

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 2

1448 هـ - 2026 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 الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننّا 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. الاء أبو العينين	شروط تحققها أعداد غاوص الصحيحة الأولية فيما بينها والتطبيق على الثلاثيات والرابعيات الفيثاغورثية الأولية
48-27	أ.د. أمير إبراهيم أ.د. شيرين حسين د. نهلة ابراهيم	دراسة مسحية للرصيف القاري السوري: المواصفات العامة ومدلولاتها البيولوجية
70-49	د. جاسم الفواز د. حسين الحسين	تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز $0.08 \text{ mol}\%$
89-71	مريم يوسف المصطفى أ.م.د. باسل العرنوس أ.د. حسن ياسين	دراسة كفاءة أنظمة التشفير <i>ELTRU</i> ، <i>MDNA</i> ، <i>ELQTR</i> ،

شروط تحققها أعداد غاوص الصحيحة الأولية فيما بينها والتطبيق على الثلاثيات والرابعيات الفيثاغورثية الأولية

اعداد : د. الاء أبو العينين

ملخص

نقدم في هذا البحث دراسة حول أعداد غاوص الأولية فيما بينها في حقل الاعداد العقدية، ووضع شروط لازمة وغير كافية ليكون عدنان عقديان أوليان فيما بينهما، وذلك من خلال وضع شروط للمركبات الحقيقية والتتخيلية للعدد العقدي، حيث تُعتبر هذه الشروط اسهل من الطرق المعتمدة في المراجع، وتم تطبيق البحث على الثلاثيات الفيثاغورثية والرابعيات الفيثاغورثية في حقل الاعداد العقدية. ووضع شروط بسيطة لازمة وغير كافية لتكون الثلاثية والرابعة أولية.

الكلمات المفتاحية :

أعداد غاوص الصحيحة، ثلاثية فيثاغورث، رابعة فيثاغورثية، أعداد عقدية.

A conditions for on the relatively prime Gaussian integers and the application to the primary Pythagorean triples and quadruples

Abstract

In this research, we present a study on the relatively prime Gaussian integers, and setting necessary and non – sufficient conditions for two Gaussian integers to be relatively prime, by setting conditions for the real and imaginary components of the complex number, as these conditions are considered easier than the methods in the references, and we applied

the research on Pythagorean triples and Pythagorean quadruples in the field of complex numbers. And we set simple conditions that are necessary and not enough for the prime Pythagorean triples and prime Pythagorean.

Keywords:

Gaussian integers, Relatively prime, Pythagorean triple, Pythagorean Quadruple, Complex numbers

1_مقدمة:

اكتشف البابليون (2000 قبل الميلاد) العلاقة التي تربط بين اضلاع المثلث القائم. وبعد ذلك أوجد الرياضي اليوناني فيثاغورث حلول صحيحة للعلاقة، وسميت مجموعة الحلول بالثلاثيات الفيثاغورثية.

ثم تم تعميم العلاقة التي تربط بين اضلاع المثلث القائم، إلى علاقة تربط بين أبعاد متوازي المستطيلات a, b, c وقطره d (القطعة المستقيمة الواصلة بين رأسين لا يقعان في وجه واحد من وجوه متوازي المستطيلات). وهي :

$$a^2 + b^2 + c^2 = d^2$$

وتُسمى الرباعية (a, b, c, d) برباعية فيثاغورث. وكان الاهتمام يدور حول ايجاد حلول صحيحة للمعادلة السابقة (معادلة ديوفانتس)، وحديثا توجد دراسات حول ايجاد ثلاثيات ورباعيات فيثاغورث في حقل الاعداد العقديّة ذات المركبات الصحيحة والتي عُرفت باسم أعداد غاوص الصحيحة.

2_تعريف ومفاهيم أساسية

2_1_أعداد غاوص الصحيحة [1]

نقول عن العدد العقدي $Z = x + iy$ أنه عدد غاوص الصحيح إذا كانت الاعداد x, y أعداد صحيحة، ويرمز لمجموعة كل أعداد غاوص الصحيحة بالرمز $\square[i]$.

وتُشكل أعداد غاوص الصحيحة مع عمليتي جمع وضرب الأعداد العقديّة المألوفة منطقة تكاملية.

2_2_التطابق بالمقاس w [2]

لتكن $z, y, w \in \square[i]$ نقول أن z, y متطابقان بالمقاس w ونكتب:

$$z \equiv y \pmod{w}$$

إذا تحقق $w|(z - y)$.

حيث نقول أن $a|b$ حيث $a, b \in \mathbb{Z}[i]$ إذا وجد عدد $c \in \mathbb{Z}[i]$ بحيث يحقق $a = cb$

مثال (1)

لاختبار صحة العلاقة $(1 + 12i) \equiv (2 - i) \pmod{(3 + i)}$ نقوم بالتأكد من تحقق التعريف:

$$\frac{(1+12i)-(2-i)}{(3+i)} = \frac{-1+13i}{(3+i)} = 1 + 4i \in \mathbb{Z}[i]$$

وبالتالي فإن التطابق صحيح.

2_3_القسمة في $\mathbb{Z}[i]$ [3]

من أجل $a, b \in \mathbb{Z}[i]$ حيث $b \neq 0$ ، يوجد $c, d \in \mathbb{Z}[i]$ بحيث:

$$a = bc + d, \quad |d| < |c|$$

إن c هو ناتج القسمة و d هو الباقي. حيث $|d|$ طولية العدد العقدي.

مثال (2)

ليكن $a = 1 + 8i$, $b = 2 - 4i$ فإن:

$$\frac{a}{b} = \frac{1+8i}{2-4i} = \frac{(1+8i)(2+4i)}{4+16} = -\frac{3}{2} + i \notin \mathbb{Z}[i]$$

إن $-\frac{3}{2}$ تقع بين -1 و -2 ، لذا سنختار $b = -1 + i$ أو $b = -1 + i$ ومنه :

$$a = b(-1 + i) + (-1 + 2i)$$

$$a = b(-2 + i) + (+1 - 2i)$$

بالرغم من عدم وحدانية ناتج القسمة والباقي، إلا أن ذلك لن يؤثر على أهمية القسمة في إيجاد القاسم المشترك الأكبر ، لأنه أيضاً لن يكون وحيداً.

2_4_ القاسم المشترك الأكبر [3]

القاسم المشترك الأكبر لعددتين $a, b \in \mathbb{Z}[i]$ هو آخر باقي غير صفري في عملية القسمة الاقليدية للعددتين a, b . والمثال التالي يوضح ذلك.

مثال (3)

سنوجد القاسم المشترك الأكبر للعددتين $a = 32 + 9i$, $b = 4 + 11i$ كمايلي:

$$32 + 9i = (4 + 11i)(2 - 2i) + (2 - 5i)$$

$$4 + 11i = (2 - 5i)(-2 + i) + (3 - i)$$

$$2 - 5i = (3 - i)(1 - i) - i$$

$$3 - i = (-i)(1 + 3i) + 0$$

إن آخر باقي غير صفري هو $(-i)$ ، ومنه فإن $gcd = -i$. حيث gcd هو القاسم المشترك الاكبر.

ويُبرهن أنه إذا كان d قاسم مشترك أكبر لعددتين من $\mathbb{Z}[i]$ ، فإن $-d, id, -id$ هي أيضاً قواسم مشتركة عظمى (لذلك لا نهتم بعدم وحدانية ناتج القسمة وباقي القسمة لأن آخر باقي غير معدوم سيكون أخذ القواسم المشتركة العظمى).

2_5_ الاعداد الأولية فيما بينها في $\mathbb{Z}[i]$ [3]

لتكن $z, y \in \mathbb{Z}[i]$ ، نقول إن z, y أوليان فيما بينهما إذا كانت القواسم المشتركة العظمى هي الأعداد $S = \{1, -1, i, -i\}$. ويُبرهن أن ذلك يُكافي المساواة التالية:

$$1 = az + by \quad ; \quad a, b \in \mathbb{Z}[i]$$

حيث أن إذا كان z, y أوليان فإن أي قاسم مشترك لهما سيقسم (1) ، وقواسم (1) هي فقط عناصر المجموعة S .

العددين الواردين في المثال (3) أوليين فيما بينهما، لأن $gcd = -i$.

2_6_ ثلاثية فيثاغورث العقدية [4]

نقول عن الثلاثية (Z_1, Z_2, Z_3) أنها فيثاغورثية أولية عقدية إذا حققت الشرطين التاليين:

الشرط الأول هو تحقق العلاقة التالية:

$$Z_1^2 + Z_2^2 = Z_3^2$$

حيث $Z_1, Z_2, Z_3 \in \square[i]$.

والشرط الثاني أن تكون الأعداد Z_1, Z_2, Z_3 أولية فيما بينها مثنى مثنى.

3_ هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى وضع شروطٍ لازمة وغير كافية لكون عددين غاوصيين أوليين نسبيًا فيما بينهما، حيث تُقدّم هذه الشروط منهجيةً مبسطةً مقارنةً بالطرق التقليدية المعتمدة في الدراسات السابقة.

4_ نتائج البحث

مبرهنة (1)

بفرض $Z_1, Z_2 \in \square[i]$ أوليان فيما بينهما حيث:

$$Z_1 = x_1 + iy_1, \quad Z_2 = x_2 + iy_2$$

$$\cdot d = \gcd(x_1, y_1, x_2, y_2) = 1 \text{ فإن}$$

البرهان:

لنفرض جدلاً أن $d = t \neq 1$ عندئذٍ ومن التعريف السابق يوجد $a, b \in \square[i]$ بحيث

$$1 = aZ_1 + bZ_2$$

ولنفرض أن $a = a_1 + ia_2, b = b_1 + ib_2$ أي:

$$1 = (a_1 + ia_2)(x_1 + iy_1) + (b_1 + ib_2)(x_2 + iy_2)$$

$$1 = (a_1x_1 - a_2y_1) + i(a_2x_1 + a_1y_1) + (b_1x_2 - b_2y_2) + i(b_1y_2 + b_2x_2)$$

بأخذ القسم الحقيقي للتركيب الجبري السابق نجد:

$$1 = (a_1x_1 - a_2y_1) + (b_1x_2 - b_2y_2)$$

وحسب الفرض الجدلي فإن t تقسم الطرف الايمن وبالتالي يجب أن تقسم الطرف الايسر (1) وهذا غير ممكن. ومنه الفرض الجدلي خاطئ. أي إذن:

$$d = \gcd(x_1, y_1, x_2, y_2) = 1$$

ملاحظة (1):

إن المبرهنة (1) تُعطي شرط لازم ولكن غير كافي ليكون عددين من $\square[i]$ أوليين فيما بينهما. ولكن تأتي أهمية المبرهنة أنه معيار سهل جداً للحكم على عددين أنهما غير أوليين فيما بينهما قبل البدء بعملية القسمة المطولة.

أي إذا كان $\gcd(x_1, y_1, x_2, y_2) \neq 1$ فإن:

$$Z_1 = x_1 + iy_1 \quad , \quad Z_2 = x_2 + iy_2$$

غير أوليين فيما بينهما.

المثال التالي هو مثال لعددتين يحققان شروط المبرهنة (1) ولكنهما غير أوليين فيما بينهما.

مثال (4)

ليكن $a = 11 + 3i$, $b = 1 + 8i$ ، من الواضح أن العددين السابقين يحققان شروط المبرهنة (1) ، لأن $\gcd(11,3,1,8) = 1$. ولكن a, b غير أوليين فيما بينهما لأن:

$$11 + 3i = (1 + 8i)(1 - i) + 2 - 4i$$

$$1 + 8i = (2 - 4i)(-1 + i) - 1 + 2i$$

$$2 - 4i = (-1 + 2i)(-2) + 0$$

إن آخر باقي غير معدوم هو $-1 + 2i$ ومنه $\gcd = -1 + 2i$ وليس أحد عناصر المجموعة S ، أي العددان a, b ليسا أوليين فيما بينهما.

مثال (5)

وجدنا من المثال (3) أن العددين $a = 32 + 9i$, $b = 4 + 11i$ أوليان فيما بينهما، ونلاحظ أن

$$\gcd(32,9,4,11) = 1$$

نتيجة (1):

بفرض الأعداد Z_1, Z_2, Z_3 أولية فيما بينها متنى متنى، وحسب المبرهنة 1 فإن:

$$\gcd(x_1, y_1, x_2, y_2) = 1$$

$$\gcd(x_1, y_1, x_3, y_3) = 1$$

$$\gcd(x_2, y_2, x_3, y_3) = 1$$

حيث:

$$Z_1 = x_1 + iy_1, \quad Z_2 = x_2 + iy_2, \quad Z_3 = x_3 + iy_3$$

ومنه نجد أنه إذا كانت (Z_1, Z_2, Z_3) ثلاثية فيثاغورثية عقدية أولية فإن أحد الأعداد على الأقل $\gcd(x_1, y_1, x_2, y_2)$ فردية. لأنها لو كانت جميعها زوجية فإن $\gcd(x_1, y_1, x_2, y_2) = 2$ على الأقل وهذا مخالف للنتيجة (1).

ملاحظة (2) [1]

من مبرهنة فيثاغورث في الأعداد الطبيعية: $x_1^2 + x_2^2 = x_3^2$

فإن: $r, s \in \mathbb{N}$ حيث $x_1 = r^2 - s^2$, $x_2 = 2rs$, $x_3 = r^2 + s^2$

وتكون الثلاثية (x_1, x_2, x_3) أولية إذا كان r, s أحدهما زوجي والآخر فردي و $r > s$.

وان طريقة التوليد السابقة تبقى صحيحة في $\square[i]$ باعتبار $r, s \in \square[i]$.

مبرهنة (2)

بفرض $Z_1, Z_2, Z_3 \in \square[i]$ و:

$$Z_1 = r^2 - s^2, \quad Z_2 = 2rs, \quad Z_3 = r^2 + s^2$$

حيث $r, s \in \square[i]$ و $r = r_1 + ir_2$, $s = s_1 + is_2$

الشرط اللازم لتكون الثلاثية الفيثاغورثية العقدية (Z_1, Z_2, Z_3) أولية هو أن يكون أحد الأعداد r_1, r_2, s_1, s_2 فردي والبقية زوجية. أو أحد الأعداد r_1, r_2, s_1, s_2 زوجي والبقية فردية.

الاثبات :

$$\text{بفرض } Z_1 = x_1 + iy_1 , Z_2 = x_2 + iy_2$$

علاقات التوليد في المبرهنة تفرض x_2, y_2 زوجيان، لأن:

$$\begin{aligned} Z_2 &= 2rs = 2(r_1 + ir_2)(s_1 + is_2) \\ Z_2 &= 2(r_1s_1 - r_2s_2) + 2i(r_1s_2 + r_2s_1) \end{aligned}$$

$$x_2 = \text{Re}(2rs) = 2(r_1s_1 - r_2s_2)$$

$$y_2 = \text{Im}(2rs) = 2(r_1s_2 + r_2s_1)$$

ومن النتيجة (1) نجد اما x_1 فردي أو y_1 فردي.

$$Z_1 = r^2 - s^2 = (r_1 + ir_2)^2 - (s_1 + is_2)^2$$

$$Z_1 = r_1^2 - r_2^2 + 2ir_1r_2 - s_1^2 + s_2^2 - 2is_1s_2$$

$$Z_1 = r_1^2 - r_2^2 - s_1^2 + s_2^2 + 2i(r_1r_2 - s_1s_2)$$

إن y_1 عدد زوجي وضوحاً ومنه يجب أن يكون x_1 فردي أي يجب أن يكون $r_1^2 - r_2^2 - s_1^2 + s_2^2$ فردي. لان

$$x_1 = \text{Re}(r^2 - s^2) = r_1^2 - r_2^2 - s_1^2 + s_2^2$$

$$y_1 = \text{Im}(r^2 - s^2) = 2(r_1r_2 - s_1s_2)$$

وليكون x_1 فردي يجب أن يكون أحد $r_1^2, r_2^2, s_1^2, s_2^2$ فردي والبقية زوجي أو أحدهم زوجي والبقية فردي. أي أحد القيم r_1, r_2, s_1, s_2 فردي والبقية زوجي أو أحدهم زوجي والبقية فردي.

نتيجة (2):

إن المبرهنة (2) تُعد معيار سهل وبسيط للحكم على ثلاثية فيثاغورثية أنها غير أولية.

مثال (6)

لنأخذ $r = 2 + 4i$, $s = 4 + 6i$ من الواضح أن r , s لا يحققان شروط المبرهنة (2).

$$Z_1 = r^2 - s^2 = 8 - 32i$$

$$Z_2 = 2rs = -32 + 56i$$

$$Z_3 = r^2 + s^2 = -32 + 64i$$

ونلاحظ

$$\gcd(8, -32, -32, 56) = 8$$

$$\gcd(-32, 56, -32, 64) = 8$$

$$\gcd(8, -32, -32, 64) = 8$$

أي الثلاثية الفيثاغورثية غير أولية، لأن الثلاثية غير أولية فيما بينها متى متى.

الرباعية الفيثاغورثية العقدية [4]

نقول عن الرباعية (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) إنها فيثاغورثية اذا حققت المعادلة التالية .

$$Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 = Z_4^2$$

حيث $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 \in \square[i]$.

ملاحظة (3): [4]

يمكن تعميم طريقة توليد رباعيات فيثاغورثية صحيحة إلى $\square[i]$ كما يلي:

بفرض لدينا:

$$Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 = Z_4^2$$

فإن علاقات التوليد هي

شروط تحققها أعداد غاوص الصحيحة الأولية فيما بينها والتطبيق على الثلاثيات والرابعيات الفيثاغورثية الأولية

$$Z_1 = r^2 - s^2 - t^2 , Z_2 = 2rs , Z_3 = 2rt , \\ Z_4 = r^2 + s^2 + t^2$$

حيث $r, s, t \in \square[i]$

الرابعة الفيثاغورثية الأولية

سنقوم بتعريف الرابعة الفيثاغورثية الأولية بطريقة معممة لتعريف الثلاثية الفيثاغورثية الأولية كما يلي:

نقول عن الرابعة الفيثاغورثية Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 أنها أولية اذا حققت الشروط الأربعة التالية :

$$gcd(Z_1, Z_2, Z_3) = gcd(gcd(Z_1, Z_2), Z_3) = S$$

$$gcd(Z_1, Z_2, Z_4) = gcd(gcd(Z_1, Z_2), Z_4) = S$$

$$gcd(Z_1, Z_3, Z_4) = gcd(gcd(Z_1, Z_3), Z_4) = S$$

$$gcd(Z_2, Z_3, Z_4) = gcd(gcd(Z_2, Z_3), Z_4) = S$$

حيث $S = \{1, -1, i, -i\}$

نتيجة (3)

إن الشروط الأربعة الواردة في التعريف السابق تقتضي أن:

$$gcd(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3) = 1$$

$$gcd(x_1, y_1, x_2, y_2, x_4, y_4) = 1$$

$$gcd(x_1, y_1, x_3, y_3, x_4, y_4) = 1$$

$$gcd(x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4) = 1$$

البرهان:

لنأخذ الشرط الأول

$$\gcd(Z_1, Z_2, Z_3) = \gcd(\gcd(Z_1, Z_2), Z_3) = S$$

ويفرض $\gcd(Z_1, Z_2) = t$ فإن:

$$t = aZ_1 + bZ_2 ; a, b \in \square[i]$$

ومنه

$$\gcd(Z_1, Z_2, Z_3) = c(aZ_1 + bZ_2) + dZ_3 ; c, d \in \square[i]$$

ويفرض

$$a = a_1 + ia_2, b = b_1 + ib_2, c = c_1 + ic_2, d = d_1 + id_2$$

بالإصلاح نجد أن:

$$\operatorname{Re}(\gcd(Z_1, Z_2, Z_3)) = c_1a_1x_1 + c_1b_1x_2 + d_1x_3 - (c_1a_2y_1 + c_1b_2y_2 + d_2y_3)$$

ومنه فإن الحد الأيمن سيقسم الواحد فقط، أي:

$$\gcd(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3) = 1$$

وينفس الطريقة نثبت باقي الاقتضاءات.

مبرهنة (3)

بفرض لدينا:

$$Z_1 = r^2 - s^2 - t^2, Z_2 = 2rs, Z_3 = 2rt, \\ Z_4 = r^2 + s^2 + t^2$$

حيث $r, s, t \in \square[i]$ و

$$r = r_1 + ir_2, s = s_1 + is_2, t = t_1 + it_2$$

الشرط اللازم لتكون الرباعية الفيثاغورثية (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) أولية هو أن تكون أحد الأعداد $r_1, r_2, s_1, s_2, t_1, t_2$ زوجي والبقية فردية، أو أحدهم فردي والبقية زوجي، أو 3 منهم فردي و 3 منهم زوجي.

الاثبات

إن علاقات التوليد في المبرهنة (3) تفرض x_2, y_2, x_3, y_3 أعداد زوجية. ومن المبرهنة (1) نجد اما x_1 فردي أو y_1 فردي.

$$\begin{aligned} r^2 - s^2 - t^2 &= (r_1 + ir_2)^2 - (s_1 + is_2)^2 - (t_1 + it_2)^2 \\ &= r_1^2 - r_2^2 + 2ir_1r_2 - s_1^2 + s_2^2 - 2is_1s_2 - t_1^2 + t_2^2 - 2it_1t_2 \\ &= r_1^2 - r_2^2 - t_1^2 - s_1^2 + s_2^2 + t_2^2 + 2i(r_1r_2 - s_1s_2 - t_1t_2) \end{aligned}$$

ومنه:

$$\begin{aligned} x_1 &= \text{Re}(r^2 - s^2 - t^2) = r_1^2 - r_2^2 - t_1^2 - s_1^2 + s_2^2 + t_2^2 \\ y_1 &= \text{Im}(r^2 - s^2 - t^2) = 2(r_1r_2 - s_1s_2 - t_1t_2) \end{aligned}$$

إن y_1 عدد زوجي وضوحاً ومنه يجب أن يكون x_1 فردي، أي يجب أن يكون $r_1^2 - r_2^2 - t_1^2 - s_1^2 + s_2^2 + t_2^2$ فردي، وليكون المقدار السابق فردي يجب أن يكون أحد $r_1^2, r_2^2, t_1^2, s_1^2, s_2^2, t_2^2$ فردي والبقية زوجي أو أحدهم زوجي والبقية فردي أو 3 منهم فردي و 3 زوجي. ومنه حتى يكون المقدار السابق فردي يجب أن يكون أحد $r_1, r_2, s_1, s_2, t_1, t_2$ فردي والبقية زوجي أو أحدهم زوجي والبقية فردي أو 3 منهم فردي و 3 زوجي.

زوجي. 1

مثال (6):

سنختار r, s, t لا تحقق شروط المبرهنة (2).

$$r = 2 + i, \quad s = 3 + 2i, \quad t = 2 + 4i$$

ومنه:

$$Z_1 = (2 + i)^2 - (3 + 2i)^2 - (2 + 4i)^2 = 10 - 24i$$

$$Z_2 = 2(2 + i)(3 + 2i) = 8 + 14i$$

$$Z_3 = 2(2 + i)(2 + 4i) = 20i$$

$$Z_4 = (2 + i)^2 + (3 + 2i)^2 + (2 + 4i)^2 = -4 + 32i$$

ومنه نجد:

$$\gcd(10, -24, 8, 14, -4, 32) = 2$$

وهذا يؤدي أن :

$$\gcd(Z_1, Z_2, Z_4) \neq S$$

أي أن الرباعية الفيثاغورثية غير أولية.

الاستنتاجات:

قدمنا في هذا البحث 3 مبرهنات أساسية، ووضعنا شروط لازمة وغير كافية تفيد في :

1_ الحكم على عددين أنهما غير أوليين من خلال تطبيق شرط سهل ودون الحاجة إلى القسمة الإقليدية المطولة.

2_ الحكم على ثلاثية فيثاغورثية أنها غير أولية من خلال عدم تحقق شروط بسيطة، ودون الحاجة إلى دراسة أولية الأعداد مثنى مثنى.

3_ الحكم على رباعية فيثاغورثية أنها غير أولية من خلال عدم تحقق شروط بسيطة، ودون الحاجة إلى دراسة أولية الأعداد مثنى مثنى.

المراجع العلمية

- 1_ History of The Theory of Numbers: Diophantine Analysis, I,. E. Dickson. 2Eds. London: Dover Publication, (2005).
- 2_ Pythagorean Theorem. E. Maor, The: A 4000-Year History, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, (2007).
- 3_ Generating Pythagorean triples: the methods of Pythagoras and of Plato via Gnomons. J.H. Barnett, Number Theory, 7 (2017).
- 4_ The Pythagorean theorem, John C.Sparks, p99-101,USA (2008).

دراسة مسحية للرصيف القاري السوري: المواصفات العامة ومدلولاتها البيولوجية

أ.د. أمير إبراهيم¹ - أ.د. شيرين حسين¹ - د. نهلة إبراهيم²

1 قسم الثروة السمكية- المعهد العالي للبحوث البحرية- جامعة اللاذقية - سورية

2 قسم علم الحياة الحيوانية - كلية العلوم- جامعة اللاذقية - سورية

عنوان التراسل: amir.ali.ibrahim@latakia-univ.edu.sy

المخلص

تم تنفيذ البحث على امتداد الساحل السوري بدءاً من منطقة السمرا أقصى شمال منطقة البسيط وحتى الحدود اللبنانية جنوباً، على الرصيف القاري بقطاعاته الجزئية نوات الأعماق: 0-20، 20-50، 50-100، 100-200 لتحديد المواصفات العامة والمدلول البيولوجي لهذه الموائل. أظهرت النتائج أنّ طول الشريط الساحلي السوري بتعرجاته هو 202.3 كم (طول الشريط الساحلي السوري المحدد بدءاً من خطوط الأساس هو 183 كم). يمثل هذا الشريط خطأً قليل التعرج نسبياً، ينتأ نحو الغرب في مناطق رأس البسيط ورأس الفاسوري ورأس ابن هاني، ويتقوس قليلاً شرقاً في منطقة بانياس، ومع الاقتراب من الحدود اللبنانية. وتبين أن مساحة الرصيف القاري السوري هي 915.8 كم² وهي بالواقع منطقة صيد الانواع الحية البحرية الاقتصادية، يستحوذ القطاع 0-20م الحيز الأكبر، ما يوفر مواطن بيئية جيدة نسبياً للتنوع الحيوي البحري بحكم الإضاءة الجيدة في هذه المنطقة قليلة العمق والتي تؤمن قاعدة غذائية جيدة لأنواع الحية. بلغ أعلى ميلان في الشمال في منطقة جنوب السمرة والميلان الأقل في أقصى الجنوب في منطقتي المنطار والحميدية. وتبين أنه حينما يكون ميلان المنطقة البرية الساحلية كبير، يكون ميلان الرصيف القاري في البحر كبيراً بشكل عام، والعكس صحيح. وبلغ متوسط عرض الرصيف القاري 5.46 كم، حيث يكون أقصاه في مناطق الشيخ جابر وجنوب الحميدية

والحميدية، وأقله في جنوب رأس الفاسوري وابن هاني وجنوب رأس البسيط وجنوب السمرا ورأس ابن هاني.

الكلمات المفتاحية: الرصيف القاري، الشاطئ السوري، التنوع الحيوي البحري.

Survey Study of the Syrian Continental Shelf: General Characteristics and their Biological Implications

Amir IBRAHIM¹, Chirine HUSSEIN¹ & Nahla EBRAHEM²,

(1) Prof., Department of Fisheries Resources, High Institute of Marine Research, Latakia University-Syria.

(2) Associate Prof., Department of Animal Life Science, Faculty of Science, Latakia University-Syria.

Correspondence: amir.ali.ibrahim@latakia-univ.edu.sy

ABSTRACT

The research was carried out along the Syrian coast, starting from the Al-Samra area in the far north of the Al-Basit region and down to the Lebanese border in the south. It included the continental shelf with its sub-sections with depths of: 0-20, 20-50, 50-100, 100-200m, to determine its general characteristics as natural habitats for living species and the biological significance of these habitats.

The results showed that the length of the Syrian coastline, including its irregularities, is 202.3 km (the length of the Syrian coastline defined from the baselines is 183 km). This coastline is relatively smooth, sloping westward in the areas of Ras al-Basit, Ras al-Fasuri, and Ras Ibn Hani, and curving slightly eastward in Baniyas region, as it approaches the Lebanese border. The Syrian continental shelf covers an area of 915.8 km², with the 0-20m zone comprising the largest area. This zone provides relatively good habitats for marine biodiversity due to the ample light in this shallow area, which also ensures a good food source for marine

species. The highest slope was observed in the north, in the area south of Al-Samra, while the lowest slope was in the far south, in Al-Muntar and Al-Hamidiyah areas.

As the slope of the coastal land area becomes steep, the slope of the facing continental shelf becomes steep too, and vice versa. The average width of the continental shelf was 5.46 km, with the greatest width was in Sheikh Jaber, South Hamidiya, and Hamidiya, and its narrowest was in the areas south of Ras Al-Fasuri, Ibn Hani, south of Ras Al-Basit, south of Al-Samra, and Ras Ibn Hani.

Keywords: Continental shelf, Syrian coast, Marine biodiversity.

1- مقدمة Introduction:

يُعد الرصيف القاري Continental shelf (منطقة قاع البحر وما فوقه بدءاً من العمق صفر وحتى العمق 200م) من المناطق الأكثر أهمية في منظومة البحار والمحيطات كونها المنطقة المنتجة بيولوجياً وفيها تتركز أغلب الثروات الحية وغير الحية [1]، حيث يزداد فيها الناتج البيولوجي أضعاف ما هو عليه الحال في البحار المفتوحة بسبب توفر الإضاءة الكافية وزيادة سرعة سريان الطاقة Energy flow في المياه وتوفر الشروط الهيدرولوجية الأخرى المناسبة [2]. هذا بالإضافة إلى اكتناز الثروات الطبيعية في الرصيف القاري وسهولة استثمارها مقارنة بالمناطق العميقة [3].

إنّ ضيق الرصيف القاري السوري يعطيه أهمية بيولوجية وجيولوجية من زاوية كونه ملجأً لتنوع حيوي كبير، خاصةً في ظل التوارد الغزير لأنواع الحية الليسبسيانية القادمة من البحر الأحمر عبر قناة السويس Lessipsian migrants نتيجة التغيرات المناخية الحاصلة [4]. كما أن ضيق الرصيف القاري السوري يجعله واقعاً ضمن نطاق المياه الإقليمية السورية Territorial waters (12 ميلاً، القانون البحري الخاص بالمياه البحرية السورية 2003) والتي يجب دراستها لرسم خطط الإدارة المتكاملة للثروات الحية وغير الحية فيها.

هناك مؤشرات كثيرة تدل على تراجع خط الشاطئ السوري Coast line recession في أغلب مناطقه نتيجة الحث الشاطئي Coastal erosion [5]. ذلك يُجرّد خط الشاطئ من رماله ويزيد من معدل انحداره ومن معدل تراكم الطمي على قاع البحر المجاور مسبباً زيادة المناطق الصخرية في بعض المناطق وكثرة مناطق الرسوبيات البحرية وقلّة ثباتية القاع في مناطق أخرى. يساهم الحث الشاطئي بشكل كبير في إمداد الرصيف القاري بالرسوبيات المختلفة حيث غالباً ما نجد علاقة ارتباط ايجابية بين وجود مثل هذه الرسوبيات على الرصيف القاري ودرجة الحث الشاطئي، هذا إلى جانب الدور الذي يلعبه حراك الرمال Sand mobility من المناطق المجاورة. ولطبيعة القاع دور أساس في تحديد نوع وكثافة الأنواع الحية القاعية التي تنتشر في المكان [6]، حيث أن طبيعة الرسوبيات وطبوغرافيا المكان واتجاه الانحدارات المختلفة بالنسبة للتيارات البحرية هي الفاعل الأساس في دعم التنوع الحيوي البحري وخلق الموائل المناسبة له [7].

لم تُجر حتى الآن أية دراسة مسحية متكاملة حول طبيعة الرصيف القاري السوري، وما تمّ من دراسات تناول الرصيف القاري السوري كجزء من منظومة الحوض الشرقي للبحر المتوسط [8,9,10]، أو تناول نقاط بحثية جزئية محددة من الرصيف القاري السوري [11,12,13,14].

أهمية البحث وأهدافه:

يعتبر هذا العمل الأول من نوعه في القطر العربي السوري، وبأني تلبيةً للحاجة الملحة له من قبل الهيئات العلمية البحثية والمؤسسات الوطنية العاملة في مجال إدارة الموارد والنظم البيئية البحرية. حيث يوفر الأرضية اللازمة للأبحاث العلمية في مجال النظم البيئية البحرية Marine Ecosystems والإدارة المتكاملة للمنطقة الساحلية Integrated Coastal Zone Management (ICZM)، وفي مجال اقتراح إنشاء محميات بحرية جديدة ووضع خطط إدارة المحميات القائمة على أسس علمية.

يهدف البحث إلى إجراء دراسة طبوغرافية موسعة لكامل الرصيف القاري السوري لمعرفة الامتدادات وتدرج الأعماق والجزر والتلال تحت سطحية وطبيعة الشريط الساحلي المجاور.

مشكلة البحث:

بالواقع يوجد فجوة معرفية في موضوع مواصفات الرصيف القاري السوري رغم أهمية الموضوع للباحثين والجهات الوصائية ذات العلاقة. وهذا ما يركز عليه البحث الحالي من حيث التشخيص الميداني للمشكلة.

منهجية البحث:

استخدم في هذا البحث منهج الدراسات المسحية Survey Method المنهج التحليلي والمقارن Analytical and Comparative Method

2- مواد البحث وطرقه Material and Methods:

تمت الدراسة خلال الفترة 2016-2022 على كامل منطقة الرصيف القاري Continental shelf (المنطقة من خط الشاطئ حيث عمق الماء صفر وحتى المنطقة من البحر التي يصبح عمق الماء فيها 200م) بقطاعاته الجزئية ذوات الأعماق: 0-20، 0-50، 0-100، 0-

200م، بدءاً من منطقة السمرا أقصى الشمال وحتى موقع الشيخ جابر على الحدود اللبنانية جنوباً. تم إجراء عمليات الغطس الحر Free diving وباستخدام أجهزة التنفس Scuba diving وتم استخدام مراكب مختلفة Boats (طول 8-24م) إلى جانب الفلايك الصغيرة Feluccas والبيدلو Pedalo ودراجة البحر Sea bikes.

أخذت القياسات المختلفة (امتداد، انحدار، أبعاد،....) باستعمال جهاز قياس المسافات الرقمي (PD 42) والبرامج الحاسوبية المساعدة الأخرى (برنامج تحويل الإحداثيات إلى مسافات Coordinate Distance Calculator، برنامج MapSource Garmin Version، 6.15.4، ميزة جهاز Sonar) وذلك بما يكفل الحصول على معطيات موثوقة. واستخدم سابر الأعماق Sonar بمرسل وحيد Single Beam (موديل Lowrance HD57) وجهاز تحديد المواقع الجغرافية (موديل GARMIN-etrex). تم توثيق المواقع بالإحداثيات الجغرافية بالدقة المطلوبة للاستدلال على المواطن البيئية Habitats المختلفة المناسبة لأنواع الحية البحرية حسب سبر اتساع قطاعات الرصيف القاري في المناطق، وأماكن المرتفعات المغمورة والمتكشفة وتلك التي تنتهي إلى جزر Islands متميزة أو تلك التي تنتهي إلى "ضحاح Shoal" (منطقة داخل البحر محاطة بالماء كلياً ويغمرها ماء البحر أثناء المد ويكاد ينحسر عنها أثناء الجزر). كما درس معدل انحدار Slope الرصيف القاري في 36 مقطعاً عرضياً Transects [15,16] على امتداد الساحل السوري، وحُسب معدل الميلان كنسبة من عرض الرصيف القاري (200م): ذلك يعطي معدل ميلان لكل 1م من عمق الرصيف القاري، أي عدد الأمتار الأفقية المقابلة لكل متر من عمود الماء: أي النسبة أفقي:عمودي). ذلك يعني أنه كلما زاد عدد الأمتار الأفقية لكل 1م عمودي كلما قلَّ الميلان، والعكس صحيح. تم اختيار مناطق ذات رصيف قاري ضيق وأخرى ذات رصيف قاري متوسط الاتساع وثالثة ذات رصيف قاري واسع: تم الاستدلال على اتساع الرصيف القاري من واقع المنطقة الشاطئية المجاورة والتي ثبت أنها الأكثر دقة.

درُست علاقة عرض الرصيف القاري بعرض السهل الساحلي Coastal plain المقابل من خلال مقارنة امتدادات قطاعات الرصيف القاري المدروسة مع امتدادات الارتفاعات النظرية المقابلة من السهل الساحلي [17] بالاعتماد على برنامج (Ocean Data View) ODV 3.2.3 الذي يُظهر مناسيب السهل الساحلي) بالتوازي مع Google Earth. كما تم دراسة

توزع المناطق الصخرية في المنطقة الشاطئية الضحلة من الرصيف القاري والتي أمكن مشاهدتها بالنظر أو أثناء الغطس على امتداد الساحل السوري.

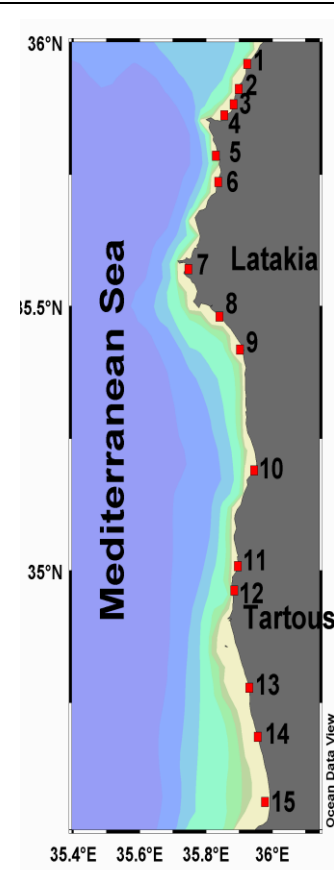
حيثما تطلب الامر، وللتأكد من وجود فروقات معنوية والاستدلال على الأماكن من الساحل السوري التي تتسبب في هذه الفروقات تم إجراء علاقة الارتباط بين كل عاملين مدروسين والاستدلال على وجود الفروقات عند مستوى معنوية 0.05. كما حسبت متوسطات القيم (مع المجال Range).

3- النتائج والمناقشة Results and Discussion:

3-1 امتداد الشريط الساحلي السوري:

بلغ طول الشريط الساحلي السوري "الالتفافي" 202.3 كم: وذلك بدءاً من منطقة السمرا شمالاً (E35.91785 N35.92991) وحتى الحدود اللبنانية (E35.97190 N34.62128): هذا الرقم يفوق طول الشريط الساحلي السوري "كخط أساس" والمحدد بـ 183 كم، كون الأخير لا يشمل تعرجات خط الساحل. يمثل الشريط الساحلي السوري (جدول 1) خطأً قليل التعرج نسبياً (بسبب غياب الخلجان Gulfs نهائياً ووجود الجوانات الواسعة Bays) ينساب شمال جنوب وينتأ بدءاً من الخط E35.91750 نحو الغرب في منطقة رأس البسيط نحو خط الطول E35.80037، ومنطقة رأس الفاسوري نحو الخط E35.76988، ورأس ابن هاني نحو الخط E35.71724. وبالمقابل يتقوس قليلاً شرقاً في منطقة بانياس نحو الخط E35.95225، ومع الاقتراب من الحدود اللبنانية ينساب شرقاً نحو الخط E35.96825.

جدول (1): توضع الساحل السوري بتعرجاته (الخارطة المرفقة) ومواقع استدلالية مختلفة واحداثياتها الجغرافية.



رقم المنطقة	اسم المنطقة	الإحداثيات الجغرافية
.1	البدروسية- بداية الشاطئ الرملي	35 53 810 N 35 53 240 E
.2	البدروسية -المسيل المائي	35 53 286 N 35 53 136 E
.3	البدروسية - جنوب الزيارة	35 51 790 N 35 51 814 E
.4	البسيط - شاليهات العمال	35 51 932 N 35 50 692 E
.5	أم الطيور - مخفر الموائئ	35 45 640 N 35 50 612 E
.6	وادي قنديل - امتداد الطريق العام	35 43 487 N 35 49 968 E
.7	نادي الضباط الجديد	35 34 482 N 35 44 737 E
.8	الصنوبر - جنب مخفر الموائئ	35 28 409 N 35 51 322 E
.9	جبله - الفيض	35 34 504 N 35 92 235 E
.10	بانياس - مشروع لؤلؤة بانياس	35 20 420 N 35 95 305 E
.11	الرمال الذهبية	35 1 327 N 35 53 817 E
.12	شاطئ الأحلام	34 86 531 N 35 88 575 E
.13	المنطار-مرفاً الصيد	34 74 727 N 35 93 030 E
.14	الحميدية - مركزي الموائئ وترشيد الصيد	34 71 667 N 35 94 174 E
.15	الخرابة (جابر)	34 39 690 N 35 57 911 E

2-3 موصفات قطاعات الرصيف القاري المختلفة:

1-2-3 مساحة الرصيف القاري:

يشير الجدول (2) إلى أنّ مساحة الرصيف القاري السوري هي 915.8 كم²: يستحوذ قطاع العمق 0-20م الحيز الأكبر، ما يوفر مواطن بيئية جيدة نسبياً للتنوع الحيوي البحري بحكم الإضاءة الجيدة في هذه المنطقة قليلة العمق والتي تؤمن قاعدة غذائية جيدة للأنواع الحية. يلي ذلك القطاع 20-50م ثم القطاع 100-200م وأخيراً القطاع 50-100م. إنّ قلة

مساحة قطاع الرصيف القاري 50-100م يدل على ميلانه الشديد باتجاه العمق 200م ما يجعل المنطقة 50-100م (بحكم انحدارها الشديد) منطقة انتقالية تستقبل الحد الأدنى من الطاقة الشمسية مما يقلل من الناتج البيولوجي وسريان الطاقة فيها.

جدول (2): مساحة الرصيف القاري بقطاعاته الأربعة ونسبها المئوية:

قطاع العمق (م)	المساحة (كم ²)	النسبة المئوية (%)
20-0	320.1	34.953
50-20	243.4	26.578
100-50	143.4	15.658
200-100	208.9	22.811
المجموع	915.8	%100

3-2-2 عرض قطاعات الرصيف القاري:

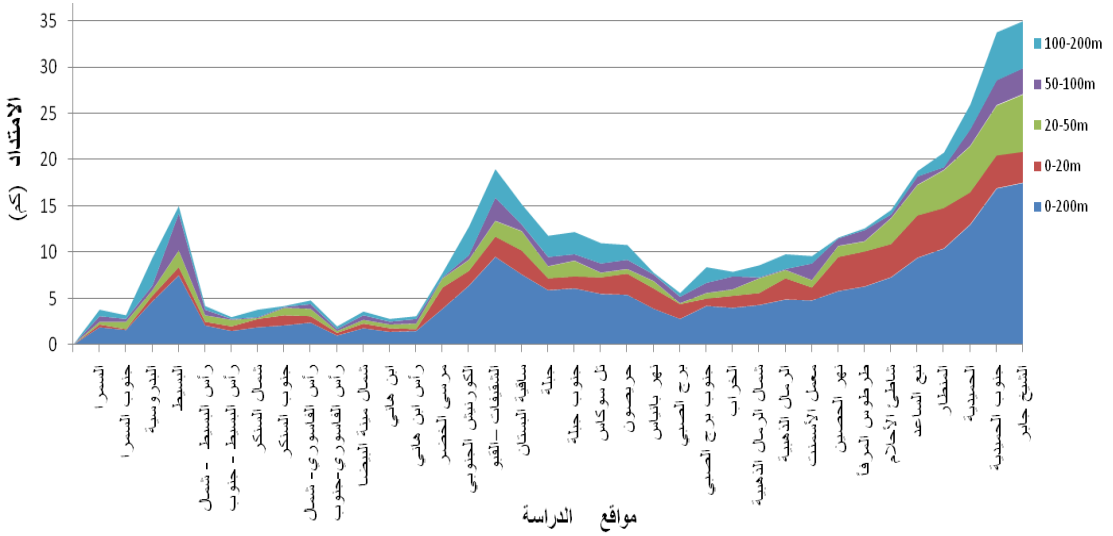
يبين الجدول (3) أنّ متوسط عرض الرصيف القاري السوري هو 5.46كم تتوزع تنازلياً على القطاعات الأربعة كالتالي: القطاع 0-20م (1.77كم) ثم القطاع 20-50م (1.46كم) والقطاع 100-200م (1.33كم)، وأخيراً القطاع 50-100م (0.9كم).

جدول (3): متوسطات عرض قطاعات الرصيف القاري

قطاع العمق (م)	متوسط العرض (كم)
20-0	1.77
50-20	1.46
100-50	0.90
200-100	1.33
المجموع	5.46

وعلى مستوى المقاطع الـ 36 المأخوذة على امتداد الساحل السوري (أسماء المقاطع موجودة في الجدول 4 أدناه)، يبلغ الرصيف القاري أقصى عرض له في أقصى مناطق الساحل الجنوبي

(شكل 1) وخصوصاً في مناطق الشيخ جابر وجنوب الحميدية والحميدية (17.5، 16.9، 13.0 كم على التوالي) ثم في مناطق المنطار والشقيفات-القبو ونبع الساعد (10.4، 9.5، 9.4 كم على التوالي). وبالمقابل يتضاءل عرض الرصيف القاري ليصل أدناه في مناطق رأس الفاسوري-جنوب، ابن هاني، جنوب رأس البسيط، جنوب السمرا ورأس ابن هاني (1.0، 1.4، 1.5، 1.6، 1.6 كم على التوالي).



شكل (1): عرض القطاعات المختلفة من الرصيف القاري في مناطق مختلفة من الساحل السوري بدءاً من منطقة السمرا شمالاً وحتى منطقة الشيخ جابر جنوباً (الحدود اللبنانية)

3-2-3 معدل ميلان الرصيف القاري:

يشير الجدول (4) إلى أنّ أعلى ميلان للرصيف القاري هو في القطاع الشمالي منه بدءاً من رأس ابن هاني (N35.58622 E35.71724) نحو الشمال، وذلك عدا المنطقة الممتدة من شمال رأس البسيط، مروراً بالبسيط، وانتهاءً بالبدروسية. وكان أعلى معدل ميلان في منطقة جنوب رأس الفاسوري 5: 1 (أفقي: عمودي)، وأقل ميلان كان في أقصى الجنوب من الساحل السوري في منطقتي المنطار والحميدية (بدءاً من نبع الساعد وانتهاءً بمنطقة الشيخ جابر على التوالي).

جدول (4): مناطق الرصيف القاري والإحداثيات الجغرافية ومعدل الميلان (أفقي:عمودي) في مواقع إجراء المقاطع العرضانية

معدل الميلان	الإحداثيات الجغرافية	المنطقة	
1 : 9.5	N35.92906 E35.91353	السمرا	.1
1:8	N35.91658 E35.89476	جنوب السمرا	.2
1:23.5	N35.89763 E35.88691	البدروسية	.3
1:37.5	N35.87769 E35.88500	البسيط	.4
1 : 10.5	N35.85630 E35.81138	رأس البسيط - شمال	.5
1 : 7.5	N35.83568 E35.80776	رأس البسيط - جنوب	.6
1 : 9.5	N35.79336 E35.83217	شمال السنكر	.7
1 : 10.5	N35.75483 E35.84379	جنوب السنكر	.8
1 : 12	N35.70126 E35.80676	رأس الفاسوري-شمال	.9
1 : 5	N35.66190 E35.76927	رأس الفاسوري-جنوب	.10
1 : 9	N35.61784 E35.77261	شمال مينة البيضا	.11
1 : 7	N35.59309 E35.74180	ابن هاني	.12
1 : 7.5	N35.58622 E35.71724	رأس ابن هاني	.13
1 : 19.5	N35.55792 E35.73829	مرسى الخضر	.14
1 : 32	N35.49966 E35.77589	الكورنيش الجنوبي	.15
1 : 47.5	N35.47799 E35.84421	الشقيفات -القبو	.16
1 : 38	N35.42044 E35.91233	ساقية البستان	.17
1 : 29.5	N35.36336 E35.91980	جبله	.18
1 : 30.5	N35.32637 E35.92107	جنوب جبله	.19
1 : 27.5	N35.28822 E35.92247	تل سوكاس	.20
1 : 27	N35.22560 E35.94795	حريصون	.21

1 : 19.5	N35.18809 E35.94613	نهر بانياس	.22
1 : 14	N35.15213 E35.92529	برج الصبي	.23
1 : 21	N35.12973 E35.90527	جنوب برج الصبي	.24
1 : 20	N35.08345 E35.89199	الخراب	.25
1 : 21.5	N35.05930 E35.88532	رأس الخراب	.26
1 : 24.5	N35.00701 E35.89807	الرمال الذهبية	.27
1 : 24	N34.97360 E35.87791	معمل الأسمت	.28
1 : 29	N34.93751 E35.87890	نهر الحصين	.29
1 : 31.5	N34.89672 E35.87303	طرطوس المرفأ	.30
1 : 36.5	N34.85775 E35.88753	شاطئ الأحلام	.31
1 : 47	N34.79698 E35.91704	نبع الساعد	.32
1 : 52	N34.75970 E35.92687	المنطار	.33
1 : 65	N34.69763 E35.94775	الحميدية	.34
1 : 84.5	N34.66673 E35.96214	جنوب الحميدية	.35
1 : 87.5	N34.63475 E35.97615	الشيخ جابر	.36

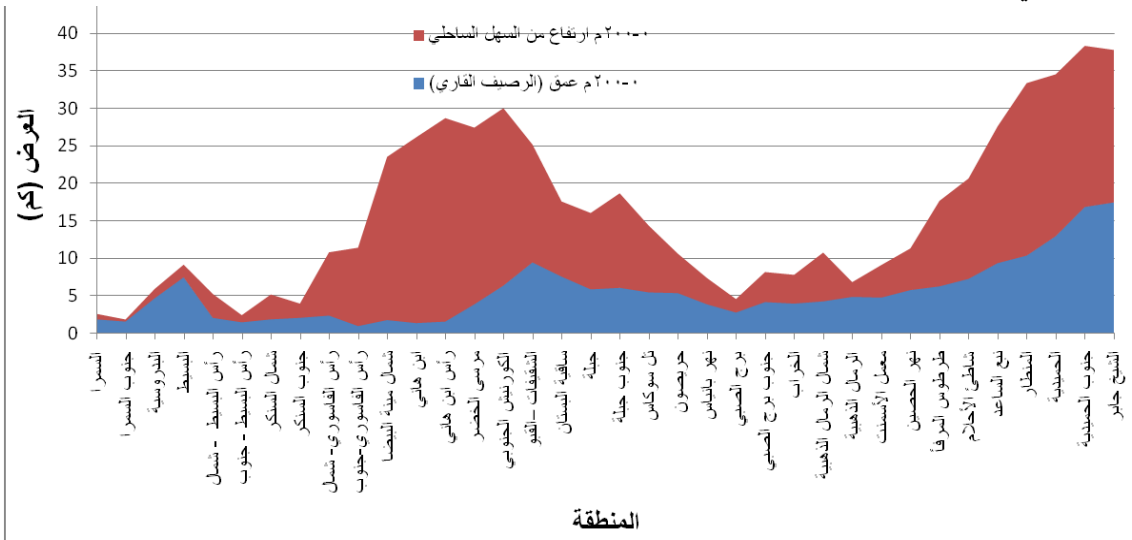
3-2-4 العلاقة بين عرض كامل الرصيف القاري وبين السهل الساحلي المقابل:

يُظهر الشكل (2) العلاقة بين العرض التراكمي لقطاعات الرصيف القاري الأربعة (0-20م، 0-50م، 0-100م، 0-200م) وبين السهل الساحلي المقابل لكل قطاع. ويبدو واضحاً أنه كلما اتسع السهل الساحلي على اليابسة كلما اتسع معه الرصيف القاري المجاور وذلك في أغلب المواقع، وخاصةً في المناطق بدءاً من الشقيفات-القبو وحتى الشيخ جابر على الحدود اللبنانية (وليس بين رأس الفاشوري

والكورنيش الجنوبي). ويشير الجدول 5 على وجود ارتباط معنوي بين اتساع الرصيف القاري (0-200م) ككل مع اتساع السهل الساحلي المقابل حتى ارتفاع 200م عن سطح البحر، وخصوصاً في القطاع الجنوبي من الساحل السوري الذي سجل درجة معنوية عالية (المنطقة بين رأس الفاسوري والكورنيش الجنوبي لا تنطبق عليها معايير التناسب المذكورة). وبالمقابل كان

معامل الارتباط بين انحدار السهل الساحلي ومنطقة الرصيف القاري المجاور منخفض جداً، وبالتالي فإن الامتدادات الواسعة للسهل الساحلي لايقابلة اتساع بالرصيف القاري والعكس صحيح: ذلك قاد الى غياب الفروقات المعنوية في القطاع الشمالي من الساحل السوري.

لإظهار العلاقة بين ميلان تضاريس المنطقة الساحلية واتساع الرصيف القاري عيانياً تم أخذ صور فوتوغرافية ممثلة للمناطق المقابلة لبعض مواقع المقاطع المذكورة (الشكل 3)، حيث يبدو واضحاً أنه حيثما يكون ميلان التضاريس الأرضية في المنطقة الساحلية كبير يكون ميلان الرصيف القاري كبير أيضاً، والعكس صحيح. فمثلاً في منطقة جنوب السمرا ينحدر جبل "الشلما" ويميل بشدة نحو البحر ويعطي ميلاناً كبيراً معادلاً لـ 1:8 (أفقي : عمودي) (جدول 4)، وفي منطقة البدرسية حيث يتسع السهل الساحلي قليلاً يقل ميلان الرصيف القاري ليصبح 1:23.5، وحيث يزداد اتساع السهل الساحلي أكثر في منطقة البسيط يقل ميلان الرصيف القاري أكثر فأكثر ليلبغ 1:37.5. ويبلغ ميلان الرصيف القاري أقل قيمة له في منطقة الحميدية (1:84.5) وجنوبها -الشيخ جابر (1: 84.5). ذلك لا يستثني بعض الحالات التي تنشذ عن هذا المبدأ.



شكل (2): عرض منطقة الرصيف القاري (0-200م) والمنطقة المقابلة من السهل الساحلي بارتفاع 0-200م عن سطح البحر في مناطق مختلفة من الساحل السوري (إحداثيات المناطق مثبتة في الجدول 4 أعلاه).



البسيط (1:37.5)



جنوب السمرا (1:8)



الكورنيش الجنوبي - اللاذقية (1 : 32)



ابن هاني (7 : 1)



برج الصبي - بانياس (1 : 14)



الشقيفات (47.5 : 1)



شاطئ الأحلام - طرطوس (1 : 36.5)



الخراب (20 : 1)



الحميدية (65 : 1)

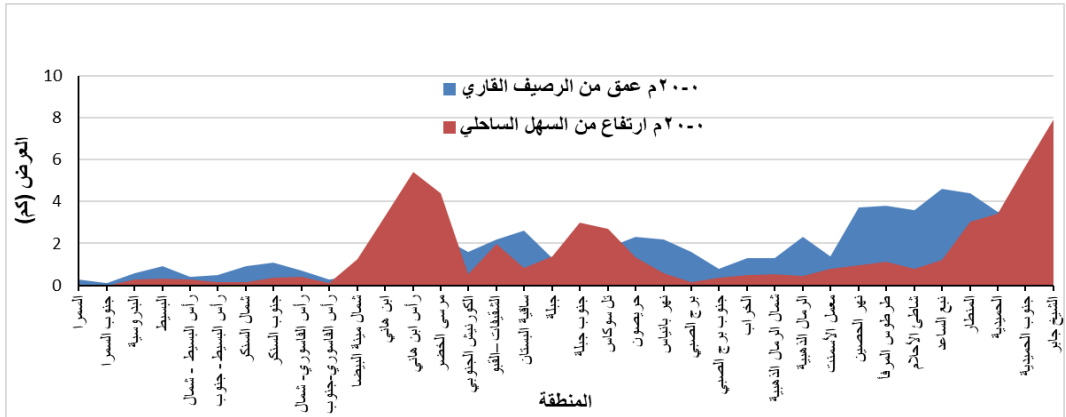


المنطار (52 : 1)

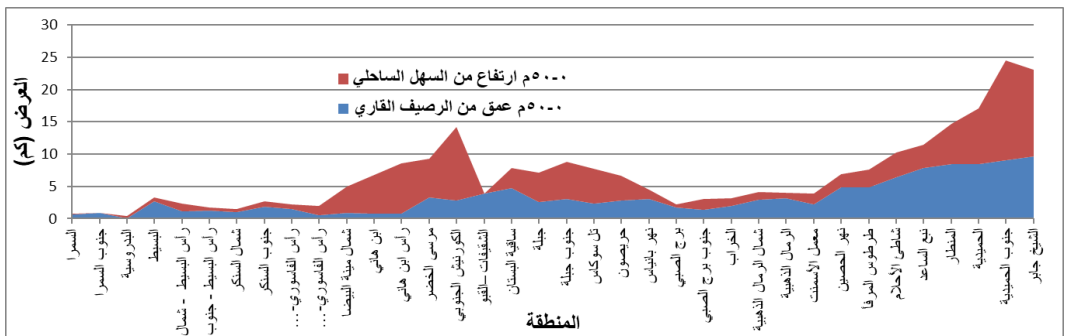
شكل (3): صور مناطق مختلفة من السهل الساحلي ومعدل ميلان (أفقي:عمودي) المناطق المقابلة من الرصيف القاري

3-2-5 العلاقة بين عرض قطاعات الرصيف القاري وبين السهل الساحلي المقابل:

تبين الأشكال (4 و 5 و 6) أنّ قطاعات الرصيف القاري 0-20م، 0-50م، 0-100م تأخذ منحى مشابه لمنطقة الرصيف القاري ككل، وخاصة القطاعين 0-50م، 0-100م حيث يكون معامل الارتباط مرتفع وبدرجة معنوية عالية بين كلٍ من هذين القطاعين من الرصيف القاري والقطاعات المقابلة لهما من السهل الساحلي: يشذ عن هذه القاعدة المنطقة من رأس الفاسوري وحتى الكورنيش الجنوبي (جدول 5).

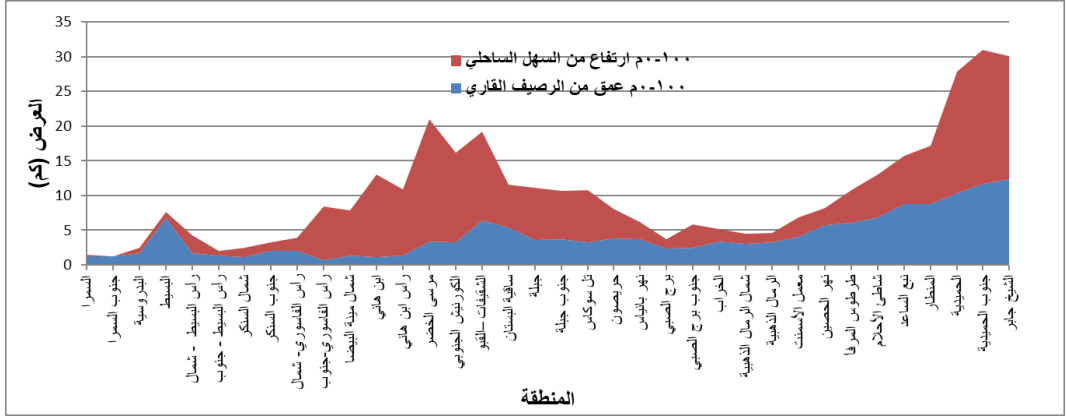


شكل (4): عرض المنطقة 0-20م من الرصيف القاري والمنطقة المقابلة من السهل الساحلي بارتفاع 0-20م عن سطح البحر في مناطق مختلفة من الساحل السوري (إحداثيات المناطق مثبتة في الجدول 4 أعلاه).



شكل (5): عرض المنطقة 0-50م من الرصيف القاري والمنطقة المقابلة من السهل الساحلي بارتفاع 0-50م عن سطح البحر في مناطق مختلفة من الساحل السوري (إحداثيات المناطق مثبتة في الجدول 4 أعلاه).

دراسة مسحية للرصيف القاري السوري: المواصفات العامة ومدلولاتها البيولوجية



شكل (6): عرض المنطقة 0-100م من الرصيف القاري والمنطقة المقابلة من السهل الساحلي بارتفاع 0-100م عن سطح البحر في مناطق مختلفة من الساحل السوري (إحداثيات المناطق مثبتة في الجدول 4 أعلاه).

يعرض الجدول (5) القيم الحسابية لمتوسطات امتدادات قطاعات العمق فوق الرصيف القاري وقيم امتدادات القطاعات المقابلة لها من السهل الساحلي، وقيم معامل الارتباط ومستوى المعنوية للمناطق المختلفة المذكورة الفقرات أعلاه.

جدول (5): قيم متوسطات امتدادات قطاعات العمق فوق الرصيف القاري وقيم ارتفاعات القطاعات المقابلة لها من السهل الساحلي عن سطح البحر (كم)، وقيم معامل الارتباط ومستوى المعنوية.

العمق / الارتفاع عن سطح البحر								
200-0م		100-0م		50-0م		20-0م		
سهل ساحلي	رصيف قاري	سهل ساحلي	رصيف قاري	سهل ساحلي	رصيف قاري	سهل ساحلي	رصيف قاري	
10.48	5.48	6.09	4.14	3.67	3.30	1.55	1.77	المتوسط
-0.28	-1	-0.09	-0.7	-0.01	-0.5	-0	-0.1	مجال القيم
27.16	17.5	19.3	12.4	15.49	9.6	7.89	4.6	
0.43**		0.59***		0.62***		0.37*		معامل الارتباط

$P < 0.001$

$0.01 < P < 0.02 = **$

$0.02 < P < 0.05 = *$

الاستنتاجات والتوصيات

a. الخلاصة Conclusion:

بينت نتائج البحث وجود 202.3 كم من الشريط الساحلي السوري بتعرجاته (طول الشريط الساحلي السوري المحدد بدءاً من خطوط الأساس هو 183 كم). يمثل هذا الشريط خطاً قليل التعرج نسبياً، يمتد في بعض الأماكن نحو الغرب ويستقيم في بعضها الآخر. كما تبين وجود 915.8 كم² من الرصيف القاري تمثل مكن تغذي ونمو وصيد الانواع البحرية الاقتصادية. ويتباين الرصيف القاري باتساعات قطاعاته المختلفة حيث يستحوذ القطاع ذو العمق 0-20 م الحيز الأكبر، ما يوفر مواطن بيئية جيدة نسبياً للتنوع الحيوي البحري. بلغ أعلى ميلان في الشمال في منطقة جنوب السمرة والميلان الأقل في أقصى الجنوب في منطقتي المنطار والحميدية. وتبين أنه حينما يكون ميلان المنطقة البرية الساحلية كبير، يكون ميلان الرصيف القاري في البحر كبيراً بشكل عام، والعكس صحيح (المنطقة بين رأس الفاسوري والكورنيش الجنوبي لا تنطبق عليها معايير التناسب المذكورة). بلغ متوسط عرض الرصيف القاري 5.46 كم، حيث يكون أقصاه في مناطق الشيخ جابر وجنوب الحميدية والحميدية، وأقله في جنوب رأس الفاسوري وأماكن أخرى.

b. التوصيات Recommendations:

توصي الدراسة بما يلي:

- i. الاستفادة من النتائج التي تم التوصل إليها في رسم خطط الإدارة المتكاملة للمنطقة الساحلية Integrated Coastal Zone Management.
- ii. البدء بتأسيس قاعدة بيانات وطنية تزيد من معرفتنا العلمية بواقع الأوساط المدروسة وتغطي حاجة الجهات الوطنية ذات العلاقة.

c. التوصيات للأعمال اللاحقة:

توصي الدراسة بما يلي:

- i. ضرورة إجراء الدراسات المسحية اللازمة لوضع خرائط رقمية تفصيلية لكامل الرصيف القاري السوري واستخلاص حدود "المنطقة الساحلية Coastal Zone" أي تلك المنطقة من الرصيف القاري التي تتأثر بيئياً بالمنطقة الساحلية الجافة المجاورة وحدود هذا التأثير.
- ii. المتابعة بالأبحاث الرامية الى سير المياه العميقة خارج حدود الرصيف القاري ، ليغطي المنطقة الاقتصادية الخالصة Exclusive Economic Zone, EEZ للقطر العربي السوري.

كلمة شكر Acknowledgment:

يتقدم المؤلفون بالشكر إلى جامعة اللاذقية / المعهد العالي للبحوث البحرية والهيئة العليا للبحث العلمي (دمشق) لتقديمهم الدعم المالي واللوجستي ضمن برنامج التعاون العلمي المشترك.

4- المراجع References:

- [1]. MOSSOP, J. 2018. The relationship between the continental shelf regime and a new international instrument for protecting marine biodiversity in areas beyond national jurisdiction, ICES Journal of Marine Science, Volume 75, Issue 1, January/February, Pages 444–450, <https://doi.org/10.1093/icesjms/111>.
- [2]. ZHENG, B., ZHANG, W., RUBAO, J.I., HUMMON, J., SOSIK, H. 2025. Direct Evidence of Nutrient Upwelling and Phytoplankton Enhancement at a Continental Shelf Break. Geophysical Research Letters. 52. 10.1029/2024GL113870.
- [3]. MADON, M. 2020. Exploration and exploitation of non-living natural resources on the continental shelf beyond 200 nautical miles: a status review. Bulletin of the Geological Society of Malaysia. 70. 17–28. 10.7186/bgsm70202002.
- [4]. IBRAHIM, A., HUSSEIN, CH., ALSHAWY, F., & ALCHEIKH AHMAD, A. 2025. Checklist and Distribution of Exotic Teleost Fish Species Arrived in Syrian Marine Water (eastern Mediterranean) from 2018 to 2025: in press.
- [5]. IBRAHIM, A. 2011. Field study on vulnerability and adaptation of Syria marine & coastal habitats & vertebrates to climate changes. Joint Scientific Cooperation between Tishreen Uni. and Higher Commission for Scientific research–Damascus. 2011. 114pp.
- [6]. PALUMMO, V., MILISENDA, G., PICA, D. *et al.* 2025. Ecological role of benthic Vulnerable Marine Ecosystems (VMEs) indicator taxa

- on soft bottoms. *Sci Rep* 15, 26654 (2025).
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-10243-3>
- [7]. DE JUAN, S., OSPINA-ALVAREZ, A., HINZ, H. *et al.* 2023. The continental shelf seascape: a network of species and habitats. *Biodivers. Conserv.* 32, 1271–1290. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02552-8>.
- [8]. MOUSTAFA, A.R., & EL-BARKOOKY, A.N. 2024. Spatial and temporal variation of Syrian Arc structures in the onshore and offshore Eastern Mediterranean region Available to Purchase. *The Leading Edge* 43 (9): 578–587.
<https://doi.org/10.1190/tle43090578.1>
- [9]. HUSSEIN, M., COURP, T., IBRAHIM, A., & BENKHELIL, J., 2011. Hydrographical Properties of Syrian Marine Water (Latakia Area) Based on Two Field Cruises (Dec. 2006 and Mar. 2009). *Journal of Marine Systems*, 85:30–44.
- [10]. BENKHELIL, J., BAYERLY, M., BRANCHOUX, S., COURP, T., GONTHIER, E., HÜBSCHER, C., MAILLARD, A. & TAHCHI, E., 2005. La branche orientale de l'arc de Chypre. Morphostructure d'une frontière de plaques d'après les résultats de la campagne BLAC (2003). *Comptes Rendus Geosciences*, 337, 1075–1083.
- [11]. GHADIR, S. BA'LA, M. SHIHA, H. 2021. Study of the characteristics and distribution of surface sediments in a section of the continental shelf north of Tartus city based on grain size analysis. *Latakia University Journal of Scientific Research and Studies. Basic Sciences Series*, Volume 43(4), 2021.

- [12]. IBRAHIM, A. HUSSEIN, C. 2023. Some places proposed as marine reserves on the Syrian coast, and their topographical and biological specifications. Syrian Science and Innovation Journal (1):33–52. In Arabic.
- [13]. IBRAHIM, A. Fadel, I. 2024. Survey of Sandy Beaches on the Syrian Coast: Extension, Coloration, Mineral Composition, and Granular Structure. Lattakia University Journal for Research and Scientific Studies – Biological Sciences Series. Vol. 46 No. 4. In Arabic.
- [14]. AHMED, B. and IBRAHIM, A. 2024. Evaluating the possibility of establishing mangrove trees in the Syrian coast as an adaptive measure to climate change. Lattakia University Journal for Research and Scientific Studies – Biological Sciences Series (Print ISSN: 2079–3065, Online ISSN: 2663–4260), Volume 46, Issue 6. In Arabic.
- [15]. KISIMOTO, K. YOSHIDA, T. OHARA, Y. YUASA, M. 2015. Role of Detailed Bathymetric Information in Ocean Geosciences:. Journal of Geography (Chigaku Zasshi). 124. 711–728. 10.5026/jgeography.124.711
- [16]. BITAR, G. DUPUY DE LA GRANDRIVE, R. FOULQUIÉ, M. 2003. Second mission relating to the development of marine protected areas in Syrian coasts, 1–18 August 2003. Available on–line at:

[http://medmpa.rac-spa.org/pdf/Rapports/Syrie/Mission%20Report_October, 2003](http://medmpa.rac-spa.org/pdf/Rapports/Syrie/Mission%20Report_October,2003), vol. 202003.

[17]. CPPH. 2025. Coastal Plain Physiography, Regional Setting, Part 2: coastal Plain and Continental Shelf.
<https://sites.radford.edu/~jtso/GeologyofVirginia/CoastalPlain/CPPhysio-2.html>.

تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم

$CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز $0.08 mol\%$

جاسم الفواز*

حسين الحسين**

الملخص

تم في هذا البحث تصنيع كاشف التألق الحراري TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بعنصر الديسبروزيوم Dy على شكل أوكسيد الديسبروزيوم Dy_2O_3 وقسم العمل على مرحلتين، الأولى هي التصنيع والثانية هي التشعيع والقراءة، حيث تم تصنيع شرائح TLD من أجل تركيز اشابه $0.08 mol\%$ Dy على شكل مربعات بطول ضلع 5mm، ثم عرضت لأشعة غاما الناتجة عن منبع ^{137}Cs بجرعات (0, 2, 5, 10, 15, 20) mGy ورُسم منحنى التألق الحراري Glow Curve لكل الشرائح المصنعة ف لوحظت زيادة كبيرة في شدة التألق الحراري I مع زيادة الجرعة وفق التالي (0.15, 27, 73, 155, 230, 300) nA وعلى الترتيب، كما لوحظ زيادة بشكل كبير في قيمة الشحنة المتراكمة مع زيادة الجرعة الممتصة وفق التالي (2.13, 231.6, 633.3, 1413, 1998, 2836) nC وعلى الترتيب، بالتالي أبدت جميع العينات استجابة خطية للجرعة الممتصة من أشعة غاما ضمن مجال أقل أو يساوي $20 mGy$. كما تمت مقارنة هذه النتائج مع شرائح TLD نقية ف لوحظ ارتفاع كبير في الاستجابة للشرائح المشابهة مقارنة مع الاستجابة الضعيفة جداً للشرائح النقية من أجل نفس الجرعات.

الكلمات المفتاحية:

التألق الحراري، الديسبروزيوم، كبريتات الكالسيوم، منحنى التألق، شدة التألق الحراري.

*حاصل على شهادة الدكتوراه، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب

jasem.alfawwaz@gmail.com

**حاصل على شهادة الدكتوراه، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حلب

husianphy990@gmail.com

**Manufacturing a TLD dosimeter composed of Calcium Sulfate
 $CaSO_4$ doped with dysprosium Dy at a concentration of 0.08 mol%.**

jasem alfawwaz*
Hussein AlHussein**

Abstract

In this study, a thermoluminescent detector (TLD) composed of calcium sulfate ($CaSO_4$) doped with dysprosium (Dy) in the form of dysprosium oxide (Dy_2O_3) was fabricated and evaluated. The work was divided into two stages: fabrication, and irradiation followed by readout. TLD chips were prepared with a dopant concentration of 0.08 mol% Dy and shaped into square pellets with a side length of 5 mm. These chips were then exposed to gamma radiation emitted from a Cs-137 source at doses of 0, 2, 5, 10, 15, and 20 mGy. The thermoluminescence glow curves were plotted for all fabricated samples, showing a significant increase in thermoluminescence intensity (I) with increasing dose, reaching (0.15, 27, 73, 155, 230, 300) nA, respectively. A considerable rise was also observed in the accumulated charge with increasing absorbed dose, measured as (2.13, 231.6, 633.3, 1413, 1998, 2836) nC, respectively. The results indicate that all doped samples exhibited a linear response to gamma-ray absorbed doses up to 20 mGy. Furthermore, comparison with undoped (pure) TLD chips showed a markedly higher response in the Dy-doped samples, whereas the pure samples exhibited very low sensitivity under the same irradiation conditions

Keywords: Thermoluminescence, Dysprosium, Calcium Sulfate, Glow Curve, Thermoluminescence Intensity.

***PhD in Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Aleppo University**

****PhD in Physics, Department of Physics, Faculty of Science, Aleppo University**

1-مقدمة:

يعتبر روبيرت بويل Robert Boyle أول من لاحظ ظاهرة التآلق الحراري عام 1663 حيث لاحظ تآلق بعض المواد عند رفع درجة حرارتها، لكنه لم يستطع أن يفسر ذلك [1]، بقيت هذه الظاهرة غير معروفة التفسير لثلاث أرباع القرن. وأول من فسّر هذه الظاهرة هو العالم الفرنسي دو فاي Du Fay عام 1738 الذي فسّر الحادثة بانها فسفرة متأخرة delayed phosphorescence. كما قام هنري بيكرل Henri Becquerel بإعادة دراسة هذه الظاهرة من خلال عينات المواد التي تبدي ظاهرة الفسفرة، وذلك في نهايات القرن التاسع عشر، حيث وجد قدرة بعض المعادن على الاحتفاظ بتأثير الإشعاع لفترة طويلة نسبياً من الزمن وقدرتها على التآلق بعد التسخين [2]. كما عملت ماري كوري Marie Curie على دراسة ظاهرة التآلق الحراري TL من خلال استخدام الأشعة الصادرة عن الراديوم وتسليطها على المواد القابلة للتآلق ودراسة تأثير الحرارة عليها ودرست تأثير هذه الأشعة على المواد المنفلورة [3].

بعد الحرب العالمية الثانية، شهد العالم زيادة كبيرة في استخدام الطاقة النووية على المستوى المدني والعسكري، ذلك جعل من الضرورة الملحة وجود وسيلة سهلة وبسيطة الاستخدام ورخيصة الثمن لقياس الجرعة الإشعاعية، فاستثمرت خاصية التآلق الحراري TL لمثل هذا الغرض المهم، فكان أول استثمار لها في بداية الخمسينات من القرن الماضي حيث تم تصنيع أول مقياس للجرعة يعتمد على TL بالاعتماد على فلوريد الليثيوم LiF فكانت هذه أول مادة استخدمت لتصنيع مقياس الجرعة للتآلق الحراري Thermoluminescence Dosimetry او اختصاراً TLD [4]. ثم تم تطوير صناعة LiF مع ازدياد الحاجة لها وخصوصاً بمجال قياس الجرعة الفردية لعمال المنشآت النووية قام مجموعة من الباحثين في جامعة واشنطن بتطوير استخدام LiF [5] وبعدها بدأ ادخال مواد أخرى لهذا المجال فاستخدمت مادة $CaF_2: Mn$ واعطت نتائج جيدة بهذا المجال واستخدمت كبريتات الكالسيوم $CaSO_4: Mn$ [6].

ثم تطورت كثيراً أبحاث TL بين عامي (1984 - 1978) لتصبح هذه العملية من اهم تطبيقات مجال قياس الجرعة الإشعاعية ومن افضل واسهل طرائق قياس الجرعة [7]، كما جرى استخدامها بمجالات أوسع فاستخدمت في الجيولوجيا وعلم الاثار ودراسة البنى البلورية وعيوبها [8].

1-1-التآلق الحراري Thermoluminescence TL

يتكون مصطلح التآلق الحراري Thermoluminescence الذي اختصاراً يُكتب TL من كلمتين:

Thermo وهي تعني الحرارة أو التسخين

Luminescence وهي تعني انبعاث الضوء أو التألُّق

بالتالي هاذين المصطلحين يعنيان انبعاث التألُّق الناتج عن التسخين. مع أنّ الحرارة هنا لا تلعب الدور الرئيسي في الانبعاث إنما تلعب الدور الثانوي، بينما لو كانت الحرارة هي السبب الرئيسي لكانت العملية تدعى بالانقباد incandescence مثل الضوء الصادر عن المصباح الذي يعمل على احراق الفتيل. ومن العوامل الرئيسية في إحداث الانبعاث الحراري TL في المواد الصلبة هو الإشعاع المؤيّن ionizing radiations مثل أشعة غاما، التي تعمل على انتقال الإلكترونات لتقع في المصائد الإلكترونية، ثم يتم تسخين العينة لتنتقل هذه الإلكترونات من المصيدة الإلكترونية إلى عصابة الناقلية ثم تسترخي لعصابة التكافؤ فنقوم بإصدار تألُّق على شكل فوتون، حيث يقوم التسخين بتحفيز إطلاق الطاقة المُخزنة في المادة بعد تعرضها للإشعاع المؤيّن، إطلاق هذه الطاقة المُخزنة يُنتج ما ندعوه التألُّق الحراري Thermoluminescence TL. لذلك يطلق بعض المؤلفون بهذا المجال تعريف موسّع أكثر لـ TL وهو:

radiation induced thermally stimulated luminescence الإشعاع الناتج عن التألُّق
المُستحث حرارياً [9]

كان راندال وويلكينز هما أول من اقترح نموذجاً نظرياً للانبعاث TL. وافترضوا أن TL intensity شدة التألُّق الحراري I تتناسب مع نسبة الإثارة R_{ex} وفق العلاقة:

$$I = -\frac{dn}{dt} = R_{ex} = ns e^{-\frac{E}{kT}}$$

n تركيز المصائد النشطة حرارياً.

s عامل التواتر (التردد)

E طاقة تنشيط المصيدة ، والتي تسمى أيضاً عمق المصيدة.

T درجة الحرارة.

k ثابت بولتزمان [10].

وأوجدوا التابع الرياضي لشدة التآلق الحراري I بالعلاقة [11].

$$I = n_0 s e^{-\frac{E}{kT}} e^{-\int_{T_0}^T \left(\frac{s}{\beta}\right) e^{-\frac{E}{kT'}} dT'}$$

المنحني البياني لهذه المعادلة هو ما ندعوه منحني التوهج Glow Curve أو GC وهو يعطي مدى الاستجابة للعينة من حيث استجابتها للإشعاع المؤين واستجابتها لرفع درجة الحرارة بالتالي التآلق [12].

استخدم CaSO₄ كنوع من TLD منذ عام (1960) فاستخدمت في البداية كمادة نقية، ثم قام الباحث الياباني ياماشيتا بإضافة المنغنيز Mn لتحسين خواصها فكان قمة الإصدار الرئيسية عند درجة حرارة منخفضة 80°C وهي منخفضة نسبياً كما يحدث التآلق الحراري عند طول موجة 500nm ويبيد استجابة خطية حتى 30 Gy والعتامة (10%) كل شهر [13].

2-1- العتامة:

من المشاكل التي تعاني منها مقاييس جرعة TLD هي العتامة وهي ناتجة عن ضياع في الإلكترونات بين فترة التشعيع وفترة التسخين فهذا الضياع سيقلل من كفاءة التآلق الحراري بالتالي سيحدث انخفاض في منحني التآلق الحراري. من المرجح أن العتامة تحدث للمصادر الضحلة حيث تكون الطاقة المطلوبة لتحرير الإلكترونات منخفضة جداً فيخرج الإلكترون دون أن يكون ذلك ضمن قارئ TLD أي دون تسجيل ذلك في منحني التآلق الحراري [14].

2- هدف البحث:

تصنيع مقياس التآلق الحراري TLD-900 بالإشابة بعنصر الديسبروزيوم والتأكد من استجابة المادة لأشعة غاما وفعاليتها بالتآلق الحراري وإنشاء منحني معايرة لقياس الجرعة الممتصة من أشعة غاما.

3- مواد وطرق البحث:

1- كبريتات الكالسيوم CaSO₄:6H₂O على شكل مسحوق من انتاج شركة HIMEDIA

النقي بنسبة . 98%

تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز $0.08 mol\%$

- 2- أوكسيد الديسبروزيوم Dy_2O_3 على شكل مسحوق من انتاج شركة abcrh الذي نسبة الديسبروزيوم فيه 99.9% .
- 3- حمض الكبريت H_2SO_4 من انتاج شركة Panreac والنقي بنسبة 98%
- 4- ميزان حرارة يقيس حتى $400^\circ C$.
- 5- سخان الكتروني مع خلط مغناطيسي من انتاج شركة AREC.
- 6- مجفف الكتروني مزود بمؤقت للزمن من انتاج شركة WiseVen.
- 7- قمع بوختر موصول بجهاز شفط كهربائي.
- 8- مقياس لدرجة الحموضة pH على شكل ورقي.
- 9- فرن حراري إلكتروني من انتاج شركة SET يسخن حتى درجة حرارة $1000^\circ C$ مزود بجففات خزفية لوضع العينات بداخلها.
- 10- مكبس زيت من يعطي قوة ضاغطة حتى (2 Ton) من انتاج شركة wir C.
- 11- مصدر لأشعة غاما وهو عبارة عن منبع السيزيوم (^{137}Cs) الذي يعطي أشعة غاما بطاقة $662keV$.
- 12- قارئ TLD من انتاج شركة Harshaw الصنف Harshaw 4500.

4- النتائج ومناقشتها:

4-1- التصنيع

- تم حل أوكسيد الديسبروزيوم في $200ml$ من حمض الكبريت المركز مع التسخين والتحرك $280^\circ C/2h$ وانشاء محلول عياري يتناسب فيه الحجم المأخوذ مع تركيز الديسبروزيوم.
- تم حل كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ في $200ml$ من حمض الكبريت المركز.
- أضيفت المحلولان لبعضهما بكمية محددة من محلول أوكسيد الديسبروزيوم الموافقة للتركيز $0.08 mol\%$ (تم اختيار هذا التركيز بناء على تجارب سابقة لنا أثبتت أن هذا التركيز يعطي أفضل منحنى تألق حراري وأفضل استجابة)

- بُرد المحلول الناتج وبعدها أضيف له تدريجياً ويحذر $200ml$ من الماء المقطر مع التحريك فلو حظ بداية تشكل الراسب الأبيض من $CaSO_4:Dy$ وتُترك المحلول ليتشكل الراسب مستغرقاً زمناً حوالى 5 ساعات.
- يفرز الراسب بالإبانة للتخلص من الحمض قدر الإمكان. ويتم غسل الراسب الناتج عن الإبانة بالماء المقطر عدة مرات حيث وضع على ورقة ترشيح تم تركيبها على قمع بوخنر للتخلص من اثار الحمض والتجفيف ثم نقيس في كل مرة pH لتتأكد أن المادة أصبحت معتدلة لنتنتج لدينا عينة مُرسبة ومجففة جزئياً على ورق الترشيح كما في الشكل (1).



الشكل (1): عينة TLD-900 مشابهة
بعد غسلها وتجفيفها بقمع بوخنر

- وضعت ورقة الترشيح والمسحوق ضمن جفنة خزفية لتجفف كمرحلة ثانية في المجفف الإلكتروني عند درجة حرارة $80^{\circ}C/2h$ كما في الشكل (2).

تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز 0.08 mol%



الشكل (2): المجفف الإلكتروني - مرحلة التجفيف الثانية

- تم استخراج العينة من المجفف ونقوم بفصل المسحوق عن ورق الترشيح لتوضع في جفنة خزفية أخرى ثم في فرن كهربائي عند حرارة $200^{\circ}C/4h$ كما في الشكل (3)

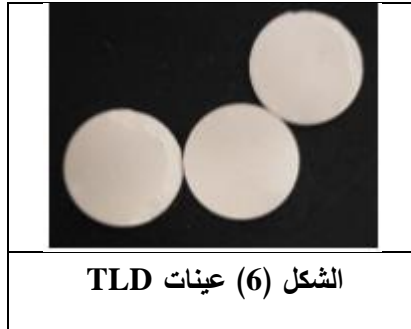


الشكل (3): الفرن الإلكتروني والعينات بداخله لبدء التسخين حتى $200^{\circ}C$ لمدة أربع ساعات

- طُجنت بعد إخراجها من الفرن للتأكد من الحصول على مسحوق متجانس. ضُغِطت العينات بواسطة مكبس يعطي قوة ضاغطة حتى 2 ton من انتاج شركة wir C كما في الشكل (4).



حيث يقوم المكبس بضغط العينات على شكل أقراص بقطر 13mm وسماكة 1mm عند ضغط 300 Kbar وفق القالب في الشكل (5) لتنتج أقراص وفق الشكل (6).



- تم قولبة العينات على شكل مربعات بطول ضلع 5mm لتلائم جهاز قارئ TLD وتم تغليف العينات بغلاف بلاستيكي عاتم لكيلا يحدث لها أي استجابة مع الضوء المحيط قدر الإمكان بالتالي الحصول على نتائج أكثر دقة وأقل تشتت وتألق خارج القارئ المستخدم.
- ثم صنعت بنفس الطريقة عينات TLD نقية (دون إضافة شائبة).

2-4-2- مرحلة التشعيع والقراءة:

2-4-1- مرحلة التصفير والاختبار التجريبي:

الهدف من هذه المرحلة هو التخلص من كل آثار الشحنة الناتجة عن الطبيعة والعوامل المحيطة (التشعيع الكوني).

حيث جرى تسخين الرقائق جميعاً في الفرن المرفق مع قارئ TLD وهو من نوع PTW-TLDO الذي يسخن حتى درجة $400^{\circ}C$ على عدة مراحل حيث استمر التسخين لمدة (4 ساعات) وبعد انتهاء التسخين لوحظ أن الرقائق حافظت على شكلها وقوامها وهذا يعني أن الشرائح اجتازت المرحلة الأولى والشكل (7) يبين العينات داخل فرن التصفير بعد انتهاء عملية التسخين.



الشكل (7) الشرائح داخل فرن التصفير TLDO بعد التسخين

2-4-2- مرحلة التشعيع

عُرِضت العينات لأشعة غاما بجرعات (0, 2, 5, 10, 15, 20) mGy والصادرة عن منبع Cs-137 في مخابر هيئة الطاقة الذرية السورية، حيث وضعت الشرائح على بعد 2m من المنبع كما يظهر في الشكل (8).



الشكل (8) وضع الشرائح للتشعيع بأشعة
غاما على بعد 2m عن منبع Cs-137

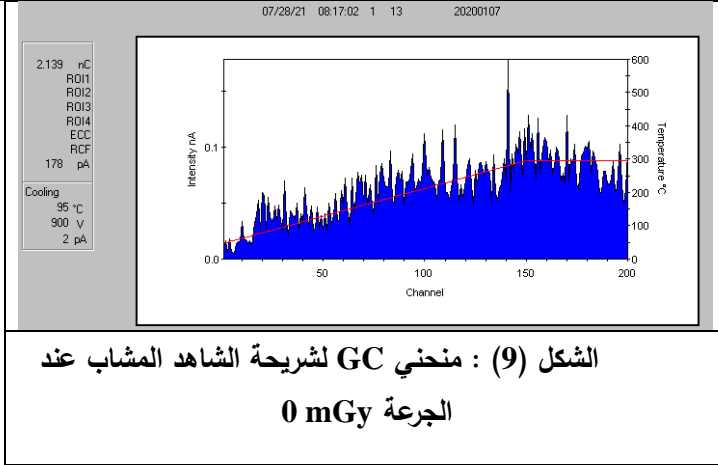
بينما أبقينا جزء من الشرائح بدون تشعيع (عينات الشاهد) background ثم تركت العينات المشعته لمدة 20h لتستقر الشحنات بداخلها لنقوم بالمرحلة الثانية وهي مرحلة القراءة على قارئ TLD- Harshaw 4500 على البرنامج الحراري WinREMS-900 .wiw.

3-4-مرحلة القراءة

1-3-4- قراءة عينات الشاهد background

وضعت عينات الشاهد غير المعرضة لأشعة غاما وهي على نوعين، شرائح نقية وشرائح مشابهة بتركيز 0.08 mol% في قارئ TLD في المكان المخصص لها، ثم تُدخَل العينة داخل القارئ الذي يقوم برفع الحرارة حتى 300°C ليعطيني منحنى GC للعينة. حيث ان الشكل (9) يوضح منحنى GC للشريحة الأولى وهي مشابهة بتركيز 0.08 mol% والجرعة الممتصة 0 mGy.

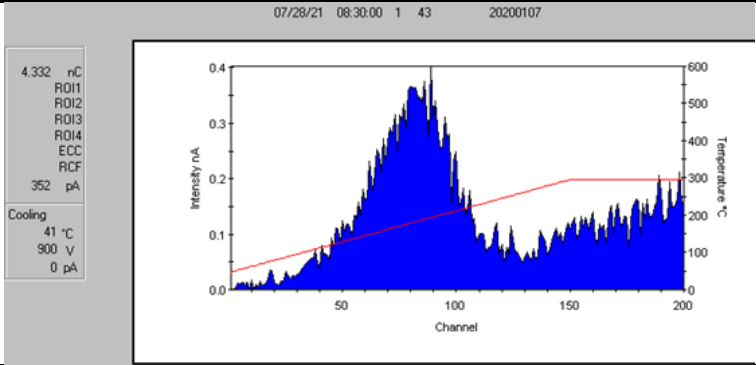
تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز $0.08 \text{ mol}\%$



نلاحظ عدم وجود أي منحنى GC لا يحمل قمة واضحة وهذا لان العينة غير معرضة لأي أشعة مؤينه بالتالي لن تتأثر الإلكترونات بأي عامل فقط العوامل الجوية المحيطة وهي لا تسبب شحنة متراكمة واضحة حيث بلغت فقط 2.13 nC وشدة التألق الحراري لا تتجاوز 0.15 nA وهي قيم صغيرة جداً وهذا يتوافق مع كون الجرعة 0 mGy وسنعتد هذه القيم لمقارنة استجابة الشرائح الأخرى من أجل الجرعات المختلفة لأشعة غاما.

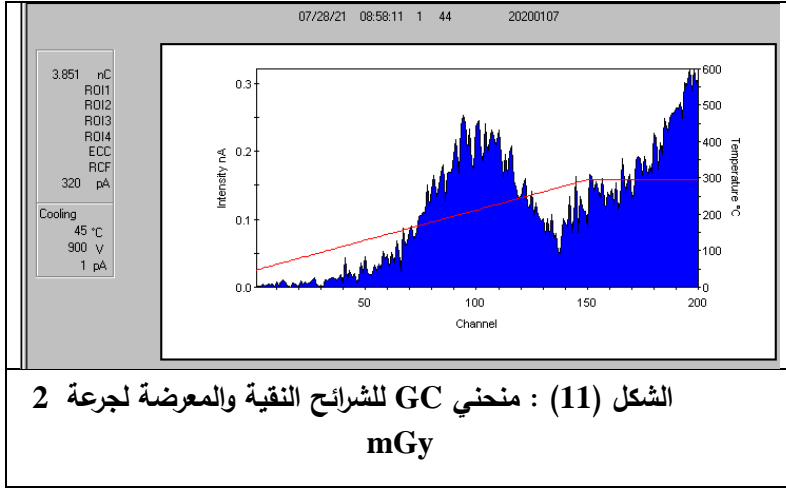
2-3-4- قراءة العينات النقية المعرضة لأشعة غاما بجرعات
(0, 2, 5, 10, 15, 20) mGy

تم أخذ هذه الجرعات بناء على ما يوفره المنبع المشع المتوفر والزمن المتاح للتشيع) والشكل (10) يمثل منحنى التألق الحراري للعينة النقية غير المعرضة للإشعاع



الشكل (10) : منحنى التآلق الحراري للعينة النقية وغير المعرضة للإشعاع

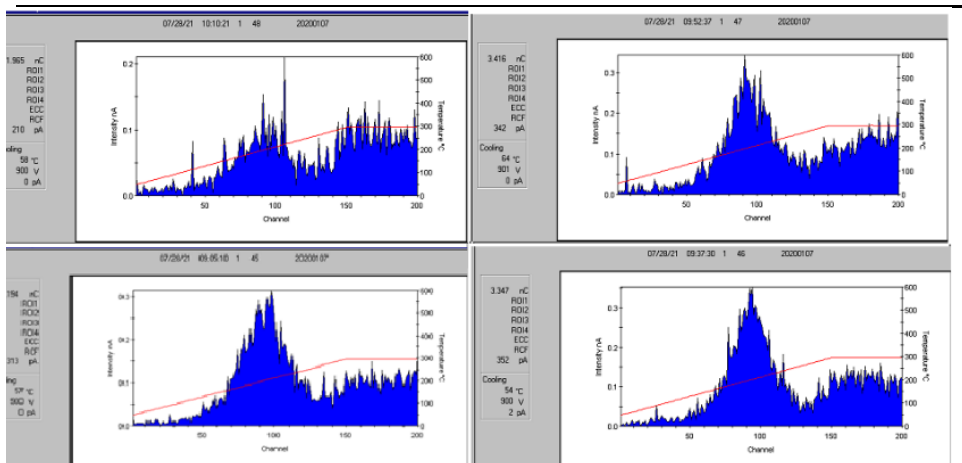
الشكل (11) يوضع منحنى GC للعينة النقية التي تم تعريضها لجرعة 2mGy



الشكل (11) : منحنى GC للشرائح النقية والمعرضة لجرعة 2 mGy

لوحظ من خلال منحنى GC أن قمة التوهج غير واضحة ولوحظ أن الشحنة المتراكمة منخفضة جداً 3.85 nC بحيث تكاد تكون قريبة من عينات الشاهد وشدة التآلق الحراري 0.32 nA وهي أيضاً قيمة منخفضة قريبة جداً من قيمة عينة الشاهد 0.15 nA .
تم تشيع باقي الشرائح النقية بجرعات غاما الأخرى وهي $(5, 10, 15, 20) \text{ mGy}$ ومنحنيات GC لباقي الشرائح النقية من أجل الجرعات السابقة كما في الشكل (12).

تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز 0.08 mol%



الشكل (12) : منحنيات GC للعينات النقية المعرضة لجرعات (5, 10, 15, 20)mGy

والجدول (1) يوضح الشحنة المتراكمة وشدة التألق الحراري I لكل العينات النقية

مقارنة مع الجرعة الإشعاعية التي تعرضت لها

الجدول (1) الشحنة المتراكمة وشدة التألق الحراري في العينات النقية من أجل

الجرعات

(0, 2, 5, 10, 15, 20) mGy

الجرعة DmGy	0	2	5	10	15	20
الشحنة nC	4.3	3.85	3.19	3.34	3.41	1.96
شدة التألق الحراري nA	0.35	0.32	0.32	0.35	0.34	0.22

لوحظ من خلال الجدول أن الشحنة المتراكمة قليلة جداً ولا تتجاوز الشحنة الناتجة في

عينات الشاهد وكذلك بالنسبة لشدة التألق الحراري لكون الشرائح النقية خالية من شوائب

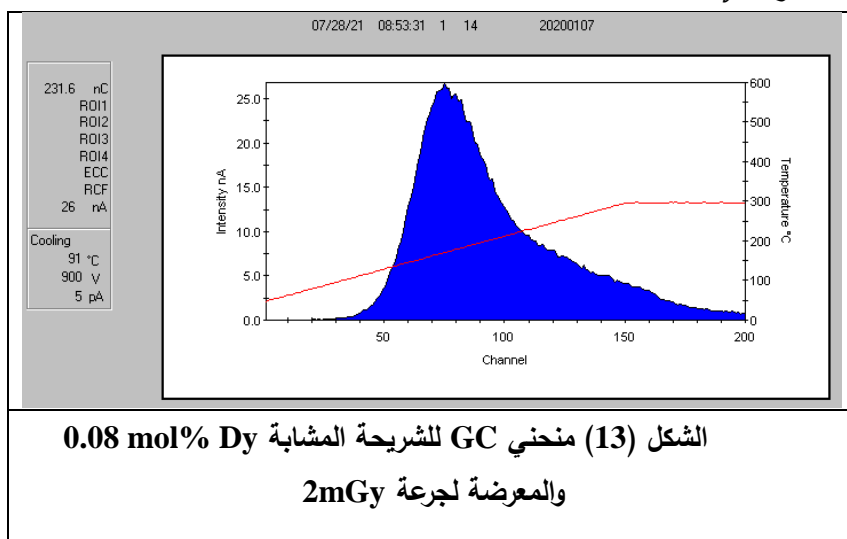
الديسبروزيوم. كما لوحظ أنه مع زيادة الجرعة الإشعاعية الممتصة للعينة لم يحدث زيادة خطية في الشحنة المتراكمة أو شدة التألق الحراري وهذا طبيعي باعتبار أن العينات خالية من الشوائب

بالتالي زيادة الجرعة بالتالي ليس فيها مصائد الكترونية كافية للحصول تآلق حراري يحتوي على قمة قابلة للقراءة والقياس.

3-3-4- قراءة العينات المشابهة المعرضة لأشعة غاما بجرعات (2, 5, 10, 15, 20) mGy

يوضع الشكل (13) منحنى GC للعينه المشابهة بتركيز 0.08 mol% التي تم

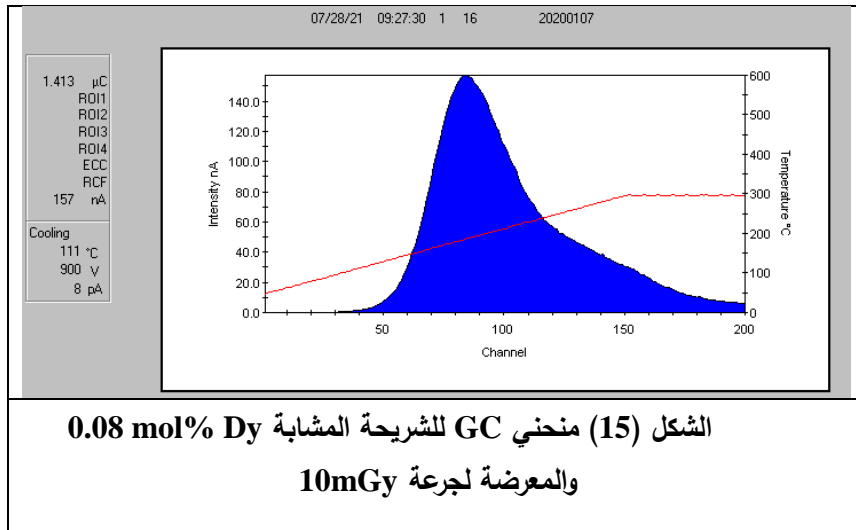
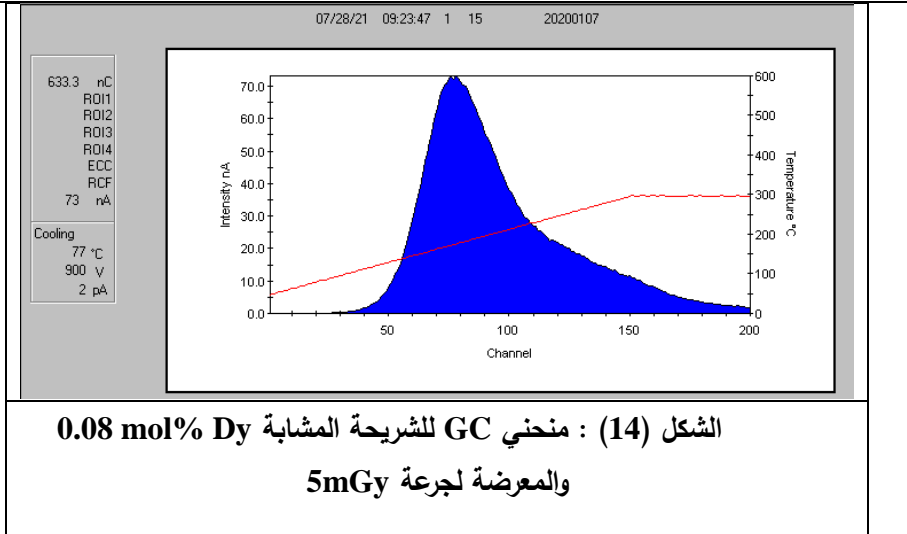
تعريضها لجرعة 2mGy.

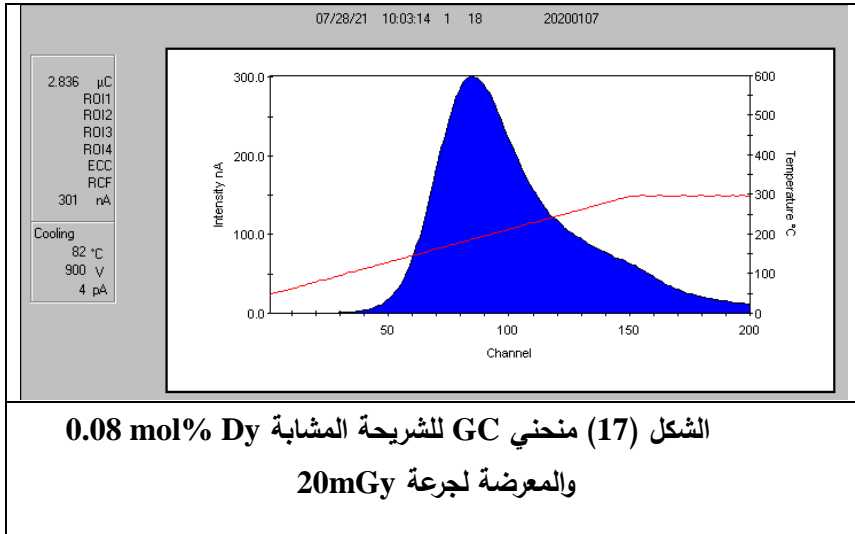
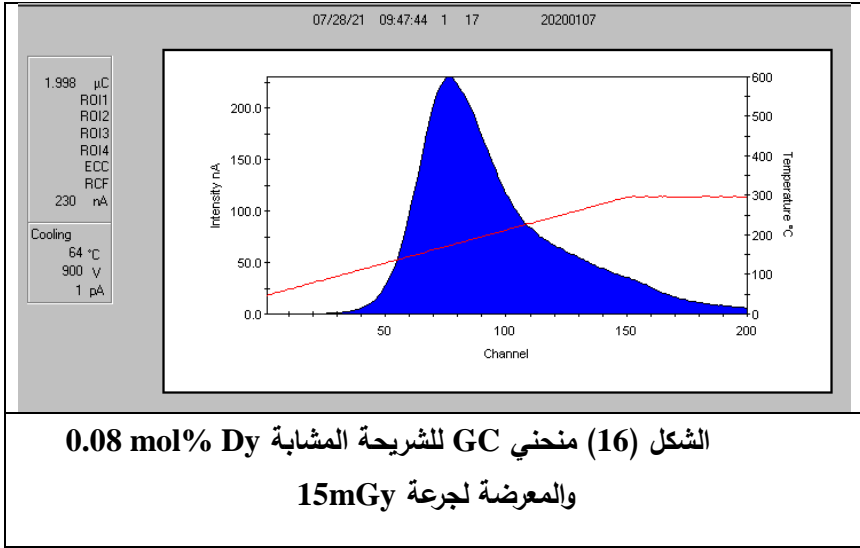


لوحظ من خلال منحنى GC أن قمة الاستجابة واضحة جداً وحدثت عند channel القناة 80 وذلك عند درجة حرارة 165°C علماً أن القارئ سخن العينات حتى درجة 300°C ولوحظ أن الشحنة المتراكمة ارتفعت بشكل كبير جداً من 2.13 nC لعينة الشاهد إلى 231.6 nC للعينه المشابهة وشدة التآلق الحراري ارتفعت من 0.15 nA إلى 27 nA وهذا يعني استجابة كبيرة للعينات المشابهة لأشعة غاما وأن المادة التي قمنا بتصنيعها تصلح كمادة قابلة للتآلق الحراري بعد تعريضها لأشعة غاما كما قمنا بتكرار التجربة لخمس عينات أخرى فأعطت ذات الاستجابة دالة على استقرارية القمة وصلاحيه هذه المادة لقياس الجرعة المنخفضة.

بينما باقي منحنيات GC للعينات المشابهة 0.08 mol% تظهر في الأشكال (14, 15, 16, 17) لوحظ من خلال منحنيات GC أن قمة الاستجابة واضحة جداً عند channel القناة 80 وذلك عند درجة حرارة 165°C كما لم يلاحظ وجود قمم ثانوية في جميع منحنيات التآلق.

تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز
0.08 mol%



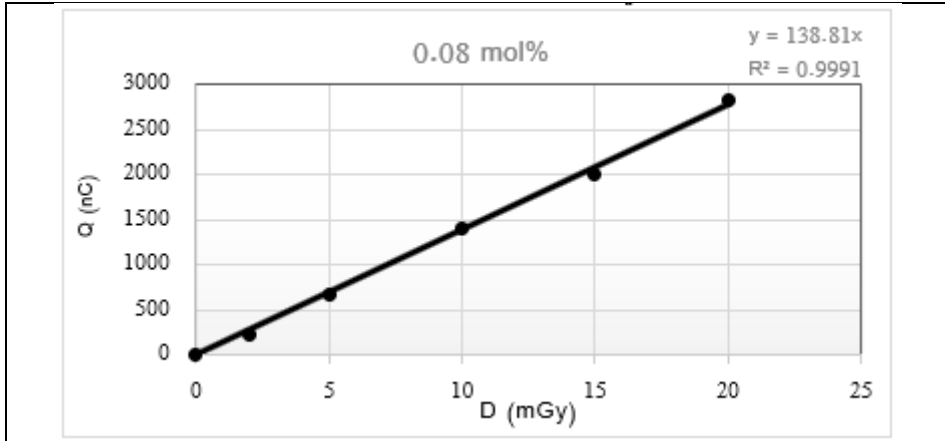


الجدول (2) يوضح الشحنة المتراكمة وشدة التألق الحراري للشرائح المشابة 0.08 mol% من أجل جرعات مختلفة لأشعة غاما.

الجدول (2) الشحنة المتراكمة Q وشدة التألق الحراري I في العينات المشابة 0.08 Dy mol% من أجل الجرعات (0, 2, 5, 10, 15, 20) mGy

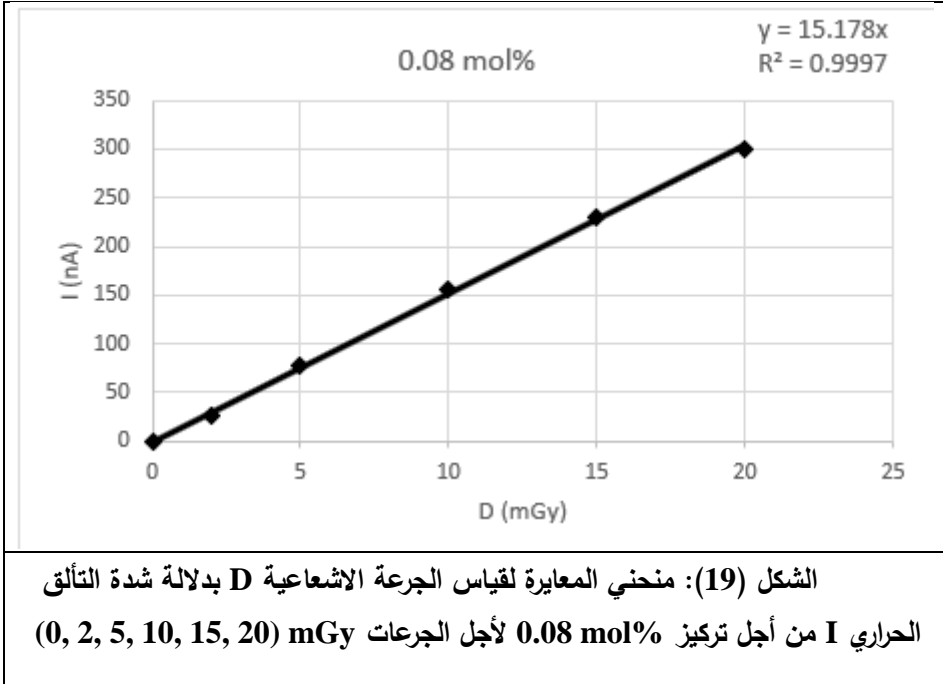
20	15	10	5	2	0	D (mGy)
2836	1998	1413	633.3	231.6	2.13	Q (nC)
300	230	155	73	27	0.15	I (nA)

نلاحظ من خلال الجدول أن الشحنة المتراكمة وشدة التألق الحراري أقل من العينة النقية في حالة عدم التشعيع وهذا عائد لاختلاف التعرض الإشعاعي الطبيعي في ظروف المخبر بين العينتين كما نلاحظ ازدياد الشحنة المتراكمة وازدياد شدة التألق الحراري بشكل كبير مع زيادة الجرعة الإشعاعية بالتالي نستطيع من هذه الميزة في انشاء منحنى المعايرة لقياس الجرعة برسم الخط البياني بين الجرعة الممتصة والشحنة المتراكمة وذلك باستخدام برنامج Excel كما في الشكل (18).



الشكل (18): منحنى المعايرة لقياس الجرعة الإشعاعية من أجل تركيز 0.08 mol% لأجل الجرعات (0, 2, 5, 10, 15, 20) mGy

من المنحني نلاحظ أن الصفة الخطية واضحة وجيدة وبالتالي العينات التي قمنا بتصنيعها تصلح كمقياس للجرعة TLD-900 بشكل فعال جداً ضمن مجال الجرعة المنخفضة المدروس. منحني المعايرة لقياس الجرعة بدلالة شدة التآلق الحراري في الشكل (19).



الشكل (19): منحني المعايرة لقياس الجرعة الاشعاعية D بدلالة شدة التآلق الحراري I من أجل تركيز 0.08 mol% لأجل الجرعات (0, 2, 5, 10, 15, 20) mGy

5- الاستنتاجات

- 1- تم تصنيع مقياس التآلق الحراري TLD-900 باستخدام شائبة الديسبروزيوم بتركيز 0.08 mol%
- 2- تم التأكد من استجابة TLD-900 المشاب عند تعرضه لأشعة غاما بجرعات مختلفة.
- 3- تم تحديد الشحنة المتراكمة للمقياس المصنع وشدة التآلق الحراري I.
- 4- تمت مقارنة فعالية مقياس الجرعة المشاب مع النقي.
- 5- تم رسم منحني المعايرة لاستخدامه في الكشف عن الجرعة الاشعاعية بمجرد معرفة الشحنة المتراكمة أو شدة التآلق الحراري.

6- التوصيات:

- 1- يوصى بدراسة مجالات أخرى للجرعة تتجاوز 20 mGy

تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز $0.08 mol\%$

- 2- يوصى بتوسيع مجال الدراسة حول تصنيع مقياس التألق الحراري TLD لدخوله في الكثير من المجالات النووية سواء الطبية أو البحثية.
- 3- يوصى باستخدام أنواع أخرى من العناصر الأرضية النادرة غير الديسبروزيوم ودراسة الاستجابة من أجلها.
- 4- يرجى دراسة تراكز أكثر من العنصر النادر للتأكد من أفضل تركيز عند أفضل استجابة.
- 5- ربط الدراسة الاكاديمية هذه بالمجال التطبيقي لقياس الجرعة وخصوصاً الطبي.

7- Reference:

1. Michael H., 2011- **The Royal Society and the decline of oyal Society**, *Royal Society Publishing site*, 278(1717), 2537-45.
2. McKeever S., 2001- **Thermoluminescence of Solids**, Cambridge University Press, 2nded, New York, 8.
3. Curie M., 1984- **Radioactive substances**, Faculty of science, 1nded, Paris, 235
4. Sunta M., 2015- **Unraveling Thermoluminescence**, Springer, 1nded, London, 3.
5. Antonio E., 2010- **Thermoluminescent Dosimeter Use for Environmental Surveillance at the Hanford Site**, Prepared for the U.S. Department of Energy, 1nded, USA, 19.
6. Mária Ra., 2002- **Thermoluminescence Dosimetry-Application in Environmental Monitoring**, *Radiation Safety Management*, 2(1), 2-16.
7. Sahani G., 2007-**High energy photon dosimetry: Present status and future challenges**, *Indian Association for Radiation Protection*, 30(212), 1- 4.
8. Aitken M., 1978- **Archaeological involvements of physics.**, *Physics Reports*, 40(5), 277-351.
9. AITKEN M., 1984-**Thermoluminescence Dating**, Academic Press, 1nded, London, 321.
10. Okada, G. et al., 2017- **Dynamics of radio-photoluminescence and thermally-stimulated luminescence in KBr:Sm**, *Tokyo, Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(21), 15980-15986.
11. Garlick J., 1948- **The Electron Trap Mechanism of Luminiscence in Sulphide and Silicate Phosphors**, *Proceedings of the Physical Society*, 60(6), 574-591.
12. Kumar, M. et al., 2009 - **Effect of heating rate on TL glow curves**, *Theoretical and experimental studies*, Sunta, *Indian J. Pure Appl. Phys*, 47(6), 402-405.
13. YAMASHITA, T et al., 1971-. **Calcium sulfate activated by thulium or dysprosium for thermoluminescence dosimetry**, *Health physics*, 21(2), 295-300

تصنيع مقياس الجرعة TLD المكون من كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ والمشاب بالديسبروزيوم Dy بتركيز
0.08 mol%

14. FURURETTA C et al., 1983- **Annealing and fading properties of CaF₂: Tm (TLD-300)**, *Radiation protection dosimetry*, 5(1), 57-63.

دراسة كفاءة أنظمة التشفير $MDNA, ELQTR, ELTRU$

مريم يوسف المصطفى-طالبة ماجستير في كلية العلوم-قسم الرياضيات-جامعة حمص.

أ.م.د. باسل حمدو العرنوس-كلية العلوم-قسم الرياضيات-جامعة حمص.

أ.د. حسن راشد ياسين-كلية التربية-قسم الرياضيات-جامعة القادسية-العراق.

ملخص البحث

تقدم هذه الورقة دراسة تحليلية مقارنة لثلاثة أنظمة تشفير حديثة ومطورة لنظام $NTRU$ ، وهي:

- $ELTRU$ القائم على الجبر الحادي عشر الجديد.

- $ELQTR$ الذي يدمج الجبر الحادي عشر مع معاملات من الجبر الرباعي.

- $MDNA$ الذي يدمج الجبر الحادي عشر مع تشفير الحمض النووي DNA .

تركز المقارنة لهذه الأنظمة بناءً على معيارين رئيسيين:

- قوة الأمان ممثلة بحجم فضاء العينة للمفتاح الخاص وللرسالة

- الوقت المستغرق للتنفيذ (العمليات الحسابية لجميع مراحل كل طريقة).

الكلمات المفتاحية:

حلقة كثيرات الحدود المقطوعة، الجبر الحادي عشر، الحمض النووي منقوص الأكسجين، فضاء العينة للرسالة، فضاء العينة للمفتاح، نظام التشفير $ELTRU$ ، نظام التشفير $ELQTR$ ، نظام التشفير $MDNA$ ، الجبر الرباعي، الجبر الثماني.

" Evaluating the Efficiency of ELTRU, ELQTR, and MDNA Encryption Systems"

Mariam Yosef Al-mustafa– Faculty of Science – Department of mathematics –Homs university.

Dr. **Basel Hamdo Alarnous** – Faculty of Science – Department of mathematics– Homs university.

P.Dr. **Hassan Rashed Yassein** – Department of mathematics– College of Education– University of Al-Qadisiyah– Iraq.

Abstract

This paper presents a comprehensive comparative analytical study of three modern and enhanced encryption systems developed for the NTRU cryptosystem, namely:

- **ELTRU**, which is based on a new eleventh algebra.
- **ELQTR**, which integrates eleventh algebra with quaternion algebra Coefficients.
- **MDNA**, which integrates eleventh algebra with DNA-based encryption.

The comparison of these systems is conducted based on two main criteria:

- **Security strength**, represented by the key space size for the private key and the message.
- **Execution time**, measured by the computational operations required for all stages of each method.

Key Words:

Truncated polynomial ring, MAL-Eleven algebra, DNA, Space security of key, Space security of Message, NTRU Cryptosystem,

ELTRU Cryptosystem, *ELQTR* Cryptosystem, *MDNA* Cryptosystem,
Quaternion algebra, Octonion algebra.

مقارنة بين أنظمة التشفير MDNA و ELQTR و ELTRU

1. مقدمة

مع تطور التكنولوجيا أصبح التشفير علماً لا غنى عنه، فهو يعمل على تغيير شكل البيانات بمختلف أنواعها المالية والمصرفية والعسكرية والأمنية والسياسية والاقتصادية بشكل يصعب فهمها حتى وإن تمّ الاطلاع عليها من قبل أشخاص غير مخولين لذلك.

ويعتمد التشفير على الرياضيات وخوارزميات صعبة التشكيل، وقد طوّر العلماء العديد من أنظمة تشفير المفتاح العام منذ تقديم طريقة (Diffie Hellman) في عام 1976 [1].

ومن بين هذه التطورات برز نظام التشفير *NTRU* [2] لتميّزه بأمان عالٍ وسرعة تنفيذ عالية وحجم مفاتيح صغير، ويعتمد هذا النظام على حلقة كثيرات الحدود المقطوعة.

وفي السنوات الأخيرة، ظهر نوع مبتكر من التشفير يُعرف باسم تشفير الحمض النووي مستوحى من البنية الفريدة للحمض النووي، تتميز هذه الأنظمة بقدرة كبيرة على تخزين المعلومات وسرعة تنفيذ عالية.

وقد قدّم العلماء العديد من التحسينات لنظام *NTRU* وللأنظمة القائمة على الحمض النووي وسنحدث عن البعض منها:

1. في العام 2009 قدّم *Malekian* وآخرون ببناء نظام تشفير يعتمد على الجبر الرباعي أطلقوا عليه اسم *QTRU* [3]، وتوصّلوا إلى أنّ *QTRU* أكثر مقاومة لبعض الهجمات من *NTRU*.

2. وفي العام 2010 اقترح *Malekian* وآخرون [4] نظام تشفير مطور لـ *NTRU* يعتمد على الجبر الثماني يُسمى *OTRU*.

3. في العام 2016 قدّم *Yassein* وآخرون [5] جبر جديد يُدعى الجبر السادس عشر لإنشاء نظام التشفير *HXDTRU*.

4. في العام 2019 قدّم *Almahdi* وآخرون [6] تقنية تشفير غير متناظر تعتمد على الحمض النووي لتشفير وفك تشفير النصوص.
5. في العام 2025 قدّم *Albakaa* وآخرون [7] نظام التشفير *FDNA* الذي يعتمد على الحمض النووي وكثيرات الحدود ويوفر هذا النظام مستوى عالٍ من الأمان.
6. في العام 2025 قدّم *Yassein* و آخرون [8] نظام التشفير *PDNA* يعتمد على الحمض النووي وكثيرات الحدود ويوفر هذا النظام مستوى أمان عالٍ جداً.
7. وفي العام 2025 قدّمت *Almustafa* وآخرون [9] جبر جديد يُدعى الجبر الحادي عشر M_{ae} لإنشاء نظام التشفير *ELTRU* وهو نظام تشفير مطور لـ *NTRU* ويوفر هذا النظام مستوى عالٍ من الأمان.
8. وفي العام 2025 قدّمت *Almustafa* و *Alarnous* وآخرون [10] نظام التشفير *ELQTR* ويعتمد على الجبر الحادي عشر بمعاملات من الجبر الرباعي مما يوفر مستوى أمان عالٍ جداً.
9. وفي العام 2026 قدمت *Almustafa* و *Yassein* وآخرون [11] نظام التشفير *MDNA* وهو نظام تشفير يعتمد على الجبر الحادي عشر والحمض النووي معاً يتميز هذا النظام بسرعة عالية ومستوى أمان عالٍ جداً.

2. مشكلة البحث

في ظل التزايد المستمر في حجم تبادل البيانات عبر الشبكات الرقمية وارتفاع مخاطر الاختراق والتلاعب بالمعلومات، برزت الحاجة إلى تطوير أنظمة تشفير أكثر أماناً وكفاءة، ومن بين الأنظمة المقترحة ظهرت أنظمة التشفير *ELTRU* و *ELQTR* و *MDNA*.

تكمن مشكلة البحث في دراسة وتحليل الفروقات بين هذه الأنظمة من حيث مستوى الأمان ووقت التنفيذ حتى يتمكن المستخدم من اختيار الطريقة المناسبة له حسب حاجته.

3. هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تحليلية مقارنة بين أنظمة التشفير *ELTRU* و *MDNA* و *ELQTR* من أجل تقييم مستوى الأمان والكفاءة الحسابية لكل نظام ويهدف تقديم بعض الاقتراحات لتطوير هذه الأنظمة.

4. المناقشة والنتائج

4 - 1: التعاريف الأساسية

نقدّم بدايةً تعريفاً لكل من أنظمة التشفير *ELTRU* و *ELQTR* و *MDNA*

تعريف 1: [9]

نظام التشفير *ELTRU*: هو نظام مُحسن لنظام *NTRU* يعتمد على جبر جديد يُدعى الجبر الحادي عشر وعلى حلقة كثيرات الحدود المقطوعة.

جرى مقارنة هذا النظام مع *NTRU* وبعض تحسيناته (*OTRU، QTRU*) وُجِدَ أنه يتمتع بمستوى أمان عالٍ جداً بالنسبة لفضاء العينة للمفتاح وللرسالة مقارنة بالأنظمة السابقة كما أنه أسرع من *QTRU* و *OTRU* وأبطأ من *NTRU* ولكن يمكن التغلب على مشكلة السرعة بتخفيض درجة كثيرات الحدود.

تعريف 2: [10]

نظام التشفير *ELQTR*: هو نظام تشفير مُحسن لنظام *NTRU* يعتمد على الجبر الحادي عشر بمعاملات من الجبر الرباعي وعلى حلقة كثيرات الحدود المقطوعة.

جرى مقارنة هذا النظام مع *NTRU* وبعض تحسيناته (*OTRU، QTRU*) وُجِدَ أنه يتمتع بمستوى أمان عالٍ جداً بالنسبة لفضاء العينة للمفتاح وللرسالة مقارنة بالأنظمة السابقة ولكنه أبطأ من *QTRU* و *OTRU* و *NTRU* ولكن يمكن التغلب على مشكلة السرعة بتخفيض درجة كثيرات الحدود.

تعريف 3: [11]

نظام التشفير *MDNA* : وهو نظام تشفير مُحسن لنظام *NTRU* يعتمد على الجبر الحادي عشر والحمض النووي وحلقة كثيرات الحدود المقطوعة. هذا الدمج أعطى نظاماً قوياً يتمتع بدرجة أمان عالية من خلال الطبيعية العشوائية للحمض النووي.

تم مقارنته ب أنظمة تشفير مشابهة له وهي نظام التشفير *FDNA* [7] ونظام التشفير *PDNA* [8] ووجد أنه يتفوق عليهما من حيث مستوى الأمان ولكنه أبداً منهما ولكن يمكننا التغلب على مشكلة السرعة بتخفيض درجة كثيرات الحدود.

والآن سنقوم بدراسة الفرق بين هذه الأنظمة من حيث مستوى الأمان ووقت التنفيذ.

4 - 2: المقارنة من حيث مستوى الأمان

من المعايير الرئيسية في أنظمة التشفير هو مستوى الأمان فكلاً كان مستوى الأمان عالٍ كلما كانت هذه الطريقة مطلوبة في سوق العمل.

يمكن للمخترق الذي يعرف المفتاح العام أن يسلك أحد الطريقتين: إما أن يبحث حتى يحصل على المفاتيح الخاصة المستخدمة في مرحلة توليد المفتاح ويكمل مرحلة فك التشفير فيحصل على الرسالة الأصلية وهذا ما نطلق عليه فضاء العينة للمفتاح، أو أن يبحث في المفتاح الخاص المُستَخدم في مرحلة التشفير ومن خلاله يحصل على الرسالة الأصلية بدون الرجوع إلى باقي مراحل النظام وهذا ما نسميه فضاء العينة للرسالة.

4 - 2 - 1: مستوى أمان المفاتيح الخاصة

جرى إيجاد فضاء العينة للمفتاح (مستوى أمان المفاتيح الخاصة)، لكل نظام من الأنظمة المدروسة في [9 - 10 - 11]

الجدول (1) يبين مقارنة من حيث مستوى أمان المفتاح الخاص للأنظمة *ELTRU* و *ELQTR* و *MDNA*.

الجدول (1): مستوى أمان المفتاح للأنظمة *ELTRU*، *ELQTR*، *MDNA*.

نظام التشفير	فضاء العينة للمفتاح
<i>ELTRU</i>	$\left(\frac{N!}{(d_g!)^2 (N - 2d_g)!} \right)^{11}$
<i>ELQTR</i>	$\left(\frac{N!}{(d_g!)^2 (N - 2d_g)!} \right)^{44} \left(\frac{N!}{(d_s!)^2 (N - 2d_s)!} \right)^{44}$
<i>MDNA</i>	$4^n \left(\frac{N!}{d_g! (d_g - 1)! (N - 2d_g + 1)!} \right)^{11}$

نلاحظ من الجدول (1) أنّ نظام التشفير *ELQTR* أعلى أماناً بالنسبة للمفتاح من نظام التشفير *ELTRU* ونظام التشفير *MDNA* أعلى أماناً من نظام التشفير *ELTRU*.

بينما بالنسبة للأنظمة *ELQTR* و *MDNA* بفرض أنّ:

$$\begin{aligned} \frac{N!}{(d_g!)^2 (N - 2d_g)!} &= \frac{N!}{(d_s!)^2 (N - 2d_s)!} = \\ &= \frac{N!}{d_g! (d_g - 1)! (N - 2d_g + 1)!} = x \end{aligned}$$

فيكون فضاء العينة للمفتاح لـ *ELQTR* هو x^{88} وفضاء العينة للمفتاح لـ *MDNA* هو $4^n x^{11}$ ، لنناقش الحالات الآتية:

(a) إذا كان $n > \frac{x \log(77)}{\log(4)}$ فإنَّ نظام التَّشفير $MDNA$ هو أعلى أماناً بالنسبة للمفتاح

من نظام التَّشفير $ELQTR$.

(b) إذا كان $n < \frac{x \log(77)}{\log(4)}$ فإنَّ مستوى أمان نظام التَّشفير $ELQTR$ أعلى أماناً بالنسبة

للمفتاح من مستوى أمان نظام التَّشفير $MDNA$.

(c) إذا كان $n = \frac{x \log(77)}{\log(4)}$ فإنَّ مستوى أمان المفتاح لنظام التَّشفير $MDNA$ يساوي

مستوى أمان نظام التَّشفير $ELQTR$.

هنا لا يمكننا القول بالمطلق أنَّ أحدهما أعلى أماناً بالنسبة للمفتاح من الآخر، حيث يمكن التحكم في ذلك حسب الحاجة، وهذه نقطة إيجابية في عملنا وتخدمنا في الجانب المادي عند استخدام هذه الأنظمة، فالتكلفة أيضاً هي أحد المعايير التي تحدد مقدار كفاءة أنظمة التشفير.

4 - 2 - 2: مستوى أمان الرسالة

نجري فيما يأتي مقارنة من حيث فضاء العينة للرسالة (مستوى أمان الرسالة).

الجدول (2) يبين مقارنة بين أنظمة التشفير $ELTRU$ و $ELQTR$ و $MDNA$ من حيث أمان الرسالة.

الجدول (2): مستوى أمان الرسالة للأنظمة $ELTRU$ ، $ELQTR$ ، $MDNA$

نظام التشفير	فضاء العينة للرسالة
$ELTRU$	$\left(\frac{N!}{(d_\varphi!)^2 (N - 2d_\varphi)!} \right)^{11}$
$ELQTR$	$\left(\frac{N!}{(d_\varphi!)^2 (N - 2d_\varphi)!} \right)^{44} \left(\frac{N!}{(d_\psi!)^2 (N - 2d_\psi)!} \right)^{44}$

دراسة كفاءة أنظمة التشفير *MDNA*، *ELQTR*، *ELTRU*

<i>MDNA</i>	لا يوجد
-------------	---------

من الجدول السابق نلاحظ أن نظام التشفير *MDNA* لا يوجد به فضاء عينة للرسالة أي أن المخترق ليس أمامه إلا طريق واحد فقط، وهذه ميزة في هذا النظام ومنه نجد أن *MDNA* أعلى أماناً من *ELTRU* و *ELQTR* بالنسبة للرسالة.

بينما بالنسبة لـ *ELTRU* و *ELQTR* نلاحظ أن *ELQTR* أعلى أماناً من *ELTRU* بالنسبة للرسالة.

والأشكال (1) و (2) و (3) و (4) تبيّن المقارنة بين الأنظمة *MDNA* و *ELQTR* و *ELTRU* من حيث مستوى أمان المفتاح والرسالة.

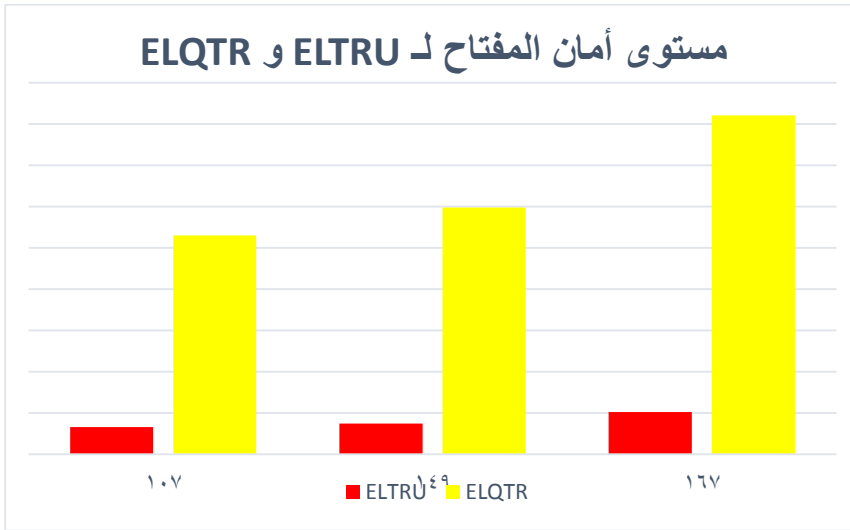
وذلك بتعويض القيم الواردة في الجدول (3) في الجداول (1) و (2).

الجدول (3): بعض القيم للعوامل d_g و d_ϕ و N .

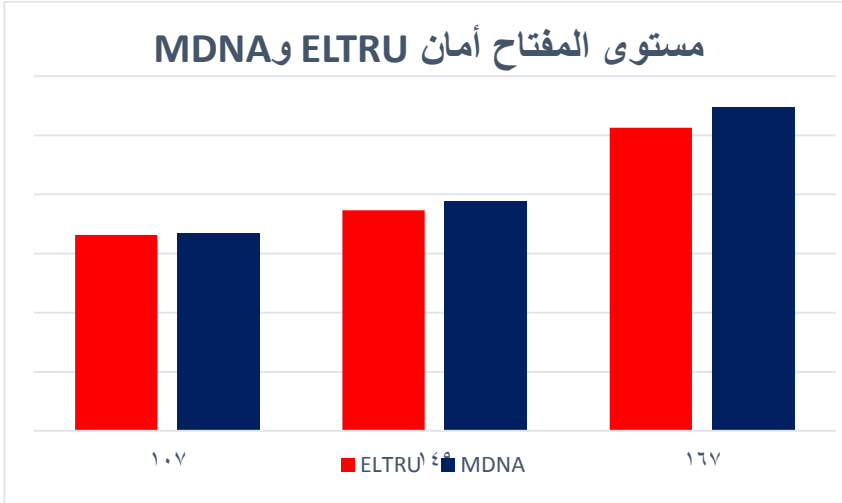
N	d_g	d_ϕ
107	12	5
149	12	10
167	18	18

أما بالنسبة لمستوى الأمان لـ *MDNA* و *ELTRU* أخذنا الحالات الثلاث لـ n فهي التي تعطي فرقاً بينهما (الشكل (3)).

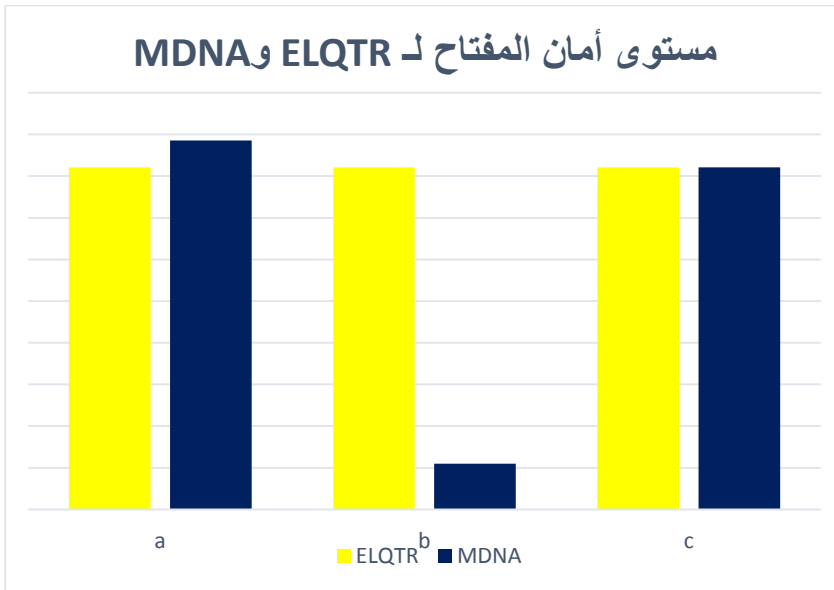
الشكل (1): مقارنة بين $ELTRU$ و $ELQTR$ من حيث مستوى أمان المفتاح.



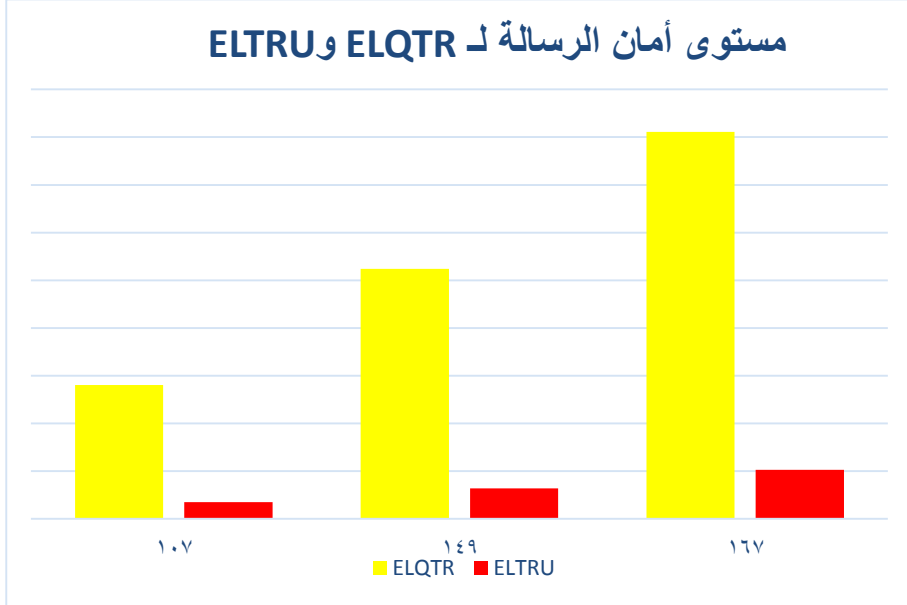
الشكل (2): مقارنة بين $MDNA$ و $ELTRU$ من حيث مستوى أمان المفتاح



الشكل (3): مقارنة بين MDNA و ELQTR من حيث مستوى أمان المفتاح.



الشكل (1.4): مقارنة بين ELTRU و ELQTR من حيث مستوى أمان الرسالة.



4 – 3: المقارنة من حيث وقت التنفيذ:

إلى جانب مستوى الأمان يعتبر وقت تنفيذ أنظمة التشفير من الأمور الهامة جداً عند اختيار نظام تشفير مناسب والجدول (4) يبين مقارنة بين أنظمة التشفير *ELQTR* و *ELTRU* و *MDNA*.

الجدول (4): مقارنة من حيث وقت التنفيذ للأنظمة *ELTRU*, *ELQTR*, *MDNA*.

نظام التشفير	<i>ELTRU</i>	<i>ELQTR</i>	<i>MDNA</i>
وقت التنفيذ	$44t_0 + 22t_1$	$3344t_0 + 176t_1$	$44t_0 + 2t_2$

حيث إن t_0 تعبر عن وقت تنفيذ عمليات الضرب و t_1 تعبر عن وقت تنفيذ عمليات الجمع و t_2 تعبر عن وقت تنفيذ العمليات على الكودونات.

مما سبق نجد أنّ نظام التشفير MDNA يتمتع بسرعة عالية ومن ثم يأتي نظام ELTRU ومن ثم ELQTR والشكل (5) يبين مقارنة بين أنظمة التشفير ELTRU و ELQTR و MDNA من حيث وقت التنفيذ.

الشكل (1.5): مقارنة بين ELTRU و ELQTR و MDNA من حيث سرعة التنفيذ.



يجدر التنويه إلى أنه، على الرغم من وجود فروق واضحة بين الأنظمة من حيث زمن التنفيذ، فإنّ هذه الفروق تظلّ محدودة وتقتصر على أجزاءٍ من الثانية.

5. نتائج البحث الرئيسية

لقد نجح هذا البحث في تحقيق سلسلة من الأهداف المترابطة التي تشكل معاً رؤية جديدة لأنظمة التشفير:

1. من حيث مستوى الأمان:

أولاً: أمان المفتاح الخاص:

تشير نتائج المقارنة إلى أن نظام *ETQTR* يتمتع بمستوى أمان أعلى النسبة للمفتاح من نظام تشفير *ELTRU*.

كما يتبين أن نظام *MDNA* يوفر درجة أمان أعلى من *ELTRU* في هذا الجانب.

أما عند مقارنة *MDNA* مع *ELQTR* فإن الأمان نسبي يعتمد بشكل أساسي القيم المختارة للمعاملات المستخدمة (خاصةً n في *MDNA*).

وبناءً على ذلك، يمكن لأي من النظامين تحقيق مستوى أمان أعلى من الآخر، الأمر الذي يمنح المستخدم مرونة إضافية في اختيار النظام بما يتناسب مع متطلبات الأمان.

ثانياً: أمان الرسالة:

يتمتع *MDNA* بميزة كبيرة، حيث لا يوجد فضاء عينة للرسالة يمكن للمهاجم استغلاله، مما يضطره لمهاجمة المفتاح فقط. ونتيجة لذلك يُعد *MDNA* النظام الأعلى أماناً من حيث حماية الرسالة.

وبالمقارنة بين نظامي التشفير *ELTRU* و *ELQTR* يتضح أن *ELQTR* يحقق مستوى أمان أعلى فيما يتعلق بالرسالة.

2. من حيث وقت التنفيذ:

أظهرت نتائج المقارنة أن ترتيب الأنظمة من حيث سرعة التنفيذ، هو كما يلي:

- (الأسرع) *MDNA*
- *ELTRU*
- (الأبطأ) *ELQTR*

يُشار إلى أن الفروق في سرعة التنفيذ بين هذه الأنظمة هي في حدود أجزاء من الثانية، ويمكن تحسين الأنظمة الأبطأ (*ELTRU*, *ELQTR*) عن طريق تخفيض درجة كثيرات الحدود المستخدمة.

والجدول (5) يبين النتائج التي توصلنا إليها:

الجدول (5): يبين النتائج التي توصلنا إليها.

النظام	الميزة الرئيسية	العيب النسبي	تطبيقات النظام
<i>ELTRU</i>	توازن جيد بين الأمان والسرعة، أسرع من <i>ELQTR</i>	مستوى أمان أقل مقارنة بالأنظمة الأخرى	تشفير البيانات التي تحتاج توازناً بين السرعة والأمان
<i>ELQTR</i>	أعلى مستوى أمان بالنسبة للمفتاح والرسالة من <i>ELTRU</i>	الأبطأ من حيث وقت التنفيذ.	تشفير البيانات الحساسة جداً حيث يكون الأمان أولوية قصوى على حساب السرعة.
<i>MDNA</i>	أعلى أمان وسرعة تنفيذ عالية (الأسرع)، ومرونة في التحكم بأمان المفتاح الخاص.	زيادة العمليات الحسابية بسبب دمج كثيرات الحدود مع الـ <i>DNA</i>	تشفير البيانات التي تتطلب أعلى مستويات الأمان مع وقت تنفيذ أقل، خاصة عند التعامل مع بيانات حساسة للغاية.

يقترح هذا العمل عدة مسارات بحثية واعدة:

- تحسين بعض أنظمة تشفير المفتاح العام باستخدام الجبر الحادي عشر من أجل زيادة مستوى الأمان.
- يمكن استخدام جبر مختلف على نفس البنية الرياضية في *MDNA* لإنشاء نظام تشفير يكون أكثر أماناً.

7. المراجع

1. W. Diffie and M. Hellman, "New directions in cryptography," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 22, no. 6, pp. 644–654, Nov. **1976**.
2. J. Hoffstein, J. Pipher, and J. H. Silverman, "NTRU: A ring-based public key cryptosystem," in Proceedings of the Third International Symposium on Algorithmic Number Theory (ANTS-III), Portland, OR, USA, Jun. **1998**, vol. 1423, pp. 267–288: Springer Berlin Heidelberg.
3. E. Malekian, A. Zakerolhosseini, and A. Mashatan, "QTRU: A lattice attack resistant version of NTRU PKCS based on quaternion algebra," The ISC International Journal of Information Security, vol. 3, no. 1, pp. 29–42, **2011**.
4. E. Malekian and A. Zakerolhosseini, "OTRU: A non-associative and high speed public key cryptosystem," in Proceedings of the 15th CSI International Symposium on Computer Architecture and Digital Systems (CADS), Tehran, Iran, **2010**, pp. 83–90.
5. H. R. Yassein and N. M. G. Al-Saidi, "HXDTRU cryptosystem based on hexadecnonion algebra," in Proceedings of the 6th International Cryptology and Information Security Conference (CRYPTOLOGY), Kota Kinabalu, Malaysia, **2016**, pp. 1–10.
6. H. Al-Mahdi, M. Alruily, O. R. Shahin, and K. Alkhalidi, "Design and analysis of DNA encryption and decryption technique based on asymmetric cryptography system," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 10, no. 2, pp. 499–506, **2019**.
7. F. H. Albakaa and H. R. Yassein, "A new encryption scheme based on DNA and polynomials with more security," International Journal of Mathematics and Computer Science, vol. 20, no. 1, pp. 383–386, **2025**.
8. F. H. Albakaa and H. R. Yassein, "A new method of encryption based on octonion algebra and DNA," AIP Conference Proceedings, **2025**.

9. M. Y. Almustafa, B. H. Alarnous, and H. R. Yassein, "ELTRU: Development of NTRU via newly eleventh-dimensional algebra," *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, vol. 43, no. 3, pp. 1–7, **2025**.
10. M. Y. Almustafa, B. H. Alarnous, and H. R. Yassein, "ELQTR: More secure encryption system based on MAL-Eleven algebra with quaternion coefficients," *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, vol. 43, no. 3, pp. 1–5, **2025**.
11. M. Y. Almustafa, B. H. Alarnous, and H. R. Yassein, "DNA and MAL-eleven algebra to design an efficient encryption cryptosystem," *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, vol. 44, pp. 1–4, **2026**.