.89×10^{-3}	2.43E+07	0.0048	360.88	1.04	347.00	الثديين

الجدول (3) : حساب الطاقة المودعة و الجرعة الممتصة في الرحم و في الأعضاء الداخلية المحيطة به عند تطبيق تيار شدته $I=300 \text{ mA.s}$ طاقة الفوتونات $E=120 \text{ KeV}$ خلال الثلث الأول من الحمل :

E=120 KeV , I=300 mA.s						
الجرعة الممتصة [Gy=1 J/kg]	الطاقة المودعة [MeV/gr]	مقدار الخطأ	كتلة العضو (gr)	كثافة العضو (g/mm ³)	حجم العضو (mm ³)	الأعضاء
6.03×10^{-4}	3.77E+06	0.0127	1404	1.04	1350	الدماغ
1.44×10^{-3}	9.48E+06	0.0301	12.38	1.04	11.90	الغدة الدرقية
3.12×10^{-3}	19.5E+06	0.0069	349.28	0.30	1180	الرئة اليمنى
3.15×10^{-3}	19.7E+06	0.0071	301.92	0.30	1020	الرئة اليسرى
20.32×10^{-3}	12.3E+07	0.0409	300	1.04	350	القلب
22.08×10^{-5}	13.8E+06	0.0175	10.61	1.04	10.20	المبيضين
14.04×10^{-4}	8.76E+06	0.0148	644.00	1.40	460.00	الحوض
4.83×10^{-5}	16.89E+05	0.0547	79.04	1.04	76.00	الرحم
11.67×10^{-3}	7.29E+07	0.0048	360.88	1.04	347.00	الثديين

يلاحظ من الجداول (1,2,3) أن أعلى قيمة للجرعة الممتصة في الرحم $(4.83 \times 10^{-5} \text{ Gy})$

كانت عند تيار تعرض زمني قيمته 300 mA.s أو مع ذلك فإن هذه الجرعة

التي امتصها الجنين خلال الدراسة كانت أقل من الجرعة الجنينية المسموحة (0.3 -

[8] 18 m Gy ، هذا يضمن أن الجنين لن يتعرض للمخاطر المرتبطة بالتعرض للإشعاع)

أخطرها الإجهاض ، و حدوث خلل في تكوين الجهاز العصبي ، سرطان الطفولة [9]. لكن

أيضا يجب الاهتمام بسلامة باقي الأعضاء للأم الحامل خاصة تلك المسؤولة عن تكوين الجنين

ونموه وتطوره (مثل الغدة الدرقية والقلب) لاسيما أن مراحل الحمل الأولى تعد هي الأهم والأخطر كونها مرحلة التمايز والانقسام السريع للخلايا .

تشير الدراسات إلى أن الغدة الدرقية هي من الأعضاء الأكثر امتصاصا للإشعاع حيث بلغت [10] $(19.3 m Gy)$ عند إجراء صورة إشعاعية لمنطقة البطن والصدر والحوض، من هنا جاء سبب التركيز على سلامة ونشاط الغدة الدرقية للأم الحامل عند إجراء الصورة حيث أن الهرمونات التي تفرزها الغدة مسؤولة عن نمو وتطوير الجهاز العصبي والدماغ للجنين وإن أي خمول للغدة سيسبب تأخر في نمو الجنين ومشاكل في التعلم والسلوك [11]، كما تشير بعض الدراسات إلى أن مشاكل القلب يمكن أن تؤثر على التطور العصبي والذهني للجنين إضافة لمشاكل أخرى كالولادة المبكرة ومشاكل أخرى تتعلق بعدم كفاءة تبادل الدم والأكسجين والغذاء بين الأم والجنين [12] .

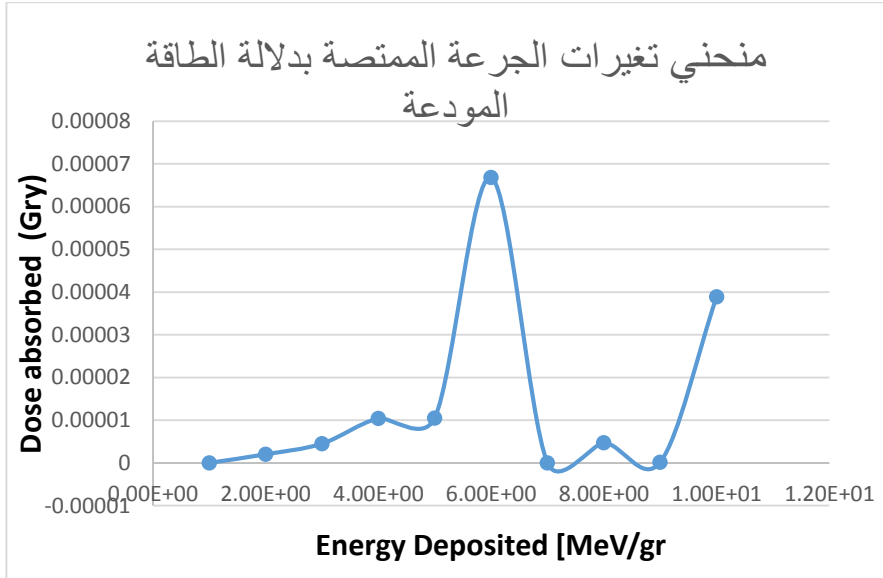
بلغت أكبر جرعة امتصتها الغدة الدرقية $(1.44 mGy)$ وأكبر جرعة امتصها القلب $(20.3 mGy)$ عند تطبيق تيار تعرض زمني $= 300 mA.s$ وهذا يتوافق مع القيم المرجعية جرعة الغدة الدرقية $(3.14 mGy)$ و جرعة القلب [13] $(20.09 mGy)$ وكانت جرعة القلب $(36.3 mGy)$ والغدة $(2.79 mGy)$ وفق المرجع [14] وتعود هذه الاختلافات البسيطة في قيم الجرعات بين دراستنا والقيم المرجعية إلى عدة عوامل مثل اختلاف حجم الأعضاء وزاوية مصدر الأشعة والتصميم الهندسي للفانتوم.

وفي كلا القيمتين كانت الجرعة الممتصة ضمن حدود الجرعة الإشعاعية المسموحة في عمليات التصوير المقطعي المحوسب [15] $((100 - 200 m Gy))$ ، هذا يعني أن الغدة الدرقية والقلب لن يتعرضا لأذية أو خلل نتيجة التعرض للإشعاع وبالتالي لن يكون هناك أخطار محتملة على نمو الجنين .

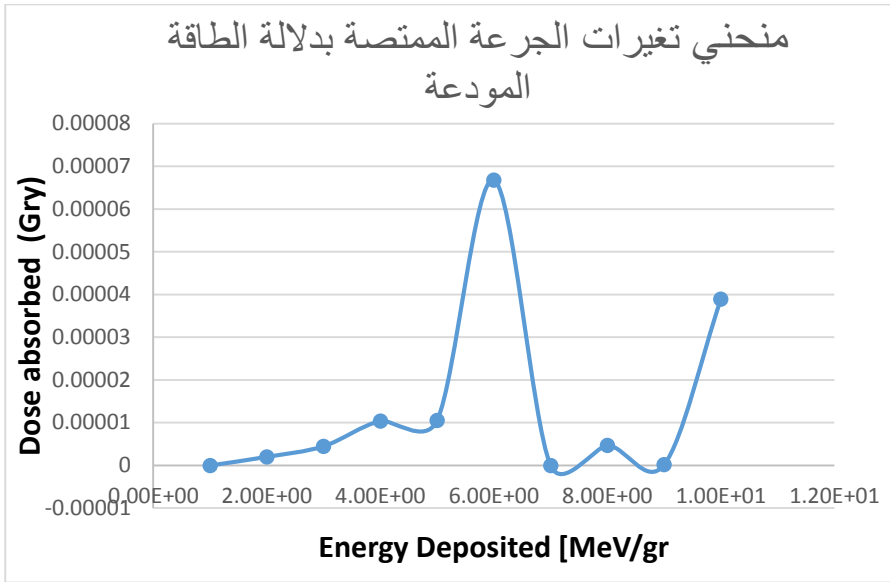
الجدول (4) : الجرعة الممتصة في الرحم و في الأعضاء الداخلية المحيطة به عند تطبيق قيم مختلفة لتيار تعرض زمني شدته و طاقة فوتونات $E=120 \text{ KeV}$:

الجرعة الممتصة Gy $I=300 \text{ mA. s}$	الجرعة الممتصة Gy $I=100 \text{ mA. s}$	الجرعة الممتصة Gy ($I = 1 \text{ mA. s}$)	الأعضاء
6.03E-04	2.01E-04	2.01E-06	الدماغ
1.44E-03	4.51E-04	4.51E-06	الغدة الدرقية
3.12E-03	1.40E-03	1.04E-05	الرئة اليمنى
3.15E-03	1.50E-03	1.05E-05	الرئة اليسرى
20.32E-03	4.541E-03	4.541E-05	القلب
22.08E-05	7.36E-05	7.36E-07	المبيضين
14.04E-04	4.68E-04	4.68E-06	الحوض
4.83E-05	1.61E-05	1.61E-07	الرحم
11.67E-03	3.89E-03	3.89E-05	الثديين

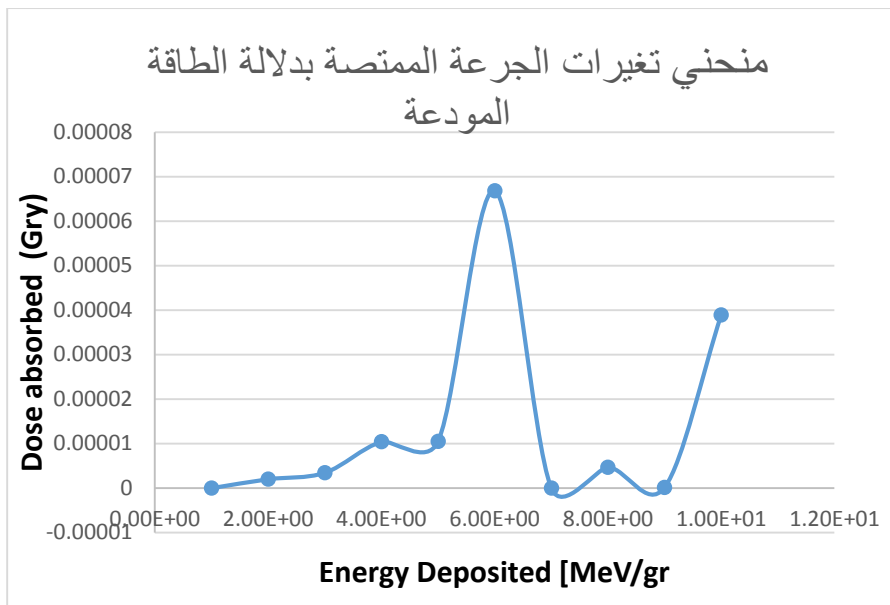
يلاحظ من الجدول (4) وجود علاقة خطية بين زيادة قيمة الجرعة الممتصة في جميع الأعضاء وزيادة زمن التعرض ، حيث أن قيمة الجرعة عند تطبيق تيار تعرض ($I = 300 \text{ m/As}$) بلغت تقريبا ثلاث أضعاف قيمة الجرعة عند تطبيق تيار ($I = 100 \text{ m/As}$) ، كما أن قيمة الجرعة الممتصة عند تيار تعرض زمني ($I = 100 \text{ m/As}$) ازدادت مئة مرة تماما عن قيمتها عند تطبيق تيار ($I = 1 \text{ m/As}$)، لكن بما أن جميع الجرعات الممتصة العظمى في الأعضاء بقيت أقل من القيم المسموحة خلال عمليات التصوير المقطعي المحوسب لأبأس بزيادة زمن التعرض الزمني للإشعاع إن استدعت الحاجة وكانت حالة المريضة تستدعي الحصول على صورة أدق وأكثر وضوحا .



الشكل (2) : منحني تغيرات الجرعة الممتصة في الأعضاء المذكورة في الجداول (1, 2, 3) بدلالة الطاقة المودعة عند تطبيق تيار شدته $I=1mA.s$, وتكون طاقة الفوتونات $E=120KeV$ خلال الثلث الأول من الحمل .



الشكل (3) : منحني تغيرات الجرعة الممتصة في الأعضاء المذكورة في الجداول (1, 2, 3) بدلالة الطاقة المودعة عند تطبيق تيار شدته $I=100\text{mA.s}$, وتكون طاقة الفوتونات $E=120\text{ KeV}$ خلال الثلث الأول من الحمل .

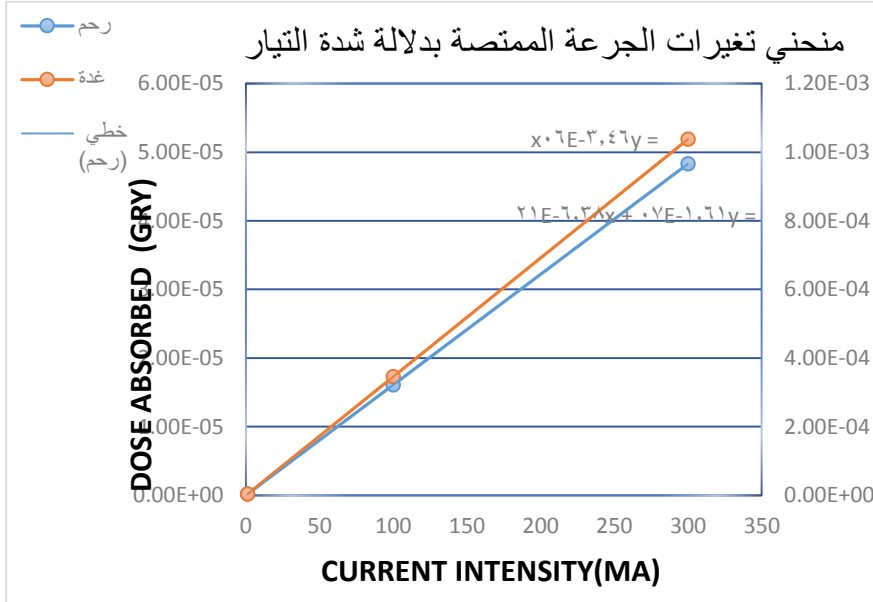


الشكل (4) : منحني تغيرات الجرعة الممتصة في الأعضاء المذكورة في الجداول (1, 2, 3) بدلالة الطاقة المودعة عند تطبيق تيار شدته $I=300\text{mA.s}$ وتكون طاقة الفوتونات $E=120\text{ KeV}$ خلال الثلث الأول من الحمل .

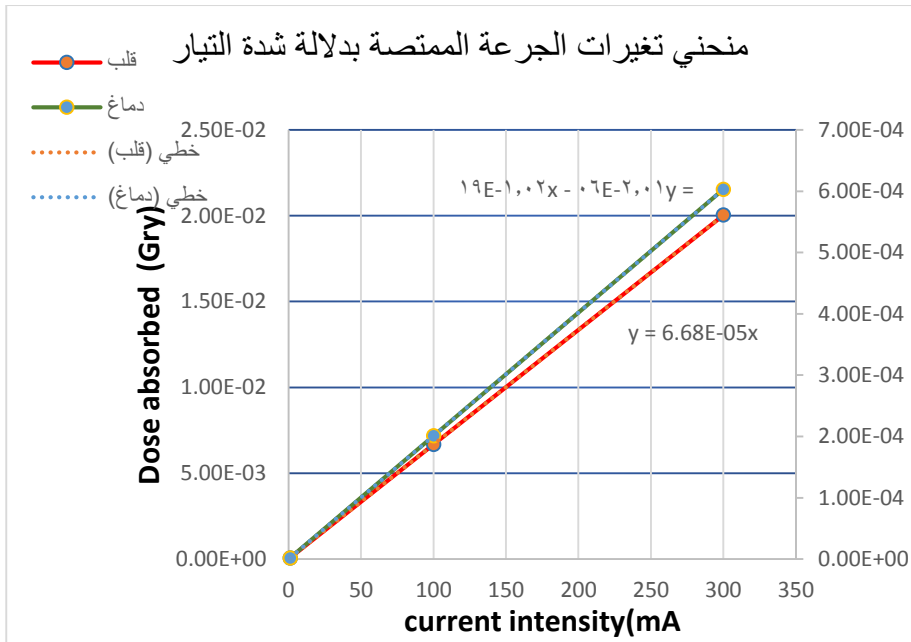
يلاحظ من الشكل (2) أن أعلى جرعة ممتصة كانت في القلب (البطينين الأيسر والأيمن مع محتوياتهما من الدم والأذنين مع محتوياتهما من الدم) والثديين والرئتين والغدة الدرقية على التوالي عند تيار تعرض زمني $I=1\text{mA.s}$ ، وحصلنا على ذات النتيجة عندما تم رفع تيار التعرض الزمني إلى $I=100\text{mA.s}$ الشكل (3)، ثم $I=300\text{mA.s}$ الشكل (4) وهذا يتفق مع المرجع [14] .

تقدير الجرعة الممتصة في الأعضاء المهمة لأنثى حامل الناتجة عن التصوير المقطعي المحوسب MDCT
للصدر باستخدام الكود MCNP

بالنظر إلى الجداول (1, 2, 3) نلاحظ أن كمية الأشعة الممتصة في الأعضاء وفق التسلسل القلب الثديين رئة (بمنى _ يسرى) غدة حوض دماغ مبيضين رحم على التوالي تتفق مع معاملات النسيج المرجحة وفقاً لمنتشورات اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعي [7] (ICRP 103(2007) .



الشكل (4) : منحني تغيرات الجرعة الممتصة في الغدة الدرقية والرحم بدلالة شدة تيار التعرض الزمني عند تطبيق تيارات مختلفة شدتها (I = 1 – 100 – 300) mA.s وتكون طاقة الفوتونات E=120 KeV خلال الثلث الأول من الحمل .



الشكل(5): منحني تغيرات الجرعة الممتصة في القلب والدماغ بدلالة شدة تيار التعرض الزمني عند تطبيق تيارات مختلفة شدتها $(I = 1 - 100 - 300) \text{mA}$ ، وتكون طاقة الفوتونات $E=120 \text{ KeV}$ خلال الثلث الأول من الحمل .

يظهر من الشكل (4) أن العلاقة بين الجرعة الممتصة في (الغدة الدرقية والرحم) وتيار التعرض الزمني في هي علاقة طردية ممثلة بخط مستقيم مار بالمبدأ $(0,0)$ تعطى بالمعادلات :

معادلة المستقيم لتغيرات الجرعة الممتصة في الغدة الدرقية بدلالة تيار التعرض الزمني :

$$y = 3.46 \times 10^{-6} X \quad (3)$$

معادلة المستقيم لتغيرات الجرعة الممتصة في الرحم بدلالة تيار التعرض الزمني :

$$y = 1.61 \times 10^{-7} X \quad (4)$$

يظهر من الشكل (5) أن العلاقة بين الجرعة الممتصة في (القلب والدماغ) وتيار التعرض الزمني هي أيضا علاقة طردية ممثلة بخط مستقيم مار بالمبدأ $(0,0)$ تعطى بالمعادلات :

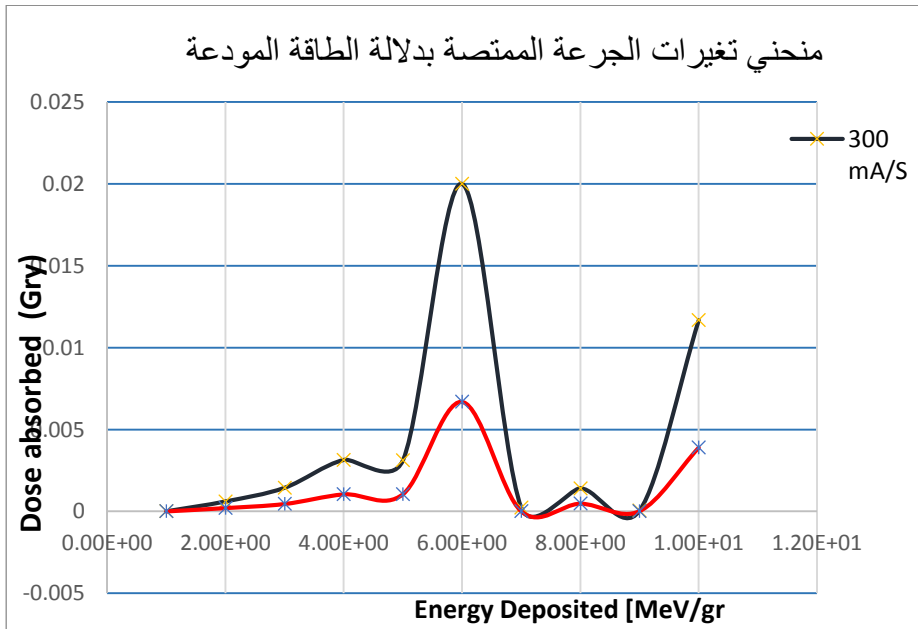
معادلة المستقيم لتغيرات الجرعة الممتصة في القلب بدلالة تيار التعرض الزمني :

$$y = 2.01 \times 10^{-6} X \quad (5)$$

معادلة المستقيم لتغيرات الجرعة الممتصة في الدماغ بدلالة تيار التعرض الزمني :

$$y = 6.68 \times 10^{-5} X \quad (6)$$

يعود الاختلاف بين الخطين المستقيمين في الشكل (4) إلى اختلاف بنية وكثافة الأعضاء وحجمها بالتالي اختلاف قيمة الجرعة الممتصة وحسب نتائج دراستنا وبالرجوع إلى معاملات النسج المرجحة التي وضعتها الوكالة الدولية للحماية من الإشعاع [7] (ICRP 103(2007) تكون الجرعة الممتصة في الغدة الدرقية أعلى من الجرعة الممتصة في الرحم . كذلك الأمر بالنسبة للشكل (5) الخط المستقيم الأعلى يدل أن الجرعة الممتصة في الدماغ أعلى من الجرعة الممتصة في القلب .



الشكل (6) : منحني تغيرات الجرعة الممتصة في الأعضاء المذكورة في الجداول (1, 2, 3) بدلالة الطاقة المودعة عند تطبيق تيار شدته (I = 100 – 300)m/As وتكون طاقة الفوتونات E=120 KeV خلال الثلث الأول من الحمل .

وفق الشكل (6) نلاحظ من خلال سلوك المنحني الخاص بقيم الجرعات الممتصة في مختلف الأعضاء (الدماغ والرئتين والغدة الدرقية والقلب والثديين والمبيضين والحوض والرحم) عند تطبيق تيار

$(I = 300) \text{mA.s}$ (المنحني الأعلى) و المنحني الخاص بقيم الجرعات الممتصة في مختلف الأعضاء عند تطبيق تيار $(I = 100) \text{mA.s}$ (المنحني الأدنى) أن زيادة الجرعة الممتصة في الأعضاء تتناسب طرذا مع زيادة تيار التعرض الزمني وهذا يتفق مع المرجع [16] ومن خلال مقارنة قيم الجرعات في الجدول (2,3) نجد أن الجرعة الممتصة عند تطبيق تيار تعرض $(I = 300) \text{mA.s}$ ازدادت بمقدار ثلاثة أضعاف تقريبا عن قيم الجرعات الممتصة عند تطبيق تيار تعرض $(I = 100) \text{mA.s}$.

إن القمة في الخطين البيانيين في الشكل (6) هي قيمة الجرعة الإشعاعية الممتصة في القلب (أعلى جرعة ضمن هذه الدراسة من بين الأعضاء المدروسة) .

المناقشة و الإستنتاجات :

1. نلاحظ أن أعلى جرعة ممتصة من قبل الأعضاء المدروسة كانت في القلب والغدة الدرقية والثديين والرئتين وهذا يتفق مع المرجع [14][13].
2. الجرعة الممتصة في الأعضاء المدروسة تتفق مع معاملات النسيج المرجحة وفق تقرير اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP103).
3. وجدنا أن الزيادة في قيمة الجرعة الممتصة في الأعضاء المدروسة تتناسب طرذا مع زيادة شدة التيار .

4. يمكننا أن نقول من خلال دراستنا أن زيادة تيار التعرض الزمني للإشعاع حتى القيمة $(I = 300) \text{mA.s}$ يساعد في الحصول على صورة أكثر دقة ووضوح إن استدعت الحاجة دون تعريض المريضة أو جنينها للخطر لكن يبقى هذا الخيار متعلقا بالتقدير الجيد من قبل الفنيين لحالة المريضة .

في النهاية يمكن القول أن رغم الفائدة الطبية التي تحققها أجهزة التصوير المقطعي المحوسب إلا أنه يجب دائما الوقوف عند فكرة خطر الإشعاع وآثاره الخطرة التي يمكن أن يتعرض لها المريض على المدى القريب و ربما البعيد في بعض الحالات خاصة في الحالات التي يحتاج فيها المريض إلى إجراء تصوير إشعاعي متكرر خلال السنة ، هنا يجب أن يكون هناك تقدير جيد من قبل الفنيين المختصين لتحقيق توازن جيد بين جودة الصورة المطلوبة وكمية الإشعاع المسموحة والتي يفضل دائما أن تكون بحدودها الدنيا كما يجب أن لا تجرى الصور الإشعاعية إن لم يكن هناك حاجة طبية تستدعي ذلك . إن النتائج التي حصلنا عليها من خلال دراستنا جيدة لكننا أجريت على مجسم رقمي بأبعاد قياسية وهنا يجب عدم إغفال أن هذه القيم يمكن أن تختلف حسب طول ووزن المريض وجنسه وعمره .

المراجع :

1. Pelowitz, D. B. (Ed.), "MCNPX User's Manual, Version 2.7.0," Los Alamos National Laboratory, LA-CP-11-00438, 2011.
2. X-5 Monte Carlo Team. MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. USA: Los Alamos National Laboratory, April 24; Volume II (LA-CP-03-0245); 2003. p. 484.
3. PatriziaKunert, Helmut Schlattl, Sebastian Trinkl, EdilaineHonorio da Silva, Detlef Reichert, Augusto Giussani . 3D printing of realistic body phantoms: Comparison of measured and simulated organ doses

- on the example of a CT scan on a pregnant woman. The International Journal of Medical Physics research and Practice .2024 . VOL 51 .
4. Lou T, KIDware. Learn Visual Basic 6.0. Bellevue. WA 98008 (206) 721–2556; 1998. p. 448.
 5. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 26, "The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ",1977.
 6. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 103, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ",2007.
 7. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 60, " The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ",1991.
 8. PatriziaKunert, Helmut Schlattl, Sebastian Trinkl, EdilaineHonorio da Silva, Detlef Reichert, Augusto Giussani . 3D printing of realistic body phantoms: Comparison of measured and simulated organ doses on the example of a CT scan on a pregnant woman. The International Journal of Medical Physics research and Practice .2024 . VOL 51 . ISSUE 12.
 9. Williams PM, Fletcher S. Health effects of prenatal radiation exposure. Am Fam Physician. 2010 Sep 01;82(5):488-93. [PubMed].
 10. Lienard A Chang¹, Donald L Miller, Choonsik Lee, Dunstana R Melo. Thyroid Radiation Dose to Patients from Diagnostic Radiology Procedures over Eight Decades: 1930-2010. The National Library of Medicine 2017. PMID 28968349.
 11. Nora K Moog , Sonja Entringer , Christine Heim , Pathik D Wadhwa , Norbert Kathmann^f , Claudia Buss. Influence of maternal thyroid hormones during gestation on fetal brain development .The National Library of Medicine. Neuroscience. 2015. 342:68–100.
 12. Syed F. Iftikhar; Mimi Biswas Cardiac Disease in Pregnancy .The National Library of Medicine. 2023. PMID.4718520 .
 13. Sultan Almaasfeh , Abdulrahman Salahudeen , Mohammed Salih , Ahmed Abukonna. Estimation of effective and organ dose from chest

CT.Radiation Physics and Chemistry JOURNAL (2023). Volume 249.

14. Tawfik Abo Shdeed , Majeda Nahili , Nicloa Abo Issa , Abdalkader Bitar .Study of absorbed dose in important organs during helical CT chest scan using MCNP code and MIRD phantom . The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine(2016) VOL 47 .
15. Carl H Schultz , Romeo Fairley , Linda Suk-Ling Murphy, Mohan Doss . The Risk of Cancer from CT Scans and Other Sources of Low-Dose Radiation: A Critical Appraisal of Methodologic Quality. The . National Library of Medicine 2020 . PMID 32009606.
16. Ayman Mokhtar , Mohamed Elawdy , MaysaAbd El-Hamid , Huda Refaie^a, Tarek A. El-Diasty , Sabry El Mogy. Radiation dose associated with common computed tomography examination. The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine. (2017). VOL 48. ISSUE 3.

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيديازول المُحَفَّزَّ بألكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية والحرارية

اشراف : د. د. رشدي مدور ، د. محمد كيشي

اعداد : الطالبة روان عميش

المخلص

تم في هذا البحث تحضير مشتق إيثر للكيتوزان من خلال تفاعل إيترية مع مركب الميترونيديازول باستخدام محفزات ألكوكسيدات الصوديوم (بروبوكسيد، بوتوكسيد، هيبتوكسيد الصوديوم).

حيث تم تحضير حفازات أساسية من ألكوكسيدات الصوديوم بغية استخدامها كحفاز في تحضير مشتق إيترية للبولي سكاريد، علماً أن ألكوكسيدات الصوديوم ليست نيوكلوفيلات فقط بل هي أسس قوية أيضاً.

أظهرت النتائج تفوق بيوتوكسيد الصوديوم كحفاز حيث حقق أعلى مردود قدره 85% و عند زمن تفاعل 19 ساعة عند درجة حرارة 90°C .

كما تم قياس درجة الإستبدال لنواتج الأيترية من أجل تحديد الزمر المستبدلة والحصول على أعلى درجة إستبدال ، وبعد ذلك تم تحديد بعض الخصائص الفيزيائية لنواتج الأيترية من خلال قياس درجة العكارة والكثافة لمحاليلها المائية ، كما أُجري المسح الحراري التفاضلي، والتحليل الحراري الوزني حيث تبين نتيجة الدراسة أن ظهور قمة عند الدرجة 230°C عائدة إلى تفكك الرابطة الأيترية بين الكيتوزان والميترونيديازول لم تكن موجودة بالكيتوزان.

أخيراً تم تحديد بنى المركبات الناتجة باستخدام الطرائق الطيفية المناسبة (FT-IR, ¹H-NMR).

.NMR)

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيدازول المُحفَّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية
والحرارية

الكلمات المفتاحية: الكيتوزان، المترونيدازول، ألكوكسيدات الصوديوم، درجة الإستبدال، DSC،

.TGA

Synthesis and Characterization of Chitosan-Metronidazole Ether Derivative Using Sodium Alkoxides as Catalysts: Physical and Thermal Properties Study

Abstract

In this research, the chemical structure of chitosan as a polysaccharide containing hydroxyl and amino groups was modified by a etherification reaction. In the first stage, basic catalysts were prepared from sodium alkoxides in order to use them as catalysts in modifying the chemical structure of chitosan and obtaining an ethereal derivative of the polysaccharide, but sodium alkoxides not only nucleophiles, they are also strong bases. Chitosan was reacted with metronidazole using : (sodium propoxide, sodium butoxide, and sodium heptoxide) as the basic medium, and the highest yield was obtained with the sodium butoxide catalyst 85% in a short time 19hours at 90 °C.

The degree of substitution of the etherification products was determined in order to identify the substituted moieties and obtain the highest degree of substitution, and then some physical properties of the etherification products were determined by density of their aqueous solutions, differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis The study results showed that the peak observed at 230°C, corresponding to the cleavage of the ether bond between chitosan and metronidazole, was not present in chitosan alone.

finally the structures of the resulting compounds were determined by (FT-IR, ¹H-NMR) spectroscopic methods.

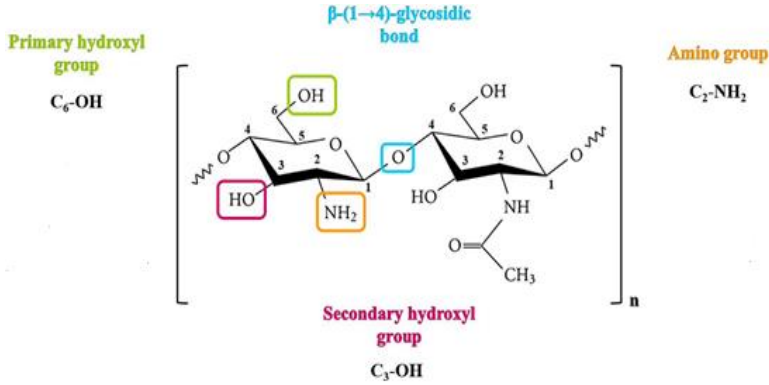
Key Words: Chitosan, metronidazole, sodium alkoxides, degree of substitution.

1. المقدمة (Introduction):

يُعد الكيتوزان (**Chitosan**) من المركبات الحيوية ذات الأهمية الكبيرة نظراً لخصائصه الفريدة مما جعله محط اهتمام الباحثون في مجالات تطبيقية متعددة [1]، حيث يُعتبر ثاني أكثر البوليميرات وفرة في الطبيعة بعد السيللوز [2]، ويشتق طبيعياً من الكيتين (**Chitin**) [3] الذي يتواجد أساساً في الهياكل الخارجية للقشريات البحرية مثل الجمبري وسرطان البحر، وجدران الخلايا الفطرية [4].

يتميز الكيتوزان بخصائصه الحيوية الفريدة، بما في ذلك كونه غير سام [5]، ومتوافقاً حيوياً [6]، وقابل للتحلل البيولوجي [7][8]، ويمتاز بنشاطه المضاد للميكروبات [9]، مما يجعله مادة ذات أهمية كبيرة، إلا أن قابليته المحدودة للذوبان في الماء وقدرته الامتزاجية غير المحسنة، مما يحد من كفاءته العملية في العديد من التطبيقات الطبية والصيدلانية والصناعية.

يحتوي الكيتوزان على زمرتين هيدروكسيليتين "أولية على ذرة الكربون C6 وثنائية" على ذرة الكربون C3 قادرتين على تشكيل العديد من الروابط الهيدروجينية بين السلاسل البوليميرية (انظر الشكل (1))، كما يحتوي على زمرة أمينية على ذرة الكربون C2 [10].



الشكل(1): الصيغة الكيميائية للكيتوزان

توجّهت معظم الأبحاث نحو تعديل الكيتوزان كيميائيًا لإنتاج مشتقات جديدة ذات خصائص مُعدّلة، من بين هذه التعديلات برزت تفاعلات الأيترة كوسيلة فعالة لتحسين الذوبانية والنشاط الحيوي للكيتوزان. ومن هنا تركز هذا البحث اصطناع مشتق جديد للكيتوزان من خلال تفاعل الكيتوزان مع مركب دوائي (المترونيدازول) عبر تفاعل الأيترة.

تتمكّن أهمية تفاعلات التعديل الكيميائية للكيتوزان في إمكانية الحصول على مشتقاته وفق تفاعلات مباشرة، تعطي مشتقاته مواصفات فيزيائية وكيميائية مختلفة عن البوليمر الأصلي، التي تجعل استخدام مشتقاته من الأمور الهامة، لدرجة أن العديد من مشتقات الكيتوزان قد تم تطويرها لتحسين قابليتها للذوبان، مثل كربوكسي ميثيل كيتوزان [11]، و الكيتوزان الرباعي الأمونيوم [12]، و هيدروكسي بروبيل كيتوزان [13]، وغيرها

يتميز الكيتوزان ومشتقاته بتطبيقات هامة في العديد من المجالات، مثل التئام الجروح [14]، توصيل الأدوية [15]، علاج السمّة [16]، هندسة أنسجة العظام [17]، مضادات الأكسدة [18]، مضادات الفطريات [19]، الطب التجديدي [20]، والمواد المساعدة المخاطية [21].

لذا تم إجراء العديد من تفاعلات التعديل الكيميائية على بنية الكيتوزان الهيكلية، وكان الهدف من هذه التفاعلات استخدام الكيتوزان ومشتقاته في مجالات صناعية متنوعة: (مستحضرات دوائية، مستحضرات تجميل، استخدامات طبية، غذائية، نسيجية، زراعية... إلخ) يُعد تفاعل أيترة الزمر الهيدروكسيلية في البولي سكاريدات (الكيتوزان) من أهم طرائق التعديل، لسهولة إجراء مقارنة مع الطرائق الأخرى من جهة، ولتمتع المركبات الناتجة عن تفاعل الأيترة بخصائص مرغوبة من جهة أخرى، مثل الذوبانية والنشاط البيولوجي، ويتم التفاعل عادة باستخدام حفازات أساسية.

2. هدف البحث وأهميته (Research Aim and Importance):

نظراً لما يتمتع به الكيتوزان ومشتقاته من أهمية كبيرة في العديد من المجالات، لذلك يهدف هذا البحث إلى:

(1) اصطناع مشتق إيثري للكيتوزان وذلك بتعديل بنيته الكيميائية باستخدام الميترونيدازول وفق شروط مناسبة للحصول على ناتج بمردود جيد ودراسة خصائصه الفيزيائية المختلفة

(2) تحديد هوية الناتج باستخدام المطيافيات المناسبة لتحقيق أعلى درجة استبدال للناتج المُحضر.

3. الجزء العملي (Experimental Section):

3-1- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- ❖ جهاز طيف الطنين النووي المغناطيسي بروتوني نموذج 400MHz من إنتاج شركة Bruker السويسرية (هيئة الطاقة الذرية - دمشق).
- ❖ جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء نموذج FT-IR-4100 من إنتاج شركة Jasco اليابانية.
- ❖ جهاز تحليل حراري تفاضلي (Differential Scanning Calorimetry) يحمل الرمز DSC131 من شركة (SETARAM) صنع فرنسا (هيئة الطاقة الذرية-دمشق).
- ❖ جهاز تحليل الحراري الوزني Thermogravimetry Analyser يحمل الرمز TG 50 من شركة (Mettler Toledo) ، صنع سويسرا (هيئة الطاقة الذرية-دمشق).
- ❖ فرن تجفيف نوع .memert.
- ❖ جهاز قياس عكارة نوع Martini instruments Mi 415 .
- ❖ ميزان تحليلي حساس بدقة تصل إلى (0.0001gr).
- ❖ ميزان حرارة لمراقبة درجة حرارة التفاعل.
- ❖ سخّانة مُزودة بمحرك مغناطيسي.
- ❖ صفائح كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة من الألمنيوم مطاينة بالسيليكا جل 60F254 قياس 20×20 من شركة Merck الألمانية.

3-2-المواد الكيميائية المستخدمة:

(المترونيديازول، الكيتوزان ، معدن الصوديوم، حمض كلور الماء، نظامي الهكسان،
خلات الإيتيل، ميتانول، حمض الخل الثلجي، ايتانول، بوتانول، بروبانول، هبتانول)،
علماء إن جميع المواد الكيميائية المستخدمة في هذا البحث من إنتاج شركة: PDH .

MERCK & SIGMA ALDRICH

3-3- إجراء التجارب:

3-3-1- تحضير حفازات ألكوكسيد الصوديوم المستخدمة لتفاعل الأيترة للكيبتوزان [22]:

يُضاف إلى أرلينة سعة (50ml) مزودة بسخانة ومحرك مغناطيسي (0.065 mol- 1.495g) من معدن الصوديوم بعد تقطيعه جيداً، ثم يُضاف البروبانول مع التحريك لمدة أربعة وعشرون ساعة حتى إذابة قطعة الصوديوم، ثم رُفعت درجة الحرارة حتى الوصول لدرجة غليان البروبانول (98 °C) وذلك لتبخير الفائض من البربانول، ثم وضعت العينة في المجففة حتى الجفاف التام للحصول على مادة صلبة، طُحنت بشكل جيد للحصول على بودرة.

للتأكد من أساسية الحفاز المُحضر، تم إذابة عينة صغيرة من المسحوق في ماء مقطر، ثم قياس درجة الحموضة (pH) للمحلول المائي الناتج باستخدام مقياس درجة الحموضة.

وتمت نفس العملية لتحضير حفازات ألكوكسيد الصوديوم من البوتانول والهبتانول،

مع الأخذ بعين الاعتبار رفع درجة حسب درجة الغليان لتبخير الكحول المُستخدم (117 °C) للبتانول و(176 °C) للهبتانول).

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيدازول المُحفَّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية الحرارية

HepONa	BuONa	PrONa	الحفاز المُحضر
CH ₃ (CH ₂) ₆ ONa	CH ₃ (CH ₂) ₃ ONa	CH ₃ CH ₂ CH ₂ ONa	صيغته
% 88	% 75	% 70	المردود
أبيض	أبيض مصفر	أصفر	لون
117°C	110°C	98°C	درجة الانصهار

الجدول (1): بعض الخصائص الفيزيائية للحفازات المُحضرة

3-3-2- اصطناع مشتق ايتري للكيتوزان من خلال تفاعله مع المترونيدازول.

يُضاف إلى حوجلة مُصنفة أحادية الفتحة سعة 100 mL ومُجهزة بسخانة ومحرك مغناطيسي ومبرد عكوس وحمام زيتي (0.1 g-0.00062 mol) من الكيتوزان المُذاب في (5mL) من حمض كلور الماء الممدد بتركيز (10 %)، ثم يُضاف (0.1062g -0.00062 mol) من المترونيدازول، و(0.01g) من الحفاز القلوي المُحضر، حُرك مزيج التفاعل عند درجة حرارة 90°C مع مراقبة سير التفاعل بوساطة كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (T.L.C) لمتابعة انتهاء المادة الأولية باستخدام جملة جرف مكونة من (ميتانول:هكسان) (30%:70%)

بعد انتهاء التفاعل، تُرك المزيج ليبرد إلى درجة حرارة المخبر، أخيراً يتم ترشيحه وغسله عدة مرات بالميتانول ليتم التخلص من آثار المواد المتفاعلة، ثم يجفف الراسب جيداً ويتم وزنه حيث تم الحصول على أعلى مردود عند استخدام الحفاز بروبوكسيد الصوديوم بمردود 85% ودرجة إستبدال 0.3.

حيث حُسبت درجة الإستبدال لنواتج الأيترة المُحضر وفق ما يلي:

يوزن 0.05 g من الناتج ويحل في مزيج من الماء والأسيتون (25mL) بنسبة 1:1 مع التحريك لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة المخبر ، بعد ذلك يضاف 1.25mL من هيدروكسيد البوتاسيوم 1M المحضر بالإيتانول إلى المزيج السابق مع التحريك لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة المخبر ثم يُعاير فائض القلوي بمحلول من حمض كلور الماء 0.05M باستخدام مشعر الفينول فتالئين، ويُضاف فائض للمحلول مقداره 2mL من حمض كلور الماء، ويترك لمدة 24 ساعة، ثم يُعاير المُتبقّي باستخدام محلول من هيدروكسيد البوتاسيوم 0.05M .

3-3-3- تحديد بعض الخصائص الفيزيائية للمشتق الإيثري للكيروزان المحضر

لتحديد بعض الخصائص الفيزيائية للمشتق الإيثري للكيروزان المحضر وُضع في بيشر مزود بمحرك مغناطيسي 0.01gr من ناتج التفاعل، ثم أُضيف 10mL ماء مقطر مع التحريك عند درجة حرارة ° 30C لمدة نصف ساعة، فيتشكل محلول معلق لزج القوام، بتركيزه "0.01gr/10ml".

(a) قياس درجة العكارة Degree of Turbidity :

يُقاس باستخدام جهاز قياس العكارة، حيث وُضع 10 ml من المحلول السابق في عبوة و وُضعت في خلية قياس نظيفة ضمن الجهاز ، وسُجلت درجة العكارة للتركيز المُحضر .

(b) قياس الكثافة Density:

تم ذلك باستخدام مقياس الكثافة، ومن ثم طُبقت علاقة الكثافة:

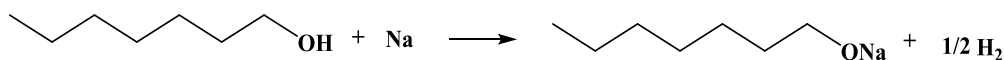
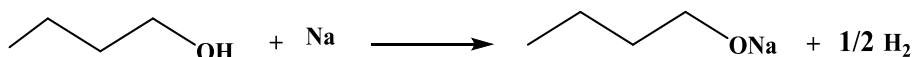
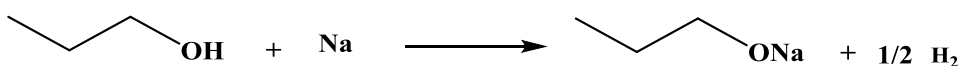
$$d=m/v$$

حيث : m: وزن المحمول (gr) ، v: حجم المحلول (mL)

المرحلة الخامسة: التوصيف الحراري للبوليمر المُحضر :

يُعد التوصيف الحراري للبوليمر (المشتق الإيثري للكيتوزان) المُحضَّر من أهم الطرائق المُستخدمة لمعرفة ثباته الحراري وإمكانية استخدامها في التطبيقات الملائمة، ومن أهم طرائق التحليل الحراري المسح الحراري التفاضلي DSC و التحليل الحراري الوزني TGA و... إلخ

4- النتائج والمناقشة:



بروبوكسيد الصوديوم



هبتوكسيد الصوديوم



بوتوكسيد الصوديوم

شكل (2): الحفازات الأساسية التي تم تحضيرها.

4-1- دراسة حفازات ألكوكسيد الصوديوم المحضرة:

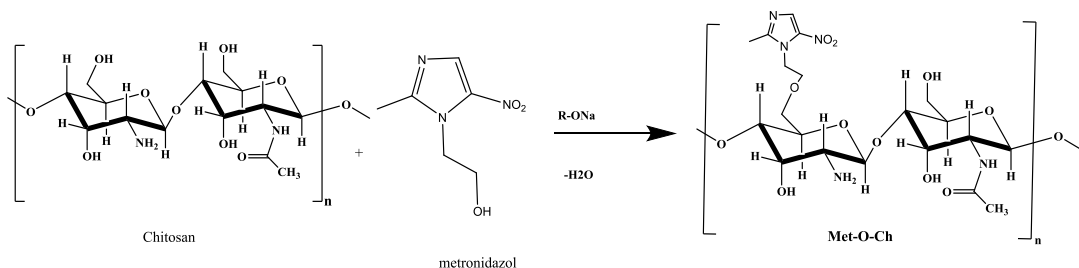
تبيين من خلال تحضير حفازات ألكوكسيد الصوديوم مايلي:

- يؤدي زيادة طول السلسلة الهيدر وكربونية للحفاز (من PrONa القصيرة للسلسلة إلى HepONa الأطول) إلى ارتفاع درجة الانصهار (98 من إلى 117°C)، يشير هذا إلى زيادة قوى التجاذب بين الجزيئات (قوى فان دير فالس) في البلورة، مما يعكس بنية أكثر تنظيماً واستقراراً للحفاز في حالته الصلبة.
- المردود الأعلى للحفاز ذو السلسلة الأطول (88% مقابل 70% للحفاز الأقصر). يشير ذلك إلى كفاءة تحفيزية أعلى لـ HepONa مما من التفاعلات الجانبية.
- تحسن في لون المنتج النهائي (من أصفر إلى أبيض ناصع) مع استخدام الحفازات ذات السلاسل الأطول. يعكس نقاوة وتركيب الحفاز المُحضر .

4-2- دراسة تعديل بنية الكيتوزان من خلال تفاعله المترونيديازول:

تم اصطناع المشتق الايتري للكيتوزان من خلال تفاعله مع مركب دوائي (المترونيديازول)

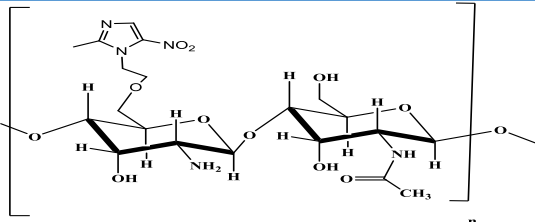
وفق التفاعل التالي:



تم حساب درجة الاستبدال (DS) (انظر الجدول (2)) للمشتق الإيثري المحضر وفقاً للعلاقة المرجعية التالية : [23]

$$DS = \frac{nkOH.Mr(RU)}{m_s - Mr(RCO).nKOH}$$

- حيث n KOH : عدد المولات الكمي من القلوي المستهلك في تفاعل الإيثر.
 - $Mr(RU)$: الكتلة الجزيئية للوحدة البنائية للبوليمر الداخل في تفاعل الإستبدال.
 - m_s : وزن العينة، $Mr(RCO)$: الوزن الجزيئي للمجموعات الإيتيرية الداخلة.
- الجدول (2): تأثير نوع الحفاز القلوي على درجة الاستبدال والمردود وزمن التفاعل .

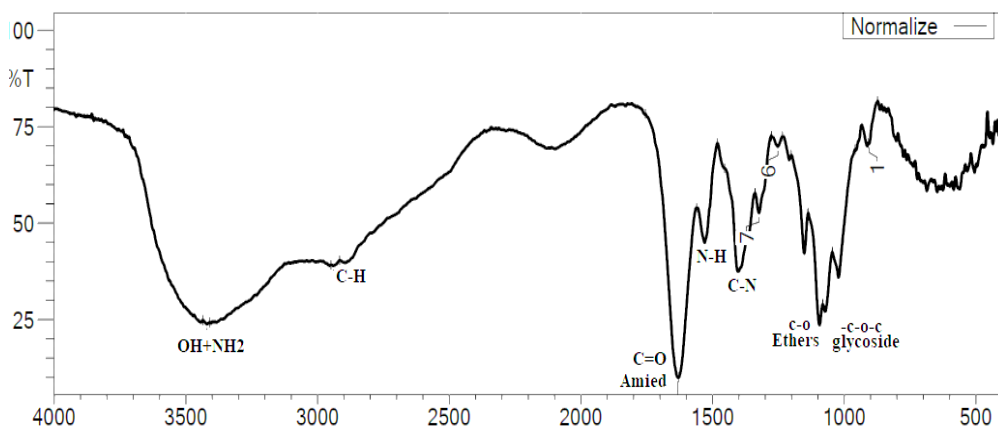
			
نوع الحفاز	بروكسيد الصوديوم	بوتوكسيد الصوديوم	هبتوكسيد الصوديوم
درجة الاستبدال	0.1	0.3	0.2
المردود	62%	85%	72%
زمن التفاعل	20h	19h	22h

بناءً على النتائج في الجدول (2)، يُعتبر بوتوكسيد الصوديوم الحفاز الأمثل حيث أعطى أفضل مردود (85%) وأعلى درجة استبدال (0.3). كما تبين أن كفاءة الحفاز تعتمد على النظام التفاعلي حسب نوع الغول المُستخدم، حيث أن بوتوكسيد الصوديوم يُظهر نشاطاً تفاعلياً عالياً

مع المترونيديازول، مما يزيد المردود، بينما مع المنتول في دراسة السابقة [24] كان بروبوكسيد الصوديوم هو الأفضل.

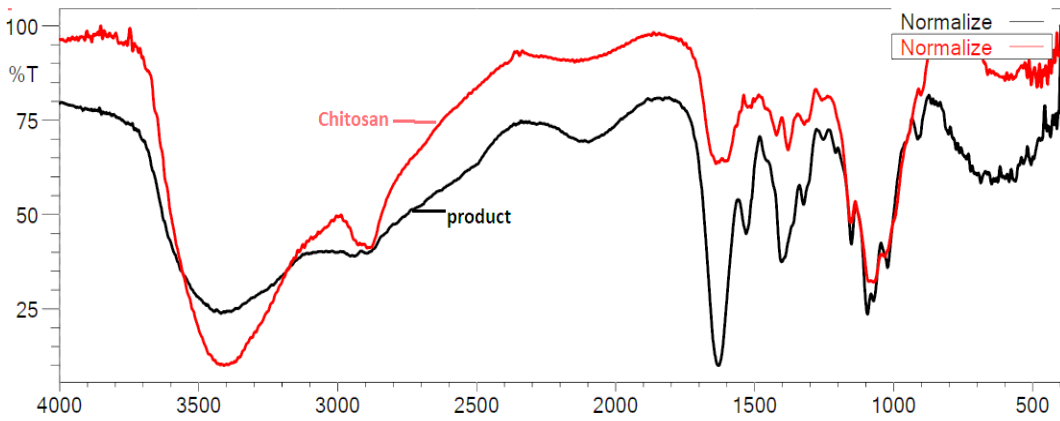
حُدثت بنية المركب الناتج باستخدام كل من مطيافية الطنينين النووي المغناطيسي البروتوني و مطيافية الأشعة تحت الحمراء.

تُظهر مقارنة الأطياف تحت الحمراء بين المشتق الإيثري (Met-O-Ch) للكيتوزان (الشكل (3)) والكيتوزان (الشكل (4)) وفق الجدول (3) تغيرات طيفية واضحة تؤكد نجاح عملية تحضير المشتق الإيثري للكيتوزان.



شكل (3): طيف الأشعة تحت الحمراء للمشتق الإيثري (Met-O-Ch)

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيديازول-المُحفَّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية والحرارية



شكل (4) : مطابقة طيفيا لأشعة تحت الحمراء لـ (Met-O-Ch) و الكيتوزان

جدول (3): تفسير طيف الأشعة تحت الحمراء للمركب المُحضر (المترونيديازول مع الكيتوزان).

$\bar{\nu}(\text{Cm}^{-1})$	
Com	O-H, NH ₂ (Stretch)
p.	C _{sp³} H (Stretch)
	C=O Amide
	NH ₂ (Bend)
	C-N
	-CH ₂ (Bend)
	Glycoside Bond
	C-O ethers
	C-OH

Chito san	3392	2920 - 2893	1650	1600	-	1421	1153	-	1089
Met- O-Ch	3419	2939	1635	1531	1417	-	1151	1093	1072

تُظهر مقارنة طيفي الأشعة تحت الحمراء للكينوزان والمشتق المحضر (Met-O-Ch) تغيرات واضحة تؤكد نجاح عملية تحضير المشتق الإيثري للكينوزان أهمها:

1. اختفاء قمة N-H عند 1600Cm^{-1} وظهور قمة جديدة للإيثر (C-O-C) عند 1093Cm^{-1} وهو الدليل الرئيسي على تكوين الرابطة الإيثرية.

2. انزياح قمة O-H/N-H إلى 3419Cm^{-1} يدل على مشاركة هذه المجموعات في التفاعل.

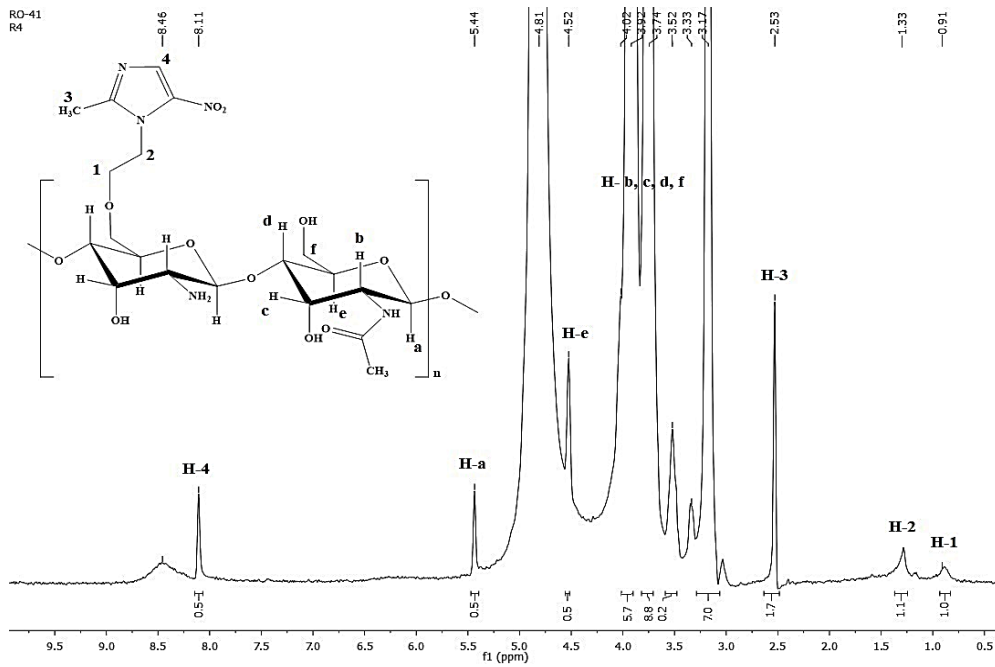
3. ظهور قمة C-N عند 1417Cm^{-1} تؤكد دمج حلقة الميترونيديازول في البنية.

جميع هذه التغيرات تؤكد نجاح تحضير المشتق الإيثري للكينوزان-ميترونيديازول.

يبين كل الشكل (5) طيف الطنين النووي البروتوني $^1\text{H-NMR}$ للبوليمر المحضر،

والجدول (4) قيم الانزياحات البروتونية في بنية البوليمر المحضر. للتأكد من حصول الإرتباط .

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيديازول المُحَفَّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية والحرارية



الشكل (5): طيف $^1\text{H-NMR}$ للبوليمر المُحَفَّر (Met-O-Ch)

الجدول (4): تفسير طيف الطنين النووي المغناطيسي البروتوني لـ (Met-O-Ch)

نوع ذرة الهيدروجين	$^1\text{H-NMR}(\delta, \text{ppm})$	NO.
أليفاتية	0.91(2H, m)	H-1
أليفاتية	2.53(2H, m)	H-2
أليفاتية	1.33(3H, s)	H-3

أليفاتية	8.11(1H, s)	H -4
سكرية	3.33-4.02(5H, m)	H -b,c,d,f
سكرية	4.52(1H, s)	H - e
سكرية	5.44(1H, s)	H - a

تُظهر نتائج طيف الرنين النووي المغناطيسي البروتوني أدلة على نجاح تحضير المشتق الإيثري، أهمها:

١. إشارة بروتون الإيثر الجديد عند 5.44ppm وهو الدليل المباشر على تكوين الرابطة الإيثرية (C-O-C).

٢. إشارة البروتون الهيتروأروماتي (بروتون مرتبط بحلقة عطرية غير متجانسة) عند 8.11ppm يؤكد وجود حلقة الإيميدازول من الميترونيدازول في البنية.

٣- تثبت الإشارات الأليفاتية بين 0.91ppm و 2.53ppm وجود السلسلة الجانبية للميترونيدازول.

جميع هذه النتائج تؤكد نجاح الاصطناع وتشكل المشتق الإيثري بين الكيتوزان والميترونيدازول.

4-3- دراسة الخصائص الفيزيائية للمشتق الإيثري المُحضّر (الكيتوزان مع الميترونيدازول):

4-3-1- تحديد الكثافة ودرجة العكارة:

تم تحضير محلول من ناتج التفاعل السابق بتركيز 0.01gr/10ml ثم تم تحديد بعض الخصائص الفيزيائية كقياس درجة الكثافة من خلال تحديد وزن حجم مُحدد بدقة من المحلول السابق، تحديد درجة العكارة باستخدام جهاز قياس العكارة، حيث يوضح الجدول (5) اقيم هذه الخصائص الفيزيائية المُقاسة.

الجدول (5): نتائج الخصائص الفيزيائية لمشتقات الكيتوزان الإيثرية المحضرة باستخدام محفزات مختلفة

الخاصة الفيزيائية	الكيتوزان	المترونيدازول (بروبوكسيد الصوديوم)	المترونيدازول (بوتوكسيد الصوديوم)	المترونيدازول (هبتوكسيد الصوديوم)
الكثافة (gr/ml)	1.3413	1.3124	1.3067	1.2954
درجة العكارة (NTU)	176	72	62	65

يُلاحظ من قيم الجدول السابق أن قيم كثافة المحاليل المُحضرة للمشتقات أقل من قيم كثافة المحلول المُحضر للكيتوزان كمادة أولية ويعمل ذلك لاستبدال مجموعات وظيفية صغيرة بكتلة جزيئية أكبر، وتقليل الروابط الهيدروجينية بين السلاسل البوليمرية، وزيادة الحجم الجزيئي دون زيادة كتلة متناسبة هذا يؤدي إلى بنية أقل كثافة في المشتقات المحضرة. بينما يعود انخفاض العكارة إلى تحسن استقرار المادة في المحلول المائي، وتقليل كتل الجسيمات البوليمرية، وتشكل محلول أكثر تجانساً.

4-3-2- دراسة بعض الخصائص الحرارية للبوليمر المُحضر :

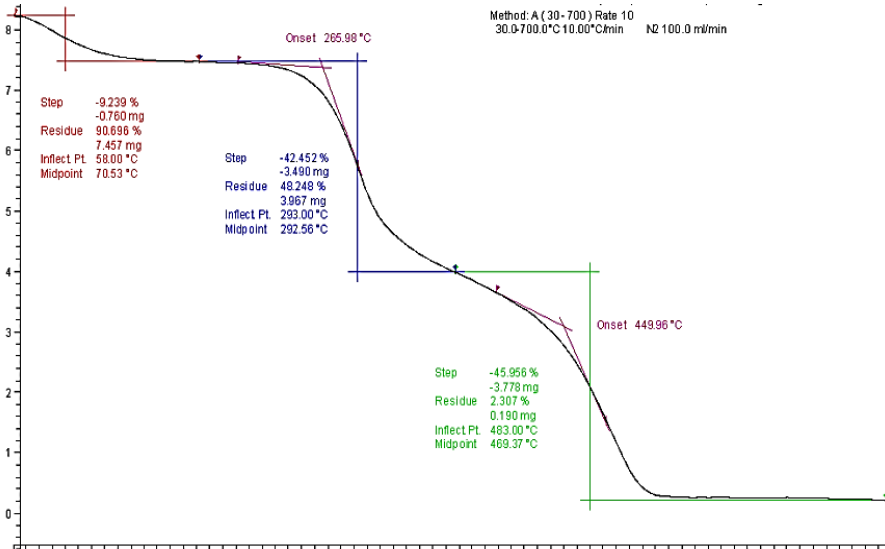
(1) التحليل الحراري الوزني:

تم تسجيل منحنيات التحليل الحراري الوزني TGA للبوليمر المُحضر باستخدام جهاز التحليل الحراري الوزني وفق شروط القياس التالية :

1. كتلة عينة تتراوح بين (4-8) mg
2. المجال الحراري تتراوح بين (30-600 °C)
3. سرعة مسح حراري (min/10 °C)

حيث تم باستخدام منحنيات التحليل الحراري الوزني TGA للمشتق المُحضّر تعين لتحديد ثباته الحراري ومقارنتها مع المادة الأولية.

يُبين الشكل (6) منحنيات التحليل الحراري الوزني للكيتوزان و للمشتق المُحضّر، حيث يظهر في هذا المنحني ثلاث مراحل لخسارة في الوزن.



شكل (6): التحليل الحراري الوزني للكيتوزان

يظهر الشكل (6) (منحني TGA للكيتوزان) ، ثلاث مراحل لخسارة الوزن الناتجة عن التسخين:

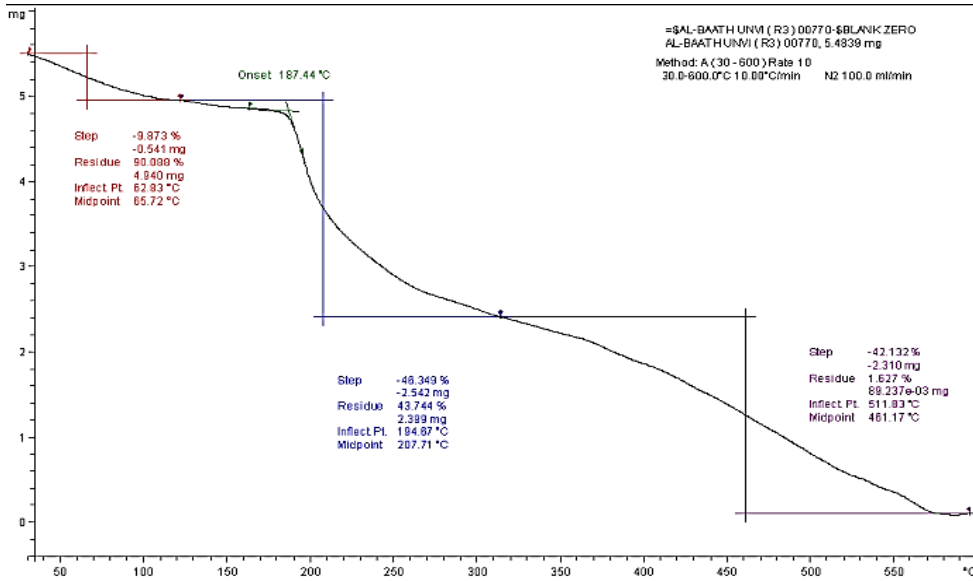
المرحلة الأولى : عند الدرجة 70.53°C ،حيث يوافق خسارة في وزن العينة قدره 9.24% ويعود لوجود الرطوبة في العينة لفقدان الرطوبة الممتزة على العينة.

المرحلة الثانية: عند الدرجة 292.56°C حيث يوافق خسارة كبيرة في وزن العينة قدرها 42.45 % ويعود هذا المجال لتفكك الكيتوزان نتيجة الحرارة .

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيدازول المُحَفَّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية والحرارية

المرحلة الثالثة: فوق درجة حرارة 300 °C حيث توافق هذه الدرجة تفحم المركب

واحتراقه، وبالتالي خسارة ماتبقى من وزن البوليمير .



شكل (7): التحليل الحراري الوزني للمشتق المُحَضَّر Met-O-Ch

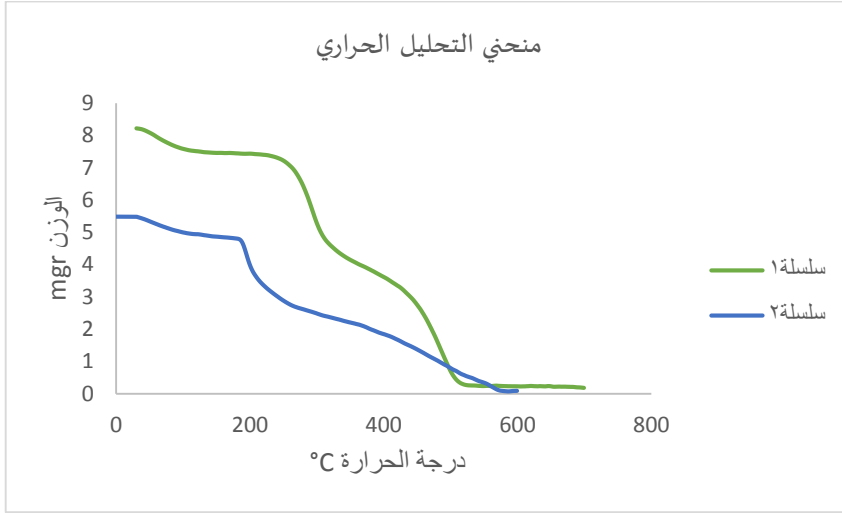
أيضاً يظهر الشكل (7) (منحني TGA للمشتق الإيتري للكيتوزان) ثلاث مراحل لخسارة الوزن الناتجة عن التسخين:

المرحلة الأولى: عند الدرجة 65.72 °C حيث يوافق خسارة في وزن العينة قدرها 9.873% ويعود لوجود الرطوبة في العينة .

أما المجال المرحلة الثانية: عند الدرجة 207.71 °C حيث يوافق خسارة كبيرة في وزن العينة قدرها 46.349% ويعود لتفكك المشتق الإيتري للكيتوزان نتيجة الحرارة .

المرحلة الثالثة : فوق درجة حرارة 300°C حيث يوافق هذه الدرجة تفحم المركب واحتراقه وبالتالي خسارة ماتبقى من وزن البوليمير .

وبين الشكل (8) التالي تراكب التحليل الحراري الوزني للكيوتوزان والمشتق المحض:



شكل (8): تراكب التحليل الحراري الوزني للكيوتوزان والمشتق المحض

يُلاحظ من الشكل (8) السابق لمايلي :

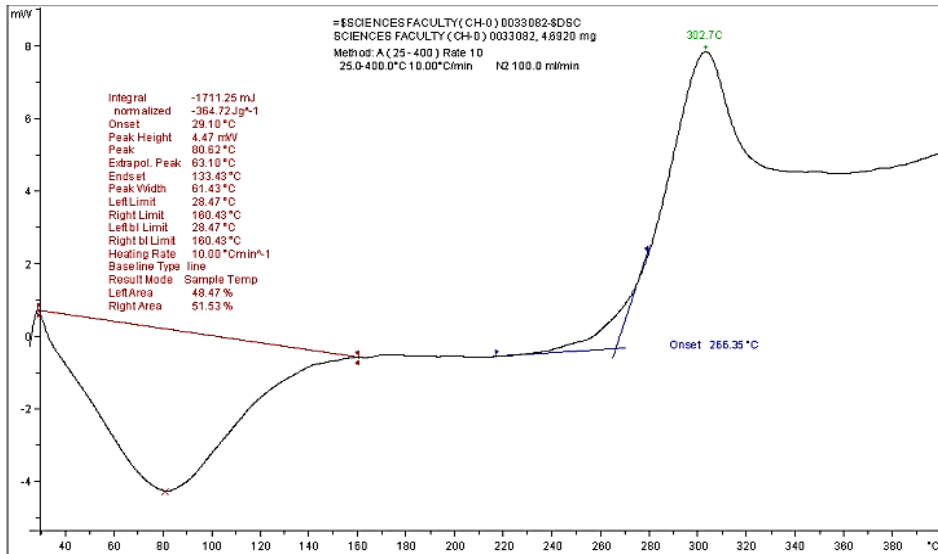
1. انخفاض في درجة تفكك المشتق المحض مقارنة بالكيوتوزان مما يدل على سهولة تحلله .
2. الزيادة في نسبة فقدان الوزن للمشتق المحض مقارنة بالكيوتوزان (انظر الجدول (6))، بسبب انخفاض عدد الروابط الهيدروجينية بين السلاسل البوليميرية، وتغير البنية الجزيئية بعد عملية الإيترة

الجدول (6) : مقارنة الخواص الحرارية للكيتوزان والمشتق المحضر

البوليمير	درجة حرارة بدء التفكك (°C)	مقدار الخسارة %
Chitosan	292(56°C)	42.45(%)
Ch Met -O-	207.71(°C)	46.349(%)

2) المسح الحراري التفاضلي:

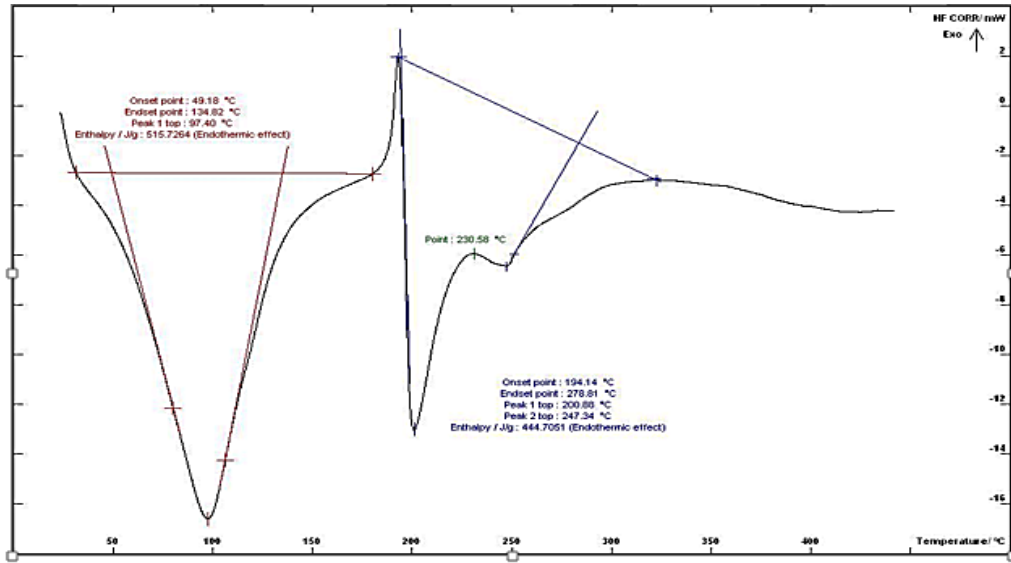
تم تسجيل منحنى المسح الحراري التفاضلي DSC لكل من الكيتوزان الشكل (9) و البوليمير المُحضر الشكل (10) باستخدام جهاز المسح الحراري الوزني .



شكل (9): المسح الحراري التفاضلي للكيوتوزان

يُلاحظ من شكل (9) قمة عند الدرجة 80.62 °C تعود إلى التخلص من الرطوبة الموجودة داخل الممتزة في العينة، كما يُلاحظ تظهر قمة أخرى عند الدرجة 302.7 °C عائدة إلى تفحم البوليمير (الكيوتوزان) .

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيديازول المُحَفَّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية والحرارية

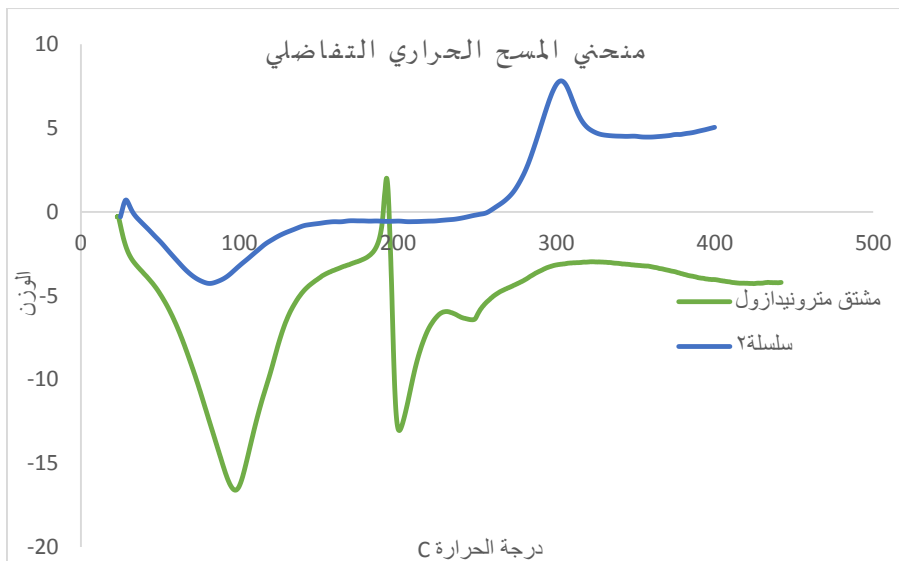


شكل (10): المسح الحراري التفاضلي للمركب المُحَضَّر .

يُلاحظ من شكل (10) قمة الأولى عند الدرجة $97.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ عائدة إلى فقدان الرطوبة الممتزة في العينة، كما يُلاحظ قمة ثانية عند الدرجة $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ عائدة إلى تفكك الرابطة الأثيرية بين الكيتوزان والميترونيديازول وقمة ثالثة عند الدرجة $247.34\text{ }^{\circ}\text{C}$ عائدة لبدء تفحم البوليمير (المشتق المُحَضَّر).

يبين الشكل (11) التالي تراكب تراكب المسح الحراري التفاضلي للمركب المُحَضَّر والكيتوزان

:



شكل (11): تراكب المسح الحراري التفاضلي للمركب المُحضر والكيٲوزان .

يُلاحظ من شكل (11) ظهور قمة جديدة عند الدرجة 230°C في المشتق المحضر، عائدة إلى تفكك الرابطة الأيترية بين الكيتوزان والمٲرونيدازول لم تكن موجودة بالكيٲوزان ، كما يُلاحظ انخفاض درجة الحرارة بدء التفحم للمشتق المُحضر مقارنة مع الكيتوزان بمقدار 55.36°C ويُعلل ذلك لإنخفاض عدد الروابط الهيدروجينية بين السلاسل البوليميرية بعد عملية الأيترة .

5- الإستنتاجات :

- تم اصٲناع مشتق ايتري للكيٲوزان وذلك من خلال تفاعل مركب دوائي (المٲرونيدازول) مع الكيتوزان ، وتم تأكيد بنيته باستخدام الطرائق الطيفية المناسبة.
- تم تحديد بعض الخصائص الفيزيائية "درجة العكارة، الكثافة"المحاليل المائية للمركب المُحضر ومقارنته مع المحلول المائي المحمض للكيٲوزان .

تحضير مشتق إيثر الكيتوزان-ميترونيديازول المُحفَّز بالكوكسيدات الصوديوم ودراسة خواصه الفيزيائية والحرارية

- تم دراسة حفازات أساسية مختلفة لتحديد أعلى درجة استبدال للمشتق المُحضر حيث تبين نتيجة الدراسة أن أعلى درجة استبدال للزمرة الوظيفية في السلسلة البوليميرية للكيتوزان كانت عند استخدام بوتوكسيد الصوديوم .
- تم دراسة التوصيف الحراري من خلال إجراء المسح الحراري التفاضلي والتحليل الحراري الوزني للمشتق المُحضر ومقارنته مع الكيتوزان حيث تبين نتيجة الدراسة أن ظهور قمة عند الدرجة 230°C عائدة إلى تفكك الرابطة الأيترية بين الكيتوزان والميترونيديازول لم تكن موجودة بالكيتوزان ، كما يُلاحظ انخفاض درجة الحرارة بدء التخمق للمشتق المُحضر مقارنة مع الكيتوزان بمقدار 55.36°C - ويعلل ذلك لإنخفاض الروابط الهيدروجينية بين السلاسل البوليميرية .
- نوصي بدراسة مشتقات بوليميرية سكرية أخرى كونها غير سامة وقابلة للتحلل الحيوي.
- نوصي بدراسة أحوال لمركبات دوائية أخرى في تحضير مشتقات أخرى للكيتوزان باستخدام الشروط التي تم التوصل إليها في دراستنا .

6-المراجع :

- [1]Aranaz I, Alcántara AR, Civera MC, Arias C, Elorza B, Heras Caballero A, Acosta N. Chitosan: An overview of its properties and applications. *Polymers*. 2021 Sep 24;13(19):3256.
- [2] Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in polymer science*. 2006 Jul 1;31(7):603-32.
- [3] Reshad RA, Jishan TA, Chowdhury NN. Chitosan and its broad applications: A brief review. Available at SSRN 3842055. 2021 May 8.
- [4] Izadi H, Asadi H, Bemani M. Chitin: a comparison between its main sources. *Frontiers in Materials*. 2025 Mar 4;12:1537067.
- [5] Zoe LH, David SR, Rajabalaya R. Chitosan nanoparticle toxicity: A comprehensive literature review of in vivo and in vitro assessments for medical applications. *Toxicology Reports*. 2023 Dec 1;11:83-106.
- [6] Chicea D, Nicolae-Maranciuc A. A review of chitosan-based materials for biomedical, food, and water treatment applications. *Materials*. 2024 Nov 25;17(23):5770.
- [7] Edo GI, Yousif E, Al-Mashhadani MH. Chitosan: An overview of biological activities, derivatives, properties, and current advancements in biomedical applications. *Carbohydrate Research*. 2024 Aug 1;542:109199.
- [8]Yarahmadi A, Dousti B, Karami-Khorramabadi M, Afkhami H. Materials based on biodegradable polymers chitosan/gelatin: a review of potential applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2024 Aug 2;12:1397668.
- [9] El-Araby A, Janati W, Ullah R, Ercisli S, Errachidi F. Chitosan, chitosan derivatives, and chitosan-based nanocomposites: eco-

friendly materials for advanced applications (a review). *Frontiers in Chemistry*. 2024 Jan 4;11:1327426.

- [10] Fatma youcefi, Effet bio préservateur du chitosane à des substances proteique antimicrobiennes dans le cas des produits marins , l'obtention du titre de Docteur en sciences , de l'université de Mostaganem (2015).
- [11] Shariatinia Z. Carboxymethyl chitosan: Properties and biomedical applications. *International journal of biological macromolecules*. 2018 Dec 1;120:1406-19.
- [12] Wei L, Li Q, Tan W, Dong F, Luan F, Guo Z. Synthesis, characterization, and the antioxidant activity of double quaternized chitosan derivatives. *Molecules*. 2017 Mar 22;22(3):501.
- [13] Fan L, Zou S, Ge H, Xiao Y, Wen H, Feng H, Liu M, Nie M. Preparation and characterization of hydroxypropyl chitosan modified with collagen peptide. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016 Dec 1;93:636-43.
- [14] Ahmed S, Ikram S. Chitosan based scaffolds and their applications in wound healing. *Achievements in the life sciences*. 2016 Jun 1;10(1):27-37.
- [15] Ahmed TA, Aljaeid BM. Preparation, characterization, and potential application of chitosan, chitosan derivatives, and chitosan metal nanoparticles in pharmaceutical drug delivery. *Drug design, development and therapy*. 2016 Jan 28:483-507.

- [16] Cheung RC, Ng TB, Wong JH, Chan WY. Chitosan: an update on potential biomedical and pharmaceutical applications. *Marine drugs*. 2015 Aug 14;13(8):5156-86.
- [17] LogithKumar R, KeshavNarayan A, Dhivya S, Chawla A, Saravanan S, Selvamurugan N. A review of chitosan and its derivatives in bone tissue engineering. *Carbohydrate polymers*. 2016 Oct 20;151:172-88.
- [18] Li Q, Zhang C, Tan W, Gu G, Guo Z. Novel amino-pyridine functionalized chitosan quaternary ammonium derivatives: Design, synthesis, and antioxidant activity. *Molecules*. 2017 Jan 18;22(1):156.
- [19] Wei L, Li Q, Chen Y, Zhang J, Mi Y, Dong F, Lei C, Guo Z. Enhanced antioxidant and antifungal activity of chitosan derivatives bearing 6-O-imidazole-based quaternary ammonium salts. *Carbohydrate polymers*. 2019 Feb 15;206:493-503.
- [20] Shi C, Zhu Y, Ran X, Wang M, Su Y, Cheng T. Therapeutic potential of chitosan and its derivatives in regenerative medicine. *Journal of Surgical research*. 2006 Jun 15;133(2):185-92.
- [21] Xia Y, Fan Q, Hao D, Wu J, Ma G, Su Z. Chitosan-based mucosal adjuvants: Sunrise on the ocean. *Vaccine*. 2015 Nov 4;33(44):5997-6010.
- [22] Chandran K, Nithya R, Sankaran K, Gopalan A, Ganesan V. Synthesis and characterization of sodium alkoxides. *Bulletin of Materials Science*. 2006 Apr;29:173-9.
- [23] D. Klemm, B. Philipp, T. Heinze, U. Heinze, and W. Wagenknecht, *Systematics of Cellulose Functionalization:Section 4.1–4.1.4*, vol. 2. 1998

[24] عميش .روان ، مدور . رشدي، كيشي .محمد، (2025) تعديل بنية الكيتوزان بأثيرته
باستخدام المنتول ودراسة بعض خصائصه، مجلة بحوث جامعة حمص، المجلد -47

تأثير المبيد الفوسفوري العضوي Diazinon في نمو برغوث الماء العذب *Daphnia magna* وبقائه

مي معين عاقل * ، أديب حسن زيني ** ، طارق عراج عراج ***

ملخص البحث

يُعد مبيد ديازينون من المبيدات الفوسفورية العضوية واسعة الاستخدام، مما يشكل خطراً محتملاً على النظم البيئية المائية. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم السمية الحادة والمزمنة للديازينون على القشريات المائية برغوث الماء العذب *Daphnia magna*، مع التركيز على التأثيرات تحت المميتة التي قد تسبق النفوق. تم تعريض أفراد *D. magna* حديثة الفقس لتراكيز متدرجة من مبيد ديازينون (200-1000 نانوغرام/لتر لتقييم السمية الحادة، و1-100 نانوغرام/لتر لتقييم السمية المزمنة). تم قياس معدلات النفوق لتحديد LC₅₀، وتقييم التغيرات في النمو (الطول، العرض، الوزن) ومعدل البقاء للأنتى خلال فترة التعرض المزمّن. أظهرت النتائج حساسية عالية للكائن تجاه المبيد، حيث بلغت قيمة التركيز القاتل النصفى للمبيد LC₅₀ بعد 48 ساعة 0.4 ميكروغرام/لتر. كما أدت التراكيز تحت المميتة (1-100 نانوغرام/لتر) إلى انخفاض معنوي في معدلات النمو (وصلت إلى 72%) وتناقص في متوسط العمر المتوقع للأنتى مقارنة بالمجموعة الضابطة. بينت هذه الدراسة أن التأثيرات الضارة للديازينون على *D. magna* تظهر عند تراكيز منخفضة جداً.

كلمات مفتاحية: القشريات، *Daphnia magna*، المبيدات الفوسفورية العضوية، ديازينون،
السمية الحادة والمزمنة.

- (* طالبة دكتوراه - قسم علم الحياة الحيوانية - كلية العلوم - جامعة اللاذقية - اللاذقية - سوريا.
- (** أستاذ - قسم علم الحياة الحيوانية - كلية العلوم - جامعة اللاذقية - اللاذقية - سوريا.
- (*** مدرس - قسم الكيمياء البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - كلية العلوم - جامعة اللاذقية - اللاذقية - سوريا.

The Effect of the Organophosphorus Pesticide Diazinon on the Growth and Survival of the Freshwater Flea *Daphnia magna*

Mai Moeen Akel * , Adib Hassan Zeini ** , Tareq Araaj
Araaj ***

Abstract

Diazinon is one of the most widely used organophosphate pesticides, posing a potential threat to aquatic ecosystems.

This study aimed to evaluate the acute and chronic toxicity of diazinon on the aquatic crustacean *Daphnia magna*, focusing on sub-lethal effects that may precede mortality.

Newly hatched *D. magna* individuals were exposed to graded concentrations of pesticide diazinon (200–1000 ng/L for acute toxicity assessment, and 1–100 ng/L for chronic toxicity assessment).

Mortality rates were measured to determine LC₅₀, and changes in growth (length, width, weight) and female survival rate were evaluated during chronic exposure.

The results showed high sensitivity of the organism to the pesticide, with an LC₅₀ value after 48 hours of 0.4 µg/L.

Sub-lethal concentrations (1–100 ng/L) caused a significant reduction in growth rates (up to 72%) and a decrease in life expectancy of the female compared to the control group.

This study demonstrated that diazinon exerts adverse effects on *D. magna* at very low concentrations.

Keywords: Crustacea , *Daphnia magna*, organophosphorous pesticides, diazinon, acute and chronic toxicity.

*) PhD student, Department of zoology, Faculty Of Sciences, Latakia University, Latakia ,Syria.

***) Professor, Department of zoology, Faculty Of Sciences, Latakia University, Latakia ,Syria .

****) Lecturer, Department of environmental chemistry, higher institute for environmental research, Latakia University, Latakia, Syria.

1. مقدمة:

تعد متفرعات القرون Cladocera أحد أهم مكونات العوالق الحيوانية القشرية في المياه العذبة، تشكل حلقة مهمة في السلاسل الغذائية، إذ تمثل جزءاً أساسياً من المستهلكات الأولية والثانوية [1]. تتحمل العديد من أنواعها تغيرات الشروط البيئية فهي واسعة السكن إلى حد كبير Eurybionts، إذ تعيش أفرادها في جميع أوساط المياه العذبة كالبحيرات والأنهار وخزانات السدود والبرك المؤقتة وأحواض تربية الأسماك والجداول خاصة في المناطق الشاطئية الغنية بالنباتات. تعد فصيلة Daphniidae إحدى الفصائل المهمة لمتفرعات القرون، وتمتلك خصائص مميزة تتجسد في قدرتها على التوالد البكري Parthenogenesis [2]، وتتغذى بطريقة الترشيح Filter Feeding وقدرتها على التغيرات الشكلية الدورية Cyclomorphosis التي تطرأ على أفرادها كرد فعل تجاه شروط الوسط المحيط وخاصة درجات الحرارة، كما لها القدرة الجيدة على السباحة بفضل ضربات قرون استشعارها [3].

تستخدم بعض أفراد فصيلة Daphniidae كمؤشرات حيوية Bioindicators على نوعية المياه [4]، كما يتم تربية بعضها بكميات كبيرة بهدف الحصول على غذاء حي ليرقات الأسماك وصغارها [5]، وتكمن أهميتها من خلال دورها في تحديد حالة البيئة في المسطحات المائية ومدى صلاحيتها للاستثمار [6].

تستخدم براغيث الماء كحيوانات تجرية في الدراسات المتعلقة بالسمية وتلوث المياه، وتعد عينات حيوية مناسبة لإجراء التجارب المخبرية عليها لتمتعها بخصائص مهمة مثل: **الخصوبة العالية، والنضج الجنسي المبكر، والنمو السريع، التكيف الحيد مع الوسط المحيط، سهولة الحركة، والقدرة على الحياة في ظروف الكثافة السكانية العالية، إضافة إلى التركيب الكيميائي وقيمتها الغذائية العالية، وأبعادها التي تتناسب مع فتحة فم الأسماك ويرقاتها وسهولة استزراعها والحفاظ عليها في المختبر [7].**

أيضاً تعد مناسبة للدراسة وللتجارب المخبرية نظراً لصغر حجمها، وقصر دورة حياتها، وتوفر جميع فئاتها العمرية على مدار السنة، وهي نموذجية لدراسة علم الجينوم المقارن بسبب بنيتها البسيطة وتركيبها الشفاف [8].

تُعد حلقة وصل غذائية بين المستويين الأول والثالث في السلسلة الغذائية. لذلك اتجه كثير من الباحثين لتربيتها في المختبر ضمن شروط خاصة لاستعمالها كغذاء حي ليرقات الأسماك [9].

تعد الملوثات الكيميائية من أهم العوامل السلبية المؤثرة في حياة برغوث الماء العذب وتكاثره، فهي حساسة للملوثات السامة وتعتبر دليلاً بيئياً لاختبار سمية المواد الكيميائية، أو معرفة الحدود المسموح بها من المبيدات الحشرية Insecticides، إذ تؤثر هذه المواد بالتراكيز الضئيلة على

برغوث الماء، من خلال تأثيرها على النمو الطولي والعرضي والزيادة في الوزن ومعدل البقاء وعلى الصفات التكاثرية كزمن النضج الجنسي وعدد الحضنات وعدد الأفراد لكل أنثى وغيرها [10].

تستخدم المبيدات الفوسفورية العضوية بكثرة في مكافحة الآفات الحشرية بسبب تفككها السريع وقلة تراكمها في البيئة [11]، لذا تستعمل على نطاق واسع من قبل المزارعين لكن هذا الاستخدام يؤدي لتلوث البيئة ووصولها للماء حيث أنها تتحل بشكل كبير في الماء وهذا يؤثر بشكل سام على المتعضيات الموجودة في البيئة المائية [12, 13].

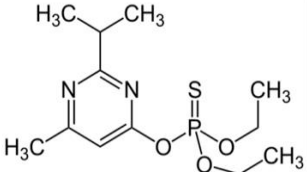
تعمل المبيدات الفوسفورية كمتبطات للأستيل كولين أستيراز (أنزيم هام لعمل الأعصاب)، مما يؤدي إلى تراكم الناقل العصبي أستيل كولين في الكائن و للتنبيه الشديد للجملة العصبية مسبباً أعراض سمية عصبية عند الكائنات المتعرضة لهذه المبيدات، كما أظهرت الدراسات تأثيرات متعددة على أجسام المتعضيات كانهخفاض تركيز البروتين في جسم الكائن [14]، وتشكيل جذور حرة مؤكسدة في أنحاء الجسم [15]، وأعراض سمية جينية [16] وأخرى مناعية [17].

إن الاستخدام الكبير والغير مرشد لهذه المبيدات في سوريا يزيد من احتمالية وصولها للتربة والأحواض المائية وتلوثها [18]، لذلك من الضروري تحديد وتقييم الأثر السمي لها على الكائنات وما تسببه من آثار سلبية على البيئة.

تتأثر البيئات المائية بالمبيدات من خلال الانجراف بالرياح والجريان السطحي بفعل الأمطار ومياه الري ومياه الصرف الصحي، فتصل إلى الأنهار والمحيطات وتؤثر على الكائنات الحية فيها كالقشريات والأسماك الصغيرة التي تتغذى على الهائمات الحيوانية ويرقات الحشرات والمفصليات الصغيرة الأخرى، وهي بدورها تصبح غذاء للأسماك الكبيرة والطيور التي تشكل جزءاً رئيسياً من غذاء الإنسان، وهكذا تنتقل المبيدات إلى قمة الهرم الغذائي [19].

تتأثر أيضا الكائنات المائية مباشرة بالمبيدات الأمر الذي يؤدي لانخفاض أعدادها ويهدد البعض الآخر بالانقراض [20, 21]، ومن هذه المبيدات الفوسفورية العضوية مبيد ديازينون وهو مبيد حشري غير جهازى واسع الاستخدام في مكافحة الحشرات الزراعية والمنزلية [22] شديد السمية للأسماك [23, 24] و أكثر سمية وحساسية للقشريات والعوالم الحيوانية [25]، له قدرة على التلوث المائي نتيجة الجريان السطحي من الأراضي الزراعية [26]، لا يسمح حالياً باستخدامه في عدة دول بسبب سميته العالية للإنسان والحيوانات، حيث تصنفه منظمات البيئة مثل (EPA و WHO) كمبيد عالي السمية للإنسان والكائنات المائية [27]. يظهر الجدول (1) بعض الخصائص الكيميائية للمبيد [28].

الجدول (1): بعض الخصائص الكيميائية للمبيد Diazinon.

الصيغة الجزيئية	C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS	الكتلة الجزيئية 304.34
اسم المركب	الاسم الكيميائي بحسب IUPAC	الصيغة البنوية
Diazinon	<i>O,O</i> -Diethyl <i>O</i> -[4-methyl-6-(propan-2-yl)pyrimidin-2-yl] phosphorothioate	

2- هدف البحث وأهميته:

تكمن أهمية هذا البحث في كونه يُقدم تقييماً دقيقاً وشاملاً للمخاطر البيئية المترتبة على استخدام مبيد ديازينون الفوسفوري العضوي، أحد المبيدات واسعة الاستخدام، وذلك من خلال التركيز على الكائن الحي برغوث الماء العذب (*Daphnia magna*)، وفي تقييم التأثير السمي لهذا المبيد على *D. magna* باعتبارها مؤشراً حيوياً، حيث سيساهم في تحديد مدى خطورة التراكيز المتزايدة من هذا المبيد على الخصائص البيولوجية والحيوية لهذا النوع. يقدم البحث معطيات حيوية لحماية البيئة المائية من خلال الكشف المبكر عن التلوث ووضع سياسات رقابية فعالة تستند إلى أدلة علمية.

يهدف البحث الى:

دراسة أهم الخصائص البيولوجية لبرغوث الماء العذب *D. magna* عند تعريضها لتراكيز مختلفة من المبيد الحشري الفوسفوري العضوي (ديازينون).
تقييم السمية الحادة والمزمنة لهذا المبيد وتحديد حساسية *D. magna* تجاهه.

3- الجزء العملي:

3-1- الدراسة التصنيفية Classification:

ينتمي برغوث الماء العذب *Daphnia magna* إلى شعبة مفصليات الأرجل Arthropoda، تحت شعبة القشريات Crustacea، رتبة متفرعات القرون Cladocera، التي تضم حالياً نحو 840 نوعاً وهي واسعة الانتشار في مختلف أنحاء العالم [29].

3-2- تربية الدافنيا Cultivation of Daphnia:

على الرغم من أن تربية الدافنيا لا تعد أمراً صعباً، إلا أن يتوقف نجاح هذه العملية على شروط عديدة منها تصميم أحواض التربية، ونوع الغذاء المقدم، ودرجة الحرارة، ودرجة حموضة الوسط وتركيز الملوحة [30].

تم استخدام حوض كبير مملوء بمياه أُخذت من الصنوبر، بعد تركها لترقد لعدة أيام قبل استعمالها بهدف التخلص من الكلور المنحل إن وجد. عُرض الحوض لفترات من الإضاءة والظلام 10/14 ض/ظ، بوجود ضوء صناعي في المختبر، ودرجة حرارة 20 ± 2 م°، وحموضة الوسط تراوحت بين 6.5-8 pH، مع تأمين التهوية الجيدة حيث تراوح تركيز الأوكسجين المنحل في الماء بين 5-7 ملغ/ل. وتم تغذيتها بالطحالب حيث أن يُعد خليط من الطحالب الخضراء *Scenedesmus* و *Chlorella* بتركيز 0.2 ± 3 مليون خلية/مل، مع الخمائر هو أفضل الأوساط لاستزراع وتنمية النوع *D. magna* في المختبر [31].

3-3- تصميم التجارب Experiments design :

أجري هذا البحث في مخابر قسم علم الحياة الحيوانية، كلية العلوم، جامعة اللاذقية، استخدم المبيد بشكله التجاري تحت اسم Biocimadol 60، المادة الفعالة ديازينون 60%، وتم حفظه في الثلاجة 4°C .

تمت دراسة التركيز القاتل النصفية (LC_{50} - 24 h، LC_{50} - 48 h) من خلال إجراء سلسلة من التجارب لعدد من التراكيز وهي (200, 400, 500, 600, 800, 1000 ng/L) وضعت هذه التراكيز بتطبيق قانون مور للتمديد $N1.V1=N2.V2$ ، ومن هذه التجارب حُدد كل من LC_{50} 24h، LC_{50} 48h، وهما التراكيزان المسؤولين عن نفوق 50% من حيوانات التجربة ضمن ظروف قياسية مقدراً بـ ng/L خلال 24 و48 ساعة على التوالي [32,33]، حيث عُزل 50 فرد حديث الفقس (أقل من 24 ساعة) وتم توزيع الأفراد على مجموعات حيث وضع كل 10 أفراد في حوالة مع ترك حوالة ضابطة (حيث يعتبر الحيوان نافقاً إذا لم يبدي أية حركة داخلية أو خارجية خلال 10 ثوانٍ) [34].

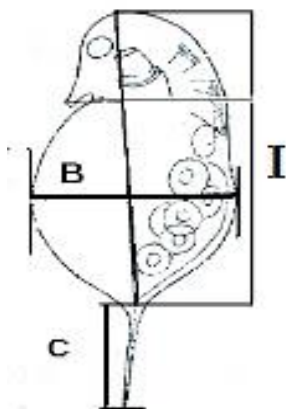
أما بالنسبة لدراسة تأثير السمية المزمنة (Chronic toxicity) في المؤشرات الحيوية فقد أُجريت تجربة تمهيدية بتركيز ng/L (0.05)، لم تكن ذات تأثير معنوي ولم يلحظ فيها أي تغيرات محسوسة على الكائنات واستناداً إلى ذلك بالإضافة للدراسات المرجعية والتراكيز الموجودة في البيئة المحلية تم تحديد عدة تراكيز لدراستها وهي (1,10, 40, 60, 80, 100 ng/L)، أُستخدمت 10

حجرات سعة 50 مل لكل تركيز ووضع في كل حوجلة 3 أفراد حديثة الفقس معلومة الأبعاد مع ترك حوجلة شاهد دون مبيد لكل تركيز، تم إضافة ترموستات للمياه وتثبيت الحرارة على 20 م° وأخذ قياسات الأفراد ومراقبتها وتسجيل الملاحظات بشكل يومي حيث تم أخذ أبعادها وقياساتها (الطول، العرض، الوزن، مدة الحياة) الشكل(1)، اعتمدت الصيغة التالية في معرفة أوزان الأفراد (W) من خلال معرفة متوسطات قياس أطوالها، $W = q \cdot I^b$ حيث أن:

I طول الفرد ب ملم من قمة الرأس حتى بداية تشكل الشوكة الذيلية.

b ثابت لكل نوع وهي تساوي 3 بالنسبة لمتفرعات القرون عموماً.

q ثابت لكل نوع قشري وهو (0,052) للنوع *Daphnia magna*، حسب [35].



الشكل (1): يوضح كيفية قياس الأفراد حيث: I = طول الفرد بدون شوكة الذرقة و B = عرض الذرقة و C = طول شوكة الذرقة.

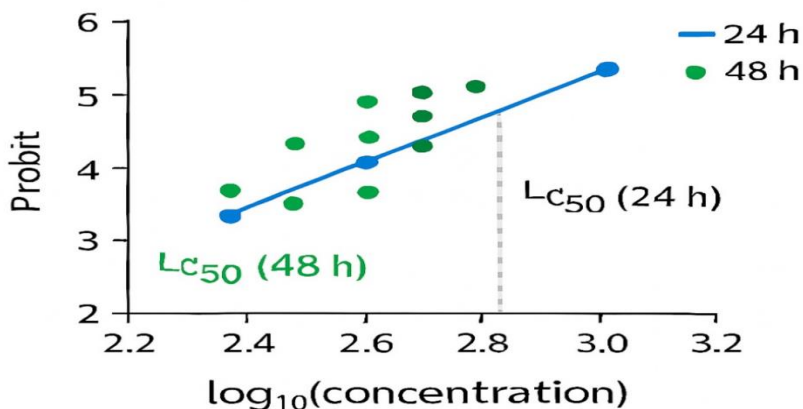
4-النتائج والمناقشة :

بلغت نتائج الدراسة الحالية للتركيز القاتل النصفى للمبيد ديازينون على أفراد برغوث الماء العذب المختبرة قيمتي (LC₅₀ - 24h=0.8 µg/L و LC₅₀ - 48h=0.4 µg/L)، تشير النتائج إلى

أن سمية المبيد تتزايد مع زيادة تركيز المبيد المستخدم وازمن التعرض مما يدل على أن التأثير تراكمي للعلاقة بين السمية والزمن، كما هو موضح في الشكل (2). وقد كانت هذه النتائج متقاربة مع ما أوردته دراسات سابقة؛ حيث سجل [36, 37] قيماً تتراوح بين 0.5-1.2 ميكروغرام/لتر، كما أشار [38] إلى أن برغوث الماء يُعد من الكائنات المائية شديدة الحساسية للديازينون حيث تقل قيمة LC_{50} عن 1 ميكروغرام/لتر، وهو ما يتوافق مع نتائج هذه الدراسة.

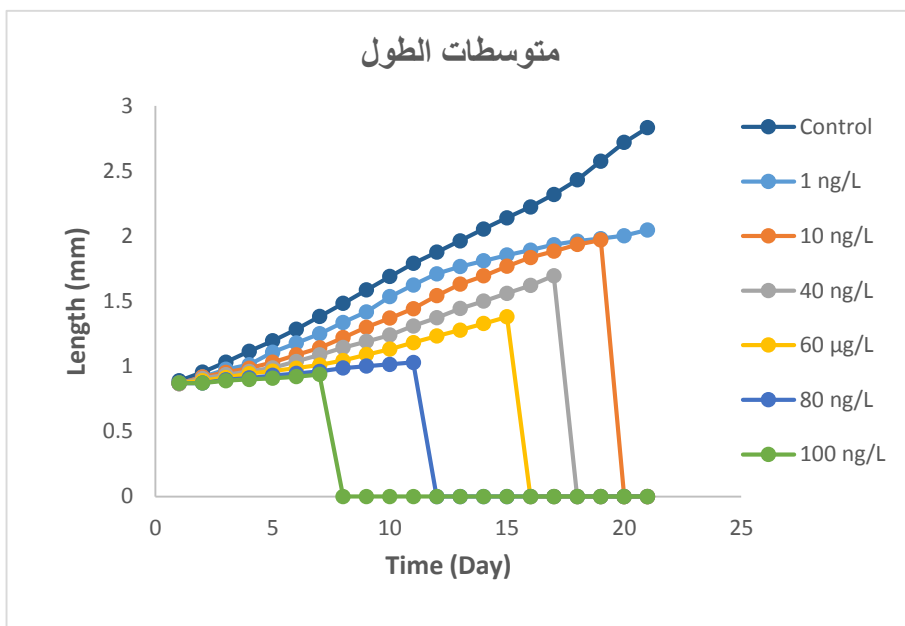
في المقابل، سجلت دراسة [39] قيماً أعلى لـ LC_{50} (تجاوزت 1.5-2.0 ميكروغرام/لتر)، يمكن تفسير هذا الاختلاف بتباين في الظروف التجريبية مثل: درجة الحرارة، نوع الوسط الغذائي، ووفرة الغذاء، أو حتى بسبب اختلاف السلالات المدروسة ضمن جنس *Daphnia*. بشكل عام، يشير انخفاض قيم LC_{50} المسجلة في هذه الدراسة مقارنة بدراسات أخرى إلى أن السلالة المحلية من برغوث الماء العذب المستخدم في هذه التجربة أظهرت حساسية أكبر، مما يعزز الحاجة إلى تشديد الرقابة على وجود بقايا هذا المبيد في البيئات المائية، نظراً لآثاره السامة الحادة والمزمنة حتى عند التراكيز المنخفضة جداً.

Probit LC₅₀ Curves Comparing the Acute Toxicity After 24 h and 48 h



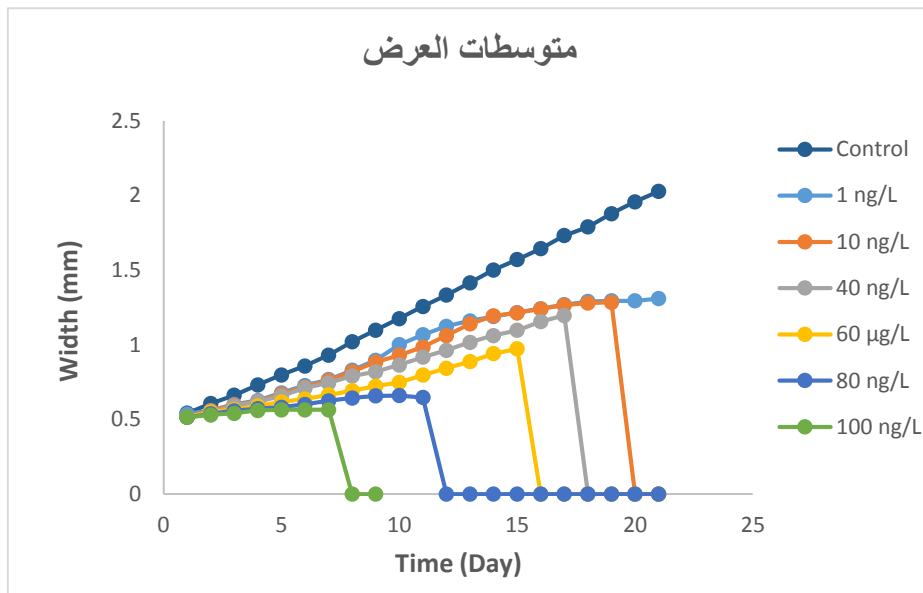
الشكل(2): منحنى بروبيت لمقارنة LC₅₀ لمبيد ديازينون على *Daphnia magna* بعد 24 و 48 ساعة.

تبين من خلال تجارب السمية المزمنة طويلة الأمد، عند تعريض أفراد الدافنيا حديثة الفقس لتراكيز متدرجة من مبيد ديازينون، أن أطوال الأفراد البالغة تناقصت بشكل طردي مع ازدياد تركيز المبيد ، وقد كانت النتائج متقاربة عند التركيزين 10 و 1 ng/L ، حيث بلغ متوسط أطوال الافراد (1.97ملم و1.98 ملم على التوالي)، ثم تناقصت الأطوال تدريجياً مع ارتفاع التركيز إلى 60، 100 ng/L، 80، 40، حيث وصل متوسط الطول عند التركيز 100 ng/L إلى 0.93 mm، وبالمقارنة مع المجموعة الضابطة، كان الاختلاف واضحاً وتأثير المبيد جلياً، إذ بلغ متوسط طول الفرد غير المعرض للمبيد حوالي 3.36 ملم، كما هو موضح بالشكل التالي (3).



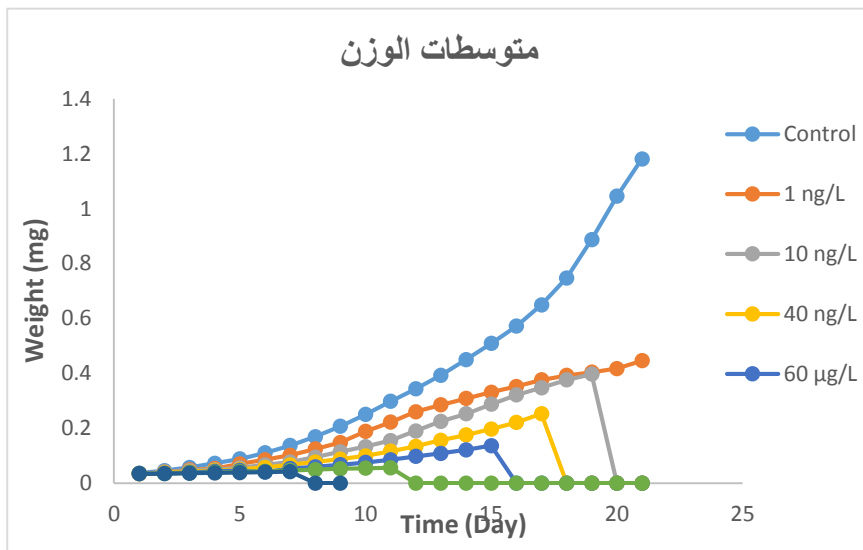
الشكل (3): النمو الطولي لأفراد *D. magna* تحت تأثير تراكيز مبيد ديازينون المستخدم.

أما بالنسبة لمتوسط عرض الأفراد، فقد تناقص عرضها بشكل تدريجي مع زيادة تراكيز المبيد. وقد كان الفرق واضحاً عند مقارنة النتائج مع المجموعة الضابطة، حيث بلغ متوسط عرض الأفراد في المجموعة الضابطة 2.25 mm، بينما كانت النتائج متقاربة عند التركيزين 10 ng/L، 1، حيث سجلت (1.28 mm, 1.29 mm) على التوالي، بينما انخفض متوسط العرض إلى 0.56 mm عند التركيز الأعلى 100 ng/L، كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (4): النمو العرضي لأفراد *D. magna* تحت تأثير تراكيز مبيد ديازينون المستخدم.

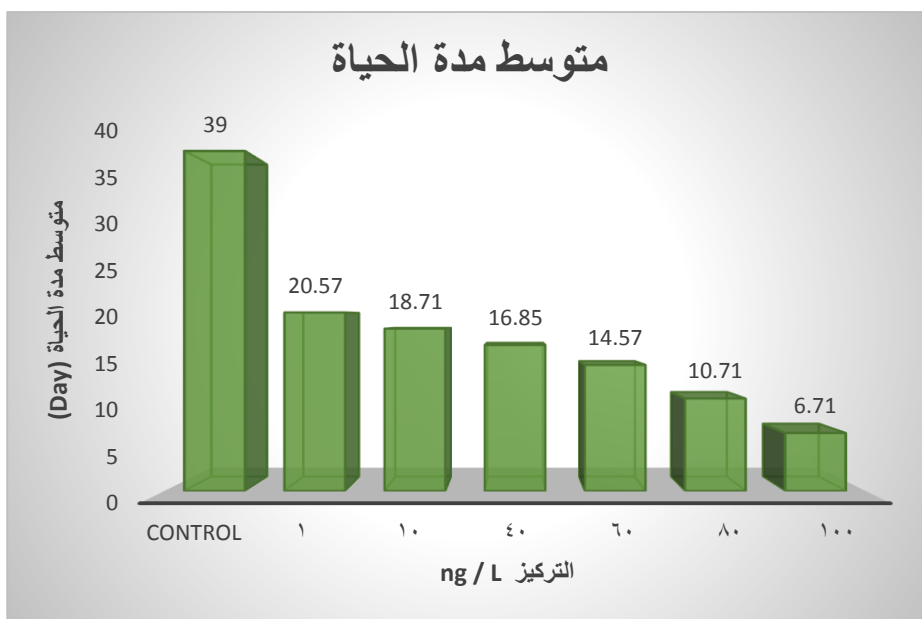
يوضح الشكل (5) متوسط أوزان الأفراد المعرضة لتراكيز متدرجة من المبيد، حيث كانت الفروقات واضحة بين أفراد المجموعة الضابطة التي سجلت متوسط وزن نهائي بلغ 1.97 mg، بينما بلغ متوسط وزن الأفراد المعرضة لأقل تركيز (1 نانوغرام/لتر) 0.44 ملغم وكان الفرق واضحاً بين تأثير التركيز المنخفض والتركيز المرتفع (100 نانوغرام/لتر)، حيث انخفض متوسط وزن الأفراد عند هذا التركيز إلى 0.04 ملغم. علماً أن متوسطات الأوزان قد تم حسابها استناداً إلى متوسطات الأطوال.



الشكل (5): النمو الوزني لأفراد *D. magna* تحت تأثير تراكيز مبيد ديازينون المستخدم.

أظهرت نتائج الدراسة الحالية أن التعرض لتراكيز متزايدة من ديازينون (1-100 نانوغرام/لتر) أدى إلى انخفاض تدريجي في النمو الطولي والعرضي والوزني لبرغوث الماء العذب، وذلك حتى عند التراكيز تحت المميتة. تتفق هذه النتائج مع ما أشارت إليه دراسات [40, 41] من أن التغيرات في مقاييس النمو تعد مؤشرات حيوية حساسة للتأثيرات السامة للمبيدات، وغالباً ما تظهر قبل حدوث النفوق. كما أكد [42] أن المبيدات الفوسفورية العضوية قد تُحدث خللاً في عمليات النمو والتطور نتيجة تأثيرها المثبط على النشاط العصبي والوظائف الحيوية، وهو ما يتفق مع هذه الدراسة. كما أشار [43] إلى أن التأثيرات التراكمية طويلة الأمد للمبيدات قد تكون أكثر خطورة من التأثيرات الحادة، حيث تؤدي التراكيز تحت المميتة إلى إعاقة النمو وتقليل فرص التكاثر على المدى البعيد، وهو ما لوحظ أيضاً في هذه الدراسة عند التعرض المزمّن للتراكيز المنخفضة. من جهة أخرى، قدّم [44] وصفاً دقيقاً لسمية ديازينون العالية تجاه الكائنات المائية الصغيرة، مبيناً أن

تأثيراته السامة لا تقتصر على معدلات البقاء فقط، بل تشمل النمو والتكاثر، مما يدعم النتائج الحالية حول تراجع القياسات الحيوية مع زيادة التعرض للمبيد. كما كشفت النتائج عن تأثير كبير لتركيز المبيد على طول عمر الأفراد، حيث تناقص متوسط العمر المتوقع وازدادت معدلات النفوق تدريجياً مع ارتفاع التركيز، كما هو موضح في الشكل (6).



الشكل (6): متوسط مدة حياة الأفراد تحت تأثير تراكيز مبيد ديازينون المستخدم.

وتؤكد هذه النتائج ما توصلت إليه أبحاث [45, 46]، حيث أشارت إلى وجود علاقة طردية بين زيادة تركيز المبيد وارتفاع معدل النفوق. كما ركزت دراسة [47] على خطورة التأثيرات تحت المميتة (Sublethal Effects)، التي يمكن أن تؤدي إلى تراجع تدريجي في معدلات البقاء على المدى الطويل. وهذا ما لوحظ في الدراسة الحالية، حيث أدت التراكيز المنخفضة النانوية من

ديازينون إلى خفض معدل بقاء الأفراد بشكل ملحوظ، حتى دون الوصول إلى قيم الـ LC_{50} المباشرة.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- 1) تتمتع قشريات *Daphnia magna* بحساسية فائقة تجاه مبيد ديازينون، حيث انخفضت قيم LC_{50} (0.8 ميكروغرام/لتر خلال 24 ساعة و 0.4 ميكروغرام/لتر خلال 48 ساعة) إلى مستويات متدنية جداً، مما يجعلها مؤشراً حيوياً فعالاً للكشف عن التلوث بهذا المبيد.
- 2) أن التعرض للتراكيز تحت المميتة (100 - 1 نانوغرام/لتر) كان كافياً لإحداث انخفاض معنوي في النمو الطولي والعرضي والوزني للأفراد، مما يشير إلى أن التأثيرات الضارة لا تقتصر على الجرعات القاتلة فحسب.
- 3) أدى التعرض المزمّن للديازينون إلى تقصير متوسط العمر المتوقع وزيادة معدلات النفوق بشكل طردي مع زيادة التركيز.

التوصيات:

- 1) استخدام مؤشرات النمو ومعدل البقاء في برامج الرصد الحيوي الدوري لتقييم الصحة العامة للنظام البيئي المائي والكشف المبكر عن التلوث.
- 2) إجراء دراسات عن السمية والتنقية البيولوجية في الأوساط المائية العذبة باستخدام هذه الأنواع القشرية التي تُعدّ مؤشرات حيوية للتلوث.
- 3) إجراء دراسات باستخدام أنواع أخرى من المبيدات وتقييم سميتها وتأثيرها على برغوث الماء العذب.

6-المراجع:

[1] Frey G. The non-swimming Chydorid Cladocera of wet forests with description of a new genus and two new species. Int Rev Gesamten Hydrobiol. 1980;65(5):631-641.

- [2] Ebert D, Little T, Carius HJ. The *Daphnia* parasite picture gallery: Endoparasites of *Daphnia*. 2004.
- [3] Benzie AHJ. The genus *Daphnia* (Including *Daphniopsis*) (Anomopoda: Daphniidae). Leiden; 2005. 976 p.
- [4] Duigan C. Cladocera: A short course. 2001.
- [5] Clare J. *Daphnia*: An aquarist's guide. Version 3.2; 2002.
- [6] Dalali BK, Al-Lami AA, Basim AN. Environmental features of Bahr Al-Najaf depression and its suitability for fish farming investment. Iraqi J Agric. 2000;5(4):68–78. (in Arabic).
- [7] Zaini A. Biological study of *Daphnia magna* Straus 1820 under laboratory conditions. Tishreen University Publications; 2008. (in Arabic).
- [8] Miller C. *Daphnia pulex* (Crustacea: Cladocera). University of Michigan Museum of Zoology; 2006. 10 p.
- [9] Ivieva IV. Mass cultivation of invertebrates: Biology and methods. Moscow; 1969. p.119–125.
- [10] Papchenkova GA, Makrushin AV. Effect of the insecticide Tanrec on reproduction and vital activity of *Daphnia magna* Straus in a 15-day test. Inland Water Biol. 2013;6(4):344–350.
- [11] Wassouf N, Araaj T, Daees M. Study of the ability of Phragmites and Typha plants to degrade the organophosphorus pesticide Dimethoate. MSc thesis. Tishreen University; 2023. (in Arabic).
- [12] Goncalves M. Ecotoxicological assessment and environmental risk of insecticides Temephose and Diflubenzuron to *Daphnia magna*, *Lemna minor* and fishes. 2012;34:29–38.

- [13] Naddy RB, Johnson KA, Klaine SJ. Response of *Daphnia magna* to pulsed exposures of Chlorpyrifos. Environ Toxicol Chem. 2000;19(2):423–431.
- [14] Jawish S, Qabaqibi MM, Al-Khatib S. Toxic effects of some organophosphorus pesticides on Calanoidae (Copepoda). Damascus Univ J Basic Sci. 2012;28(2). (in Arabic).
- [15] Possamai FP, Foryunato JJ, Feier G, Agostinho FR, Quevedo J, Filho DW, Pizzol FD. Oxidative stress after acute and sub-chronic malathion intoxication in Wistar rats. Environ Toxicol Pharmacol. 2007;23:198–204.
- [16] Arredondo ES, Heredia MJS, Garcia ER, Ochoa IH, Vega BQ. Sperm chromatin alteration and DNA damage by methyl-parathion, chlorpyrifos and diazinon. Reprod Toxicol. 2008;25:55–460.
- [17] Yeh SP, Sung TG, Chang CC, Cheng W, Kuo CM. Effects of an organophosphorus insecticide, trichlorfon, on hematological parameters of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Aquaculture. 2005;243:383–392.
- [18] Ali D, Nasser H, Araaj T. Determination of residual effects of some organophosphorus pesticides in soils of protected agriculture: Case study of Burj Islam, Lattakia. MSc thesis. Tishreen University; 2020 . (in Arabic).
- [19] Hawat A, Araaj T, Qarah Ali A. Determination of concentrations of some organophosphorus pesticides in surface and groundwater in Burj Islam area, Lattakia. MSc thesis. Tishreen University; 2021. (in Arabic).
- [20] Pan L, Sun J, Li Z, Zhan Y, Xu S, Zhu L. Organophosphate pesticide in agricultural soils from the Yangtze River Delta of China: Concentration, distribution, and risk assessment. Environ Sci Pollut Res. 2016;25(1):4–11.

[21] Katagi T. Bioconcentration, bioaccumulation, and metabolism of pesticides in aquatic organisms. *Rev Environ Contam Toxicol.* 2010;204:1–132.

[22] U.S. Environmental Protection Agency. IRED facts: Diazinon. Office of Pesticide Programs; 2004. Available from :https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/html/diazinon_ired_fs.html

[23] U.S. Environmental Protection Agency. Reregistration eligibility decision (RED): Diazinon (EPA 738-R-04-006). U.S. Government Printing Office; 2006.

[24] Sukjit N, Jirasatjanukul W. Acute toxicity of diazinon on tilapia (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium* sp.). *Aquac Int.* 2024;5(1):27–33.

[25] U.S. Environmental Protection Agency. Risks of diazinon use to the federally listed endangered Barton Springs salamander (*Eurycea sosorum*). U.S. Government Printing Office; 2007.

[26] National Pesticide Information Center. Diazinon technical fact sheet. Oregon State University Extension Services; 2009. Available from: <https://www.npic.orst.edu/factsheets/archive/diazinontech.html>

[27] PAN-UK. Pesticides Action Network-UK, Chemical pesticides database. 2010. Retrieved from: <http://www.pesticideinfo.org>

[28] FAO, WHO. Pesticide residues in food: Report 2019. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Rome; 2020.

- [29] Dole-Olivier MJ, Galassi DMP, Marmonier P, Creuze d'Ch. M. The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshw Biol.* 2000;44:63–91.
- [30] Peters RH, De Bernardi R. *Daphnia*. *Mem Ist Ital Idrobiol.* 1987;45:502.
- [31] Akel M, Zaini A. Effect of environmental factors and algal food type on growth and reproduction of *Daphnia magna*. MSc thesis. Tishreen University; 2020. (in Arabic).
- [32] Yadav IC, Devi NL. Pesticides classification and its impact on human and environment. *Environ Sci.* 2017;6:20.
- [33] Persoone G, Marsalek B, Blinova I, Törökne A, Zarina D, Manusadzianas L, et al. A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters. *Wiley InterScience.* 2003;395–402.
- [34] Sanchez-Fortun S, Barahona MV. Comparative study on the environmental risk induced by several pyrethroids in estuarine and freshwater invertebrate organisms. *Chemosphere.* 2004;59:553–559.
- [35] Betchen GA. Production of zooplankton (Cladocera) in lakes. Ph.D. Dissertation. Minsk; 1964.
- [36] Fernández CA, Ferrando MD, Andreu ME. Chronic toxicity of diazinon to *Daphnia magna*: Effects on survival, reproduction and growth. *Toxicol Environ Chem.* 1995;49:25–32.
- [37] Guilhermino L, Diamantino T, Ribeiro R, Gonçalves F. Acute toxicity test with *Daphnia magna*: Sensitivity to organophosphates. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2000;46(3):357–362.

- [38] Sanchez M, Ferrando MD, Sancho E, Andreu E. Physiological perturbations in several generations of *Daphnia magna* Straus exposed to diazinon. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2000;46:87–94.
- [39] Kim J. Chronic toxicity of diazinon to cladocerans under laboratory conditions. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2007;79(4):405–410.
- [40] Burkepile DE. Effects of pesticides on aquatic invertebrates: Growth and development impacts. *Environ Toxicol.* 2000;19(2):145–152.
- [41] Jemec A, Tisler T, Drobne D, Sepcic K, Fournier D, Trebs P. Comparative toxicity of imidacloprid, its commercial formulation, and diazinon to *Daphnia magna*. *Chemosphere.* 2007;68(8):1408–1418.
- [42] Lee SM, Choi J, Kim Y. Effects of organophosphorus insecticides on growth and development of *Daphnia*. *J Environ Sci Health B.* 1999;34(5):839–852.
- [43] Pham T. Sublethal exposure to pesticides and its cumulative impacts on aquatic invertebrates. *Aquat Ecol.* 2018;52(3):419–428.
- [44] Tomlin CDS. *The pesticide manual: A world compendium.* 11th ed. British Crop Protection Council; 1997.
- [45] Stark JD, Banks JE, Vargas R. Effects of organophosphate insecticides on survival of *Daphnia magna*. *Environ Toxicol Chem.* 2003;22(2):305–310.
- [46] Nagato E, Koide T, Kobayashi K. Comparative sensitivity of *Daphnia* to diazinon under different environmental conditions. *Environ Sci Pollut Res.* 2015;22(9):6895–6903.

[47] Kretschmann A, Braunbeck T, Hollert H. Long-term sublethal effects of organophosphates on *Daphnia* species. *Ecotoxicology*. 2011;20(7):1430–14 .

دراسة استقرار المنظومات الديناميكية غير الخطية المتزاوجة ذات الطبولوجيا الديناميكية

نسرين الأسعد

المشرف: أ.د. عبد الباسط الخطيب

المشرف المشارك : محمد شعيب العلي

ملخص البحث:

يتناول هذا البحث دراسة الاستقرار المنتظم للمنظومات الديناميكية غير الخطية المتزاوجة ذات الطبولوجيا الديناميكية.

نفترض أن حقول المتجهات التابعة للمنظومات الجزئية تحقق شروطاً رياضية، وأن مجموعة التوازن تتكون من جميع الحالات التي تمتلك مكونات حالة متماثلة.

نقوم بتمثيل هذه المنظومات باستخدام معادلات تفاضلية غير خطية متزاوجة، تُدار بواسطة إشارة تحويل متقطعة الثبات تمثل التبدلات في طبولوجيا الاتصال الداخلي بين الأعضاء.

ونبين في هذا البحث أن وجود خصائص طبولوجية معينة في بنية الاتصال كفيل بضمان الاستقرار المنتظم للمنظومة رغم تغير البنية مع الزمن.

الكلمات المفتاحية: المنظومات الديناميكية المتزاوجة، النظرية اللاخطية، استقرار المنظومات الديناميكية

A Study on the Stability of Coupled Nonlinear Dynamical Systems With Dynamic Topology

ABSTRACT

This research addresses the study of regular stability in coupled nonlinear dynamical systems with dynamic topology. It is assumed that the vector fields of the individual subsystems satisfy certain mathematical conditions, and the equilibrium set consists of all states with identical state components.

These systems are modeled using coupled nonlinear differential equations, governed by piecewise constant switching signals that represent changes in the internal connectivity topology among the components.

The study demonstrates that the presence of specific topological properties within the interaction structure is sufficient to ensure the regular stability of the system, even when the connectivity structure evolves over time.

Key words: coupled dynamical systems, nonlinear theory, stability of dynamic systems .

1. مقدمة البحث

تُعد المنظومات الديناميكية غير الخطية المتزاوجة موضوعاً محورياً في مجالات النمذجة والتحكم والتحليل الرياضي، لما لها من تطبيقات واسعة في العلوم والهندسة، بدءاً من الشبكات الكهربائية والروبوتات المتعددة إلى النظم البيولوجية والاجتماعية. تعتمد هذه المنظومات على التفاعل بين مجموعة من المنظومات الجزئية غير الخطية التي تتبادل المعلومات أو تؤثر على بعضها البعض وفق بنية ترابطية محددة، مما يؤدي إلى سلوك جماعي يصعب التنبؤ به في معظم الحالات.

نركز في هذا البحث على دراسة الاستقرار في المنظومات غير الخطية المتزاوجة تحت تأثير بنى تواصل متغيرة.

2. هدف البحث

تحديد الشروط البيانية التي تضمن الاستقرار للمنظومات الديناميكية غير الخطية المتزاوجة ذات الطوبولوجيا الديناميكية فيما يتعلق بمجموعة حالات التوازن للأعضاء.

3. طرق وأدوات البحث

نعتمد في هذا البحث على منهج رياضي نظري تحليلي، يركز على أدوات من نظرية المنظومات الديناميكية [1]، ونظرية البيانات الموجهة، بالإضافة إلى الدوال غير الملساء.

4. مشكلة البحث

تكمن مشكلة هذا البحث في فهم العلاقة بين بنية التفاعل بين الأعضاء في منظومة ديناميكية غير خطية متزاوجة وقدرتها على الوصول إلى اتفاق، في ظل تغير مستمر في هذه البنية مع الزمن.

والسؤال هنا يكمن حول وجود خصائص طوبولوجية معينة ، تضمن تقارب المنظومات نحو حالة اتفاق ما في ظل تغير الاتصال بين المنظومات الجزئية الأعضاء.

صياغة المسألة:

في هذا القسم نقدم نموذجاً عاماً غير خطياً للمنظومات ذات الاتصال الداخلي المتحولة، حيث يمكن أن نصف معظم المنظومات الديناميكية المتزاوجة من خلال طوبولوجيا ثابتة أو طوبولوجيا ديناميكية.

لتكن لدينا أسرة من المنظومات الممثلة بالمعادلات التفاضلية العادية من الشكل:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= f_p^1(x_1, \dots, x_n) \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= f_p^n(x_1, \dots, x_n)\end{aligned}$$

حيث $x_i \in R^m$ تمثل حالة المنظومة الجزئية أو العضو رقم i بحيث $i = 1, \dots, n$ والعنصر p موجود ضمن المجموعة P ، حيث تمثل مجموعة الوسطاء P أسرة من النماذج المختلفة لحالات المزوجة.

نلاحظ أن المنظومة الجزئية تشترك بفضاء حالة مشترك R^m .

نقدم الحالة العامة لنموذج مكون من n عضواً $x = (x_1, \dots, x_n) \in R^m$ بالشكل المختصر التالي:

$$\dot{x}(t) = f_{\sigma(t)}(x(t)) \quad (1)$$

حيث $p \in P$ و $f_p: R^m \rightarrow R^m$ أسرة لحقول متجهية منتظمة تحقق شرط ليبشتر يتم تحديدها بواسطة مجموعة العناصر P .

إشارة التحويل المتقطعة الثبات $\sigma: R \rightarrow P$ وهي دالة تأخذ قيمة ثابتة في فترات زمنية معينة، وقد تتغير قيمتها فجأة في لحظات محددة، تعرف بأوقات التحويل. وهذه الدالة لا تتغير باستمرار، فقط تتبدل عند نقاط زمنية معينة، وتكون ثابتة داخل كل فترة بين زمني متتاليين.

تحدد σ في كل لحظة زمنية t النموذج أو المنظومة $\sigma(t) \in P$ التي يتم العمل بها في تلك اللحظة.

سنفرض أن حالة المنظومة السابقة لا تقفز في أوقات التحويل، أي أن الحل $x(\cdot)$ مستمر في كل مكان.

5. المناقشة والنتائج

من أجل متطلبات البحث سوف نذكر التعاريف التالية

المجموعة الصامدة:

من أجل أي منظومة مرتبطة ظاهرياً بالزمن t من الشكل:

$$\dot{x} = f(t, x)$$

حيث أن $f : R \times R^n \rightarrow R^n$ هي دالة مستمرة بشكل متقطع بالنسبة للمتحول الزمني t

ومستمرة بالنسبة لمتحول الحالة x على $R \times R^n$.

نقول أن المجموعة $\Omega \subset R^n$ صامدة أمامياً للمنظومة إذا كان من أجل كل $t_0 \in R$ و كل

$$x^0 \in \Omega \text{ يتحقق أن } x(t, t_0, x^0) \in \Omega \text{ و ذلك أيأ كانت } t \geq t_0.$$

و بنفس الأسلوب نعرف المجموعة الصامدة خلفياً و الصامدة بشكلٍ عام.

المجموعات المستقرة :

نقول إن المجموعة الصامدة Ω أو المنظومة (بالنسبة للمجموعة الصامدة Ω)

- مُستقرة: إذا كان من أجل كل t_0 وكل $\varepsilon > 0$ ، يوجد $\delta = \delta(\varepsilon, t_0) > 0$ بحيث إن

$$\|x^0\|_{\Omega} \leq \delta(\varepsilon, t_0) \Rightarrow \|x(t)\|_{\Omega} \leq \varepsilon : \forall t \geq t_0$$

- مُستقرة بانتظام: إذا كان من أجل كل $\varepsilon > 0$ ، يوجد $\delta = \delta(\varepsilon) > 0$ بحيث إن

$$\|x^0\|_{\Omega} \leq \delta(\varepsilon) \Rightarrow \|x(t)\|_{\Omega} \leq \varepsilon : \forall t \geq t_0$$

حيث يمثل التنظيم $\|\cdot\|_{\Omega}$ المعرف على فضاء الحالة للمنظومة بُعد النقطة x^0 عن المجموعة

Ω .

البيان الموجه التفاعلي :

البيان الموجه التفاعلي $G_p(V, E_p)$ يتكون من :

- مجموعة محدودة V من العقد، العقدة i تمثل العضو i .

• مجموعة الأوتار E_p تمثل روابط بين الاعضاء.

يشير الوتر من العقدة j إلى العقدة i إن العضو j مجاور للعضو i ، بمعنى أن الدالة f_p^i التي تحدد سلوك العضو i تعتمد على حالة العضو j أي على x_j .

مجموعة جوارات العضو i نرمز لها بالرمز $N_i(p)$.

المجموعات المحدبة [2]:

نقول عن مجموعة ما أنها محدبة إذا كانت القطعة المستقيمة الواصلة بين كل نقطتين من المجموعة تقع بكاملها ضمن حدود المجموعة ، أي إذا تحقق الشرط التالي:

$$tx + (1-t)y \in S; \quad \forall x, y \in S, \quad t \in [0,1]$$

الهيكل المحدب للمجموعة S :

بفرض أن $S \subset R^m$ عندئذ ندعو تقاطع جميع المجموعات المحدبة التي تحتوي المجموعة S بالهيكل المحدب للمجموعة S ، ويرمز له بالرمز $co(S)$.

متعدد الأبعاد :

وهو الهيكل المحدب لمجموعة محدودة من النقاط $x_1, \dots, x_n \in R^m$ ، ونرمز له بالرمز

$$co \{x_1, \dots, x_n\} .$$

الفضاء الجزئي الناقل للمجموعة المحدبة:

لتكن S مجموعة محدبة تحوي نقطة الأصل، عندئذ نسمي أصغر فضاء جزئي يحوي المجموعة

S بالفضاء الجزئي الناقل للمجموعة S ، ونرمز له بالرمز $lin(S)$.

من الواضح أن الفضاء الجزئي الناقل للمجموعة المحدبة S ، يحتوي على جميع النقاط التي يمكن الوصول إليها من نقاط المجموعة المحدبة S عن طريق الجمع الخطي لنقاط هذه المجموعة المحدبة.

الداخلية النسبية للمجموعة المحدبة:

نرمز لها بالرمز $ri(S)$ ، وهي داخلية S عندما تكون مجموعة جزئية من $lin(S)$ ، وهي تمثل مجموعة النقاط التي يمكن الوصول إليها من داخل المجموعة المحدبة S ، بحيث تكون محاطة بالكامل بنقاط أخرى من هذه المجموعة.

وكذلك بالنسبة للحدودية النسبية يُرمز لها بالرمز $rb(S)$.

المخروط المماسي:

بفرض $S \subset R^m$ مجموعة محدبة مغلقة و $y \in S$ ، عندئذٍ المخروط المماسي للمجموعة S عند النقطة y هو مجموعة جميع المتجهات التي يمكن أن تؤخذ من النقطة y بحيث تبقى النقاط الناتجة داخل المجموعة المحدبة. ويكتب رياضياً:

$$T(y, S) = \left\{ z \in R^m : \liminf_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\|y + \lambda z\|_S}{\lambda} = 0 \right\}$$

المسألة:

بفرض لدينا اسرة من حقول المتجهات $\{f_p; p \in P\}$ تحقق فرضيات معينة، ما هي الشروط التي يجب توفرها في البيان الموجه التفاعلي الديناميكي $G_{\sigma(t)}$ والتي بموجبها تكون المنظومة ذات الاتصال الداخلي المتحولة (1) مستقرة بشكل منتظم فيما يتعلق بمجموعة التوازن Ω ؟

في حالة خاصة عندما تكون $\sigma(t)$ ثابتة، أي أن $\sigma(t) = p$. يتضح إن المنظومة ذات الاتصال الداخلي ثابتة الوقت والبيان الموجه التفاعلي الديناميكي هو مجرد بيان موجه تفاعلي ثابت .

فرضيات المسألة:

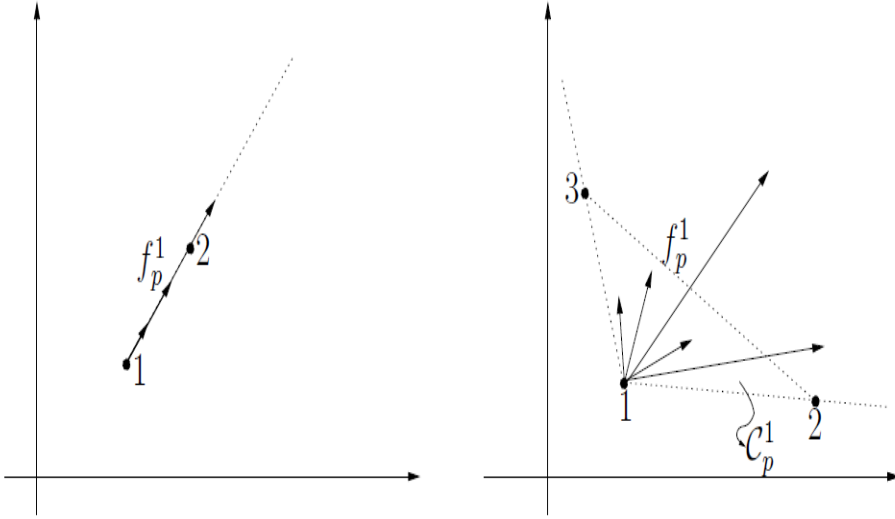
بفرض $C_p^i = co\{x_i, x_j : j \in N_i(p)\}$ تشير إلى متعدد الأبعاد في R^m الذي شكلته حالات العضو i وجواره. وبفرض $X \subset R^m$ مجموعة جزئية من فضاء الحالة المشترك والتي تلعب دور منطقة التركيز. في هذه المسألة ستكون الحالات الأولية للأعضاء في X^n أي أن كل عضو يبدأ من حالة تقع داخل X وبالتالي الحالة الكلية للأعضاء تقع في حاصل الجداء الديكارتي X^n .

بفرض I_0 تشير إلى مجموعة الأدلة $\{1, \dots, n\}$ ، وبفرض أنه من أجل كل $i \in I_0$ و لكل $p \in P$ ، الحقل المتجهية $R^m \rightarrow R^m$ تحقق الفرضيين التاليين:

(a) f_p^i تحقق شروط ليبشتر المحلية على X^n .

(b) من أجل كل $x \in X^n$ يكون $f_p^i(x) \in ni(T(x_i, C_p^i))$.

حيثُ $(T(x_i, C_p^i))$ المخروط المماسي للمجموعة C_p^i عند النقطة x_i و ni الداخلية النسبية لذلك المخروط أي داخله باستثناء الحواف.



الشكل (1): حالتان مختلفتان تمثلان الفرض b

يستبعد الفرض (b) الحالة التي يكون فيها المتجه $f_p^i(x)$ المطبق في النقطة x_i مماساً للحدود النسبية للمجموعة المحدبة C_p^i . ويوضح الشكل (1) حالتين مختلفتين للفرض (b). بفرض أن $S_{dwell}(\tau_D)$ تشير إلى مجموعة من اشارات التحويل المتقطعة الثبات التي لها زمن استقرار τ_D ، ونقدم الفرض التالي:

(c) $\sigma(t) \in S_{dwell}(\tau_D)$ هذا يعني أن التحويل بين أوضاع المنظومات لا يحدث بسرعة كبيرة، وإنما يوجد مدة قدرها τ_D يجب أن تقضيها المنظومة في كل وضع قبل الانتقال إلى الوضع الآخر، مما يمنع الاضطرابات السريعة في سلوك المنظومة.

فيما يلي سندرس كيف يؤثر البيان الموجه التفاعلي الديناميكي $G_{\sigma(t)}$ على استقرار المنظومات ذات الاتصال الداخلي المتحولة.

أولاً نقدم نتيجة مهمة تتعلق بخاصية الصمود الأمامي لأي مجموعة محدبة ومركبة. سنقدم فكرة توضيحية باستخدام مثال ثنائي الأبعاد 2D .

من أجل $m = 2$ فإن جميع الأعضاء تتحرك في المستوي .

لنفرض أن A مجموعة جزئية محدبة متراسة من $X \subset R^2$ ، وأن جميع الأعضاء تبدأ حركتها داخل المجموعة A . وبفرض $C(t)$ تشير إلى الهيكل المحدب لمواقع الأعضاء في الوقت t ، وهي أصغر مجموعة محدبة تحتوي على جميع النقاط الأعضاء، بحيث أن هذا الشكل يتغير مع مرور الوقت حسب حركة الأعضاء. . بما أن A مجموعة محدبة، فمن الواضح أن $C(0) \subset A$.

يمكن للأعضاء الموجودة في البداية في داخلية $C(0)$ التحرك في أي اتجاه عند الزمن $t = 0$ ، أما الأعضاء الموجود في البداية على حدودية $C(0)$ مقيدة بالتحرك نحو داخل الهيكل. وبالتالي فإن $C(t)$ لا تزداد مع الزمن (أي إذا كان $t_2 > t_1$ فإن $C(t_2) \subset C(t_1)$) أي أن مساحة تحرك الأعضاء لا تكبر، إما أن تبقى كما هي أو تصغر مع الزمن ، وذلك لأن المتجهات لا تخرج خارج المجموعة A ، وهذا يعادل رياضياً القول بأن الجداء الديكارتي A^n مجموعة صامدة أمامياً بالنسبة للمنظومة المتحولة (1) .

التمهيدية 1: [3]

بفرض $S_i, i = 1, \dots, n$ تمثل مجموعات مغلقة محدبة في R^m الخواص التالية محققة:

$$(1) \text{ إذا كانت } y \in S_1 \subset S_2 \text{ عندئذٍ فإن } T(y, S_1) \subset T(y, S_2)$$

$$(2) \text{ إذا كان } x_i \in S_i (i = 1, \dots, n) \text{ فإن:}$$

$$T((x_1, \dots, x_n), \bigotimes_{i=1}^n S_i) = \bigotimes_{i=1}^n T(x_i, S_i),$$

$$N((x_1, \dots, x_n), \bigotimes_{i=1}^n S_i) = \bigotimes_{i=1}^n N(x_i, S_i).$$

مبرهنة (1):

بفرض $A \subset X$ مجموعة محدبة و متراسة، فإن المجموعة A^n صامدة أمامياً

بالنسبة للمنظومة ذات الاتصال الداخلي (1) أي أن

$$x(t, t_0, x_0) \in A^n \quad \forall t \geq t_0$$

(أي أن كل مسار (حل) للمنظومة إذا بدأ داخل A^n فإنه سيبقى داخلها خلال الزمن أي

أن المنظومة لا تخرج من هذه المجموعة)

البرهان يتطلب مبرهنة ناغومو .

مبرهنة (2) : ناغومو [5]

بفرض لدينا المنظومة $\dot{y} = f(y)$ و $f: R^l \rightarrow R^l$. وبفرض أن $Y \subset R^l$ تمثل

مجموعة محدبة و مغلقة . وبفرض أنه من أجل كل y^0 في Y يوجد $\zeta(y^0) > 0$ ،

بحيث أن المنظومة تقبل الحل الوحيد $y(t, y^0)$ المعروف من أجل كل $t \in [0, \zeta(y^0)]$ ،

بالتالي

$$y^0 \in Y \Rightarrow y(t, y^0) \in Y, \forall t \in [0, \zeta(y^0)]$$

إذا فقط إذا كان $f(y) \in T(y, Y)$ من أجل كل $y \in Y$.

$T(y, Y)$ تمثل المخروط المماسي للمجموعة Y عند النقطة y وهو مجموعة المتجهات

التي تشير داخل أو على حدود المجموعة Y عند النقطة y .

إثبات المبرهنة (1):

لتكن A مجموعة محدبة ومتراصة في X ، وبفرض أن أي حالة أولية $x^0 \in A^n$ ، والوقت الأولي t_0 ، وبفرض أن $\sigma(t) \in S_{dwell}(\tau_D)$ و $x(t, t_0, x^0)$ تمثل حلاً للمنظومة ذات الاتصال الداخلي المتحولة (1)، الذي يحقق $x(t_0) = x^0$ ، وبفرض $[t_0, t_0 + \zeta(t_0, x^0)]$ تمثل مجال الحل الأعظم.

من أجل أي نقطة $x \in A^n$ ، من الواضح أن $C_p^i \subset A$ وذلك من أجل كل $i \in I_0$ و $p \in P$. بما أن المجموعة A محدبة، بالتالي من خلال الخاصية (1) في التمهيدية (1) نجد أن

$$f_p^i(x) \in \text{ri}(T(x_i, C_p^i)) \subset T(x_i, A) \forall i \in I_0, p \in P$$

وبحسب الخاصية (2) من نفس التمهيدية نجد أن:

$$g(t, x) = f_{\sigma(t)}(x) \in T(x, A^n)$$

وذلك من أجل كل $t \in R, x \in A^n$

بفرض $y = (t, x)$ نقوم بتشكيل المنظومة:

$$\dot{y} = F(y) = \begin{pmatrix} 1 \\ g(y) \end{pmatrix} \quad (2)$$

بما أن $g(t, x)$ تملك حل وحيد $x(t, t_0, x^0)$ المعروف من أجل كل $t \in [t_0, t_0 + \zeta(t_0, x^0)]$ ، بالتالي يتحقق أنه من أجل كل $(t_0, x^0) \in R \times A^n$ ، $y^0 = (t_0, x^0) \in R \times A^n$ المنظومة (2) تملك حل وحيد $y(t, y^0)$ المعروف على المجال $[0, \zeta(y^0)]$ وأيضاً:

$$F(y) \in T(t, R) \times T(x, A^n) = T(y, R \times A^n)$$

من أجل كل $y \in R \times A^n$.

بما أن $R \times A^n$ مجموعة مغلقة ومحدبة، وأيضاً من خلال المبرهنة (2) مبرهنة ناغومو يتحقق أن:

$$y^0 = (t_0, x^0) \in R \times A^n \Rightarrow y(\tau) \in R \times A^n \forall \tau \in [0, \infty(y^0)) \quad (3)$$

الحل $y(\tau)$ للمنظومة (2) بالشرط الأولي $y^0 \in (t_0, x^0)$ يرتبط بالحل $x(t)$ للمنظومة $\dot{x} = g(t, x)$ بالشرط الأولي $x(t_0) = x^0$ والذي يحقق:

$$(t, x(t)) = y(t - t_0) \quad \forall t \in [t_0, t_0 + \infty(t_0, x^0)]$$

نعيد كتابة الشرط (3)

$$t_0 \in R, x^0 \in A^n \Rightarrow x(t) \in A^n \forall t \in [t_0, t_0 + \infty(t_0, x^0)]$$

بما أن المجموعة A^n متراسة، يتحقق من خلال المبرهنة (2.4) في المرجع [4] أنه من أجل كل $x^0 \in A^n$ وكل $t_0, \in (t_0, x^0) = \infty$ والمجموعة A^n صامدة أمامياً بالنسبة للمنظومة ذات الاتصال الداخلي المتحولة (1)

مبرهنة (3):

المنظومة ذات الاتصال الداخلي المتحولة (1) تكون مستقرة بانتظام بالنسبة لكل موضع توازن $\bar{x} \in \Omega \cap \text{int}(x^n)$.

الإثبات:

كل موضع توازن $\bar{x} \in \Omega \cap \text{int}(X^n)$ يكون من الشكل:

$$\bar{x} = \xi \otimes I_n$$

حيثُ $(X) \in \text{int}(\xi)$.

أي أننا نفترض أن نقطة التوازن موجودة داخل المجال الداخلي X^n وهو عبارة عن تكرار المتجه ξ عبر جميع الاعضاء، أي أن كل عضو من المنظومة يبدأ من نفس الحالة ξ . وبفرض $\varepsilon > 0$ عنصر اختياري. نختار $(0 < \delta \leq \varepsilon)$ عدد صغير بشكل كافٍ لذلك يكون المربع:

$$A_\delta(\xi) = \{y \in R^m; \|y - \xi\|_\infty \leq \delta\}$$

لا يزال داخل المجموعة. X من الواضح أن $A_\delta(\xi)$ مجموعة محدبة ومتراصة. يتحقق من المبرهنة (1) أن الجداء الديكارتي $A_\delta^n(\xi)$ مجموعة صامدة أمامياً للمنظومة (1). ونلاحظ أن $x \in A_\delta^n(\xi)$ يكافئ أن:

$$\|x - \bar{x}\|_\infty < \delta$$

وأيضاً يكون:

$$A_\delta^n(\xi) \subseteq A_\varepsilon^n(\xi)$$

بالتالي نكون قد أثبتنا أنه $\exists \delta > 0 \forall \varepsilon > 0$ بحيث أنه $\forall t_0$ فإن:

$$\|x^0 - \bar{x}\| \leq \delta \Rightarrow (\forall t \geq t_0) \|x(t) - \bar{x}\| \leq \varepsilon$$

وبالتالي، أثبتنا أنه لكل $\varepsilon > 0$ ، يوجد $\delta > 0$ بحيث أنه إذا كانت الحالة الابتدائية x_0 تقع على مسافة لا تزيد عن δ من \bar{x} ، فإن الحل $x(t)$ يبقى على مسافة لا تتجاوز ε من \bar{x} .

وهذا تماماً هو تعريف الاستقرار المنتظم.

تطبيق عملي:

بفرض لدينا سرب من الطائرات المسيرة (الدراون) التي تحتاج إلى الحفاظ على تشكيل معين أثناء الطيران. تفاعلات هذه الطائرات تتغير مع الزمن بسبب بعض العوائق أو تغير في المهام الموكلة إليها، مما يجعل بنية الاتصال بينها ديناميكية وغير خطية.

النموذج الرياضي

تمثل حالة كل طائرة أو (عضو في السرب) بالمعادلة: [5]

$$\dot{x}_i = f_i(x_i) + \sum_{j \in N_i(t)} K_{ij}(t).h(x_j - x_i)$$

حيثُ

$x_i \in R^3$ تمثل موقع وسرعة الطائرة i .

$f_i(x_i)$ دالة تمثل ديناميكية الطيران الفردية (مثل مقاومة الهواء أو تحكم ذاتي).

$N_i(t)$ تمثل مجموعة الجوار المتغيرة مع الزمن.

$h(x_j - x_i)$ دالة غير خطية تصف كيفية تفاعل الطائرات.

$K_{ij}(t)$ يمثل معامل التغيير اللحظي، ويعكس شدة أو نمط الاتصال بين الطائرات،

ويتغير مع تغير البنية التفاعلية للسرب.

مجموعة التوازن (الاتفاق الجماعي)

$$\xi = \{x ; x_1 = x_2 = \dots = x_n\}$$

أي أن جميع الطائرات تصل في النهاية إلى نفس الموقع في الفضاء.

وإذا كانت الدوال f_i, h تحقق شروط ليبشتز وتوجه حركة الأعضاء نحو الداخل فأن التشكيل يبقى محدباً ومستقراً، حتى في ظل تغير بنية الاتصال مع الزمن.

المراجع:

- [1] MEYER, C, D 2000- Matrix Analysis and Applied linear Algebra SIAM.
- [2] BOYD, S, VANDENBERGHE, L 2004- Convex Optimization Cambridge University press.
- [3] AUBIN J. P, 1991- Viability Theory. Birkhauser.
- [4] KHALIL H, k, ,1996- Nonlinear Systems, 2nd ed. Prentice Hall.
- [5] OLFATI-SABER, R, 2007- Consensus and Cooperation in Networked Multi-Agent Systems. Proceeding of the IEEE.