

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 15

1446 هـ - 2024 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

م. ريا قباقلي

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

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
44-11	أحمد ابازيد د. ديب باكير د. محمد علي الشيخ	دراسة تأثير بعض الحموض الكربوكسيلية على حماية الحديد من التآكل
60-45	د. إيمان الخوجة د. حمزة حاكمي رنيم الجندي	حلاقة الإندومورفيزمات المنتظمة
86-61	د. مصطفى ديلو	دراسة الترتيب المغناطيسي لبلورات Fe/Si باستخدام انعراج ميوسباور
120-87	ياسر ناعورة د. شادي سكرية د. جرجس ديب	دور الأجسام المضادة المعدلة للبيبتيد LEAP2 في تسكين الألم لدى جردان Wistar
144-109	يارا الرمضان د. نهلة إبراهيم د. تغريد قدار د. أنور العمر	تأثير لقاح داء الكلب الخامل في تراكيز الأضداد لدى بعض الخفافيش السورية

دراسة تأثير بعض الحموض الكربوكسيلية على حماية الحديد من التآكل

بشرى أحمد ابازيد* ، أ.د. ديب باكير** ، أ.د. محمد علي الشيخ**

ملخص البحث

تم دراسة تثبيط تآكل الحديد في محلول حمض كلور الماء (M 0.1) باستخدام حمضي السالسليك والبنزويك وذلك بالاعتماد على طريقة قياس فقدان الوزن، تبين من قياسات فقدان الوزن أن حمض السالسليك ذو كفاءة تثبيط أفضل من حمض البنزويك، لذلك تم دراسة كفاءة تثبيطه في مجال درجات الحرارة (K 313-343) وقد وجد أن كفاءة التثبيط تزداد مع زيادة تركيز المثبط ولكنها تقل مع زيادة درجة الحرارة.

لقد تبين أن امتزاز المثبط المدروس على الحديد يتوافق مع ايزوتيرم الامتزاز (Isotherms) عند جميع درجات الحرارة المدروسة.

تم حساب ومناقشة كل من المعاملات الحركية (طاقة التنشيط، انتالبية التنشيط، انتروبية التنشيط)، كما تم حساب الخصائص الحرارية للامتزاز (انتالبية الامتزاز، انتروبية الامتزاز، طاقة جيبس الحرة)

الكلمات المفتاحية: مثبطات التآكل، حماية الفولاذ الكربوني، حمض السالسليك، حمض البنزويك، الامتزاز.

(* طالبة ماجستير كيمياء فيزيائية في قسم الكيمياء-كلية العلوم-جامعة البعث-حمص-سوريا.

(**) أستاذ الكيمياء الفيزيائية في قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا.

Studying the effect of some carboxylic acids on protecting iron from corrosion

Boshra abazid*, Deeb baker**, mohammed ali alshekh**

Abstract

The inhibition of iron corrosion was studied in a solution of hydrochloric acid (0.1M) using salicylic and benzoic acids, based on the method of measuring weight loss. It was revealed from the weight loss measurements that salicylic acid has a better inhibition efficiency than benzoic acid, so its inhibition efficiency was studied in the thermal range. (313-343 K) It was found that the inhibition efficiency increases with increasing inhibitor concentration but decreases with increasing temperature.

It has been shown that the adsorption of the studied inhibitor on iron agrees with the Langmuir adsorption isotherms at all temperatures studied.

The kinetic parameters (activation energy, activation enthalpy, activation entropy) were calculated and discussed, and the thermal properties of adsorption (adsorption enthalpy, adsorption entropy, Gibbs free energy) were calculated.

Keywords: corrosion inhibitor, carbon steel corrosion, salicylic acid, Benzoic acid, Adsorption.

*) Master student, Department of chemistry-Faculty of science-Al-baath university Homs-Syria.

***) professor of physical chemistry, Department of chemistry-Faculty of science- Al-baath university Homs-Syria.

1- مقدمة:

استُخدم الفولاذ على نطاق واسع كمواد أساسية في مختلف مجالات الصناعة بسبب خصائصه الميكانيكية الممتازة وتكلفته المنخفضة نسبياً [1]. إن تآكل المعادن الذي يؤدي إلى التدمير التدريجي للهياكل والمعدات المعدنية، يحدث بسبب التفاعلات الكيميائية والكهروكيميائية لسطح المعدن مع العوامل المسببة للتآكل في الوسط المحيط وذلك لتشكيل مواد أكثر استقراراً. يسبب التآكل أضراراً مختلفة وخسائر اقتصادية كبيرة، إذ يتسبب في تدمير ما يقارب ربع الإنتاج السنوي من الفولاذ، والذي يقدر بنحو 150 مليون طن سنوياً، أي 5 أطنان في الثانية، وتمثل الخسائر الاقتصادية ما بين (3-4%) من حجم الإنتاج القومي الإجمالي في الدول الصناعية، إن التآكل أمر لا مفر منه ولكن يمكن الحد منه بشكل كبير باتخاذ تدابير الحماية والوقاية المناسبة [2]. في الوقت الحاضر أصبحت دراسة ظاهرة تآكل الحديد موضوعاً صناعياً وأكاديمياً هاماً وخاصة في الأوساط الحمضية، وأهم مجالات التطبيق هي: ، التنظيف الصناعي، إزالة الترسبات الحمضية، وحمض آبار النفط في استخراج النفط والعمليات البتروكيميائية، وتعتبر المحاليل المائية للأحماض من بين أكثر الوسائط تآكلاً، لذلك فإن معدل التآكل الذي يتم به تدمير المعادن في الوسط الحمضي مرتفع جداً، أي أن دراسة واستكشاف مثبط التآكل لتآكل الفولاذ في المحاليل الحمضية يعد أمراً مهماً ليس فقط لمعناه الأكاديمي ولكن أيضاً

لتطبيقاته العملية [3]. وتُعرف المثبطات بأنها مواد أو مخاليط ذات تراكيز منخفضة، وفي بيئة مسببة للتآكل تعمل على منع أو تقليل معدل التآكل [4].

ولمثبطات التآكل نوعان: طبيعية وصناعية،

المثبطات الطبيعية المشتقة من النباتات والمعادن مثل (الخلاصات النباتية والزيوت والشحوم...)، صديقة للبيئة، وقابلة للتحلل البيولوجي، ومنخفضة السمية، ومع ذلك قد تكون فعاليتها محدودة وقد تكون غير مناسبة لبيئات التآكل الشديدة، علاوة على ذلك يمكن أن تكون تكاليفها أعلى مقارنة بالمثبطات الاصطناعية وعلى الرغم من هذه القيود تكتسب المثبطات الطبيعية شعبية كبديل مستدامة وصديقة للبيئة، حيث أن المثبطات الطبيعية قابلة للتجديد، وقابلة للتحلل الحيوي، وآمنة للتعرض البشري، مما يجعلها مناسبة للصناعات مثل الأغذية والأدوية.

في المقابل، يتم تصنيع المثبطات الاصطناعية كيميائيًا لتوفير فعالية عالية في مجموعة من البيئات المسببة للتآكل، تعتبر أملاح الأمينات والفوسفات والنترت أمثلة على المثبطات الاصطناعية، حيث أن المثبطات الاصطناعية أكثر فعالية ولها نطاق أوسع في التطبيقات و موثوقة ولها مدة صلاحية أطول من المثبطات الطبيعية، كما تشكل طبقة واقية على الأسطح المعدنية وتتفاعل مع المواد المسببة للتآكل لمنع التآكل، وهي فعالة بشكل خاص في البيئات القاسية والمسببة للتآكل مع مستويات عالية من الشوائب والملح والملوثات الأخرى [5].

شهد استخدام مثبتات التآكل الاصطناعية تطبيقاً متزايداً في (أنظمة التبريد، مصافي النفط، خطوط الأنابيب، مصانع المعالجة الكيميائية، الغلايات، معالجة المياه، الدهانات، الأصباغ ومواد التشحيم...إلخ) من بين طرق أخرى مختلفة لمنع التآكل نظراً لتكلفتها المنخفضة نسبياً وسهولة الاستخدام، ولكن الآثار السلبية وسمية بعض مثبتات التآكل وخاصة تلك ذات الأصل غير العضوي مثل: الكرومات، النترات، الفوسفات، وغيرها على البيئة وصحة الإنسان، على الرغم من أن بعض المركبات غير العضوية مثل: الموليبيدات، التنغستات، فسفوموليبيدات الزنك ومركبات اللانثانيدات وما إلى ذلك، أظهرت سمات جيدة وصديقة للبيئة ولكنها باهظة الثمن، لذلك تعد دراسة الجزيئات ذات الأصل الطبيعي أو العضوي التي تُظهر امتصاصاً قوياً أو طبقة واقية فوق الأسطح المعدنية في الوسائط المسببة للتآكل واحدة من أكثر مجالات البحث الواعدة نحو تطوير المركبات المثبطة، إن استخدام المركبات العضوية ذات المجموعات المتعددة الوظائف ضمن بيئتها الجزيئية المكونة من ذرات مغايرة أو روابط ثلاثية أو حلقات عطرية يعزز عملية الامتزاز، إذ تعد هذه الخاصية مقترنة بالقدرة على تكوين طبقة ملتصقة قوية بشكل فعال والتي تُعيق الانتشار والنقل الكهربائي للأنواع المسببة للتآكل على المعدن [6].

إن أكثر مثبتات التآكل كفاءة هي المركبات العضوية التي تحتوي على ذرات غير متجانسة مثل:

(N, O, P, S) وروابط متعددة بالإضافة إلى بعض المجموعات الوظيفية، ويذكر أيضاً أن المركبات العضوية التي تحوي على المجموعات ($-NH_2$, $-OH$, $-COOH$) وغيرها تعتبر مثبطات ممتازة للتآكل خاصة في الوسائط الحمضية، وتعتمد كفاءة المثبط على قدرته على احتلال المواقع الشاغرة المعنية لتكوين طبقة مثبطة ممتصة كيميائياً ويعتمد أيضاً على تركيبة المعدن والتآكل والبيئة المثبطة والتركيز ودرجة الحرارة [7].

وتُعرف الأحماض الكربوكسيلية ولاسيما أحادية الكربوكسيل بأنها تعمل كمثبطات للتآكل للعديد من المواد بالإضافة إلى كونها صديقة للبيئة، حيث يتميز عملها بامتزاز مجموعة الكربوكسيل على سطح المعدن مما يسمح بتكوين طبقة كارهة للماء والتي توفر الحماية من التآكل، كما تعتمد الخواص الكارهة للماء للأحماض الكربوكسيلية بشكل كبير على طول سلسلة الكربون الخاصة بها [8]. بحيث تصبح أكثر فعالية مع زيادة كراهيتها للماء حيث تمنع كل من العمليات الكاثودية والأنودية بسبب قدرتها العالية على الامتزاز [9].

قام مجموعة من الباحثين بدراسة كفاءة تثبيط حمض السكسينيك على الفولاذ المنخفض الكربون LCS، شكّل هذا المثبط طبقة سطحية على LCS عن طريق الامتزاز الإلكترونياتيكلي لأنيونات السكسينات، وأخرت هذه الطبقة تآكل المعدن بشكل كبير في محلول HCl، أي أن حمض السكسينيك تصرف بشكل رئيسي كمثبط، كما أظهرت النتائج أن كفاءة التثبيط زادت مع ازدياد تركيز الحمض ووقت الغمر ودرجة الحموضة [2].

وُدس أيضاً كفاءة تثبيط 2_كربوكسي ايثيل فوسفونيك Zn^{+2} (2CEPA) وحمض ايثيل فوسفونيك Zn^{+2} (EPA)، في تآكل الفولاذ الطري في بيئة مائية تحوي على 60 ppm من Cl^{-1} ، وتمت المقارنة بينهما و أظهرت النتائج أن Zn^{+2} (2CEPA) أعطى كفاءة تثبيط أفضل من Zn^{+2} (EPA)، إن الحجم الجزيئي لمعقد فوسفونات الحديد يلعب دور رئيسي في تأخير تآكل الفولاذ الطري في Cl^{-} أكبر من التأثير الالكتروني، وتتناقص كفاءة التثبيط لهذه الأنظمة مع زيادة فترة الغمر بسبب ذوبان الأغشية الواقية، ونظراً للأهمية الكبيرة لهذه الحموض تم العمل على دراسة تأثير حمض السالسيك كمثبط لتآكل الفولاذ من نوع ST37 في أوساط مختلفة (الماء المقطر، تراكيز مختلفة من HCl، ودرجات حرارة مختلفة) [10].

كما درس مجموعة من الباحثين تأثير مجموعة من الأحماض الكربوكسيلية كمثبطات تآكل للفولاذ الكربوني في محلول (0.01 M) NaOH، حيث تمت المقارنة بين كل من حمض الفثاليك وحمض الأوكزاليك وحمض أورثو-أمينو بنزويك وحمض السالسيك باستخدام تقنية المجهر الالكتروني SEM لدراسة سطح الفولاذ بعد التعرض للمحلول، أظهرت النتائج أن الأحماض الكربوكسيلية تحوّل احتمالية تثبيط التآكل نحو قيم أكثر إيجابية، مما يشير إلى أن لها تأثير مثبط، فهي عبارة عن مثبطات تآكل مختلطة، ومن بين الأحماض الكربوكسيلية المدروسة كان لحمض الفثاليك أعلى كفاءة تثبيط وحمض

الأوكزاليك أقل كفاءة تثبيط، حيث تمّ ترتيب الأحماض تبعاً للحمض الذي أعطى أعلى كفاءة تثبيط وفق التالي [11]:

phthalic acid > salicylic acid > o-aminobenzoic acid > oxalic acid.

وُدُرِسَ أيضاً تأثير طول السلسلة الكربونية في الحموض الكربوكسيلية في عمليات التثبيط في محلول من حمض الكبريت حيث تم العمل على أربع حموض كربوكسيلية متفاوتة بطول السلسلة الكربونية

($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$) حيث ($n = 4, 8, 12$ and 16) واستخدمت هذه الحموض في الحالة النقية المنصهرة للسماح بتكوين طبقة ذات خصائص كارهة للماء، وكان لحمض الستريك

($\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$) أفضل كفاءة تثبيط نظراً للسلسلة الكربونية الأطول [5].

2- أهمية وهدف البحث:

دراسة تأثير بعض الحموض الكربوكسيلية على حماية الحديد من التآكل، بالإضافة إلى دراسة تأثير العوامل المختلفة (درجة الحرارة، تركيز المثبط) على معدل التآكل. تعود الأهمية كون حماية الحديد تعود بشكل إيجابي كبير على الاقتصاد العالمي وتخفيض من عمليات التعدين (استخراجه من باطن الأرض) وبالتالي خفض العمليات الصناعية

الضارة بالبيئة، فإن معظم أرباح المصانع والمعامل تذهب سدى بسبب التآكل وفي كثير من الأحيان يسبب التآكل خسائر فادحة تسبب إيقاف مفاجئ لهذه المعامل.

3- الجزء العملي:

3-1- التجهيزات المستخدمة:

- ميزان الكتروني بدقة 0.0001 g من شركة memmert الألمانية.
- أوراق صنفرة بدرجات خشونة مختلفة (SiC 80, 180, 400, 600, 1200).
- جهاز تقطير من إنتاج شركة milipore الفرنسية، يقوم بإنتاج ماء ثنائي التقطير منزوع الأيونات، ذو ناقلية لا تزيد عن 0.066، وبطاقة إنتاجية (10L/h).
- سخان مع حساس لتثبيت درجة الحرارة من شركة yellow.
- فرن تجفيف كهربائي.
- مجموعة من الأدوات الزجاجية المخبرية المختلفة.

3-2- المواد الكيميائية المستخدمة:

- حديد من النوع ST37 بتركيبية كيميائية:

Fe %	C %	Mn %	S %	P %
99.43-99.75	0.08	0.25-0.4	0.05	0.04

- حمض كلور الماء HCl بنقاوة (37%) من إنتاج شركة (BDH).

- حمض السالسيك $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{COOH}$ بنقاوة 99% من إنتاج شركة (chemLab).
- حمض الكبريت H_2SO_4 بنقاوة 98% من إنتاج شركة (BDH).
- إيتانول $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ بنقاوة 96% من إنتاج شركة (BDH).

3-3- طريقة العمل:

تمت معالجة قطع الحديد مسبقاً قبل التجارب عن طريق معالجة السطح باستخدام أوراق الصنفرة ومن ثم إخراج القطع وغسلها جيداً بالماء المقطر، ومن ثم النقع لمدة (30 min) في محلول لحمض الكبريت المركز، ومن ثم إخراج القطع وغسلها وتجفيفها بالمجفف الكهربائي.

تم تحضير محلول حمضي من حمض كلور الماء بتركيز (0.1M) HCl عن طريق تخفيف درجة الكاشف التحليلي (37%) حمض كلور الماء بإضافة الماء المقطر المزوج، كما حُضرت المحاليل المستخدمة في عملية الحماية وهي حمض السالسيك بتركيز (0.01M) بدورق سعة 100 ml، حيث تم إضافة 10 ml من الإيتانول لتمام الذوبان، وحمض البنزوثييك بتركيز (0.01M) بدورق سعة 100 ml.

3-4- قياسات فقدان الوزن:

بعد كشط الصفائح الفولاذية بأبعاد (0.1x2x4 cm) بدرجات مختلفة من أوراق الصنفرة، وغسلها جيداً بالماء المقطر، وإزالة الشحوم منها بالأسيتون، وتجفيفها وحفظها في مجفف. وبعد وزن الصفائح بدقة بواسطة ميزان رقمي ذو حساسية عالية، تم غمر العينات في محلول يحتوي على (0.1 M HCl) مع أو بدون تراكيز مختلفة من المثبط الذي تم فحصه، وفي نهاية الاختبارات تم إخراج العينات وغسلها بعناية في الإيثانول ثم تجفيفها ووزنها بدقة. وقت الغمر لفقدان الوزن هو (6h).

سمح فقدان الوزن بحساب متوسط معدل التآكل بـ $(mg.cm^{-2}.h^{-1})$.

تم حساب معدل التآكل CR وكفاءة التثبيط IE% بالمعادلات التالية:

$$CR = \frac{W_0 - W}{A \cdot t} \quad (1)$$

$$IE\% = \frac{CR_0 - CR}{CR_0} * 100 \quad (2)$$

ويتم حساب درجة التغطية لتراكيز مختلفة من المثبط باستخدام:

$$\theta = \frac{CR_0 - CR}{CR_0} = \frac{IE\%}{100} \quad (3)$$

- حيث W_0 و W : هي أوزان صفائح الحديد قبل وبعد التجارب (mg).
 A : المساحة السطحية الإجمالية للعينة (cm^2).
 t : هو وقت الغمر (h).
 CR_0 و CR : قيم معدل التآكل بغياب ووجود المثبط ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$).
4 - النتائج والمناقشة:

4-1 - دراسة تأثير نوع المثبط:

تم دراسة تأثير الزمن على سلوك التآكل للحديد بوجود وغياب المثبطات (حمض البنزويك، حمض الساليسيك) عند ثبات باقي الشروط (تركيز المثبط 0.01 M، زمن الغمر 72 h، درجة حرارة 40°C) وتمت المقارنة من خلال قياس فقدان الوزن.

الجدول (1) الفقدان في الوزن ومعدل التآكل في حال عدم وجود أي مثبط

Time (h)	W (mg)	CR ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	lnCR
0	13542.1		
6	13460	0.760	-0.274
12	13408.7	0.617	-0.482
24	13302.8	0.554	-0.591
36	13242.8	0.462	-0.772
48	13225.7	0.366	-1.004
60	13167.7	0.347	-1.059
72	13119.3	0.326	-1.120

الجدول (2) الفقدان في الوزن ومعدل التآكل وكفاءة التثبيط في حال حمض البنزويك بتركيز (0.01

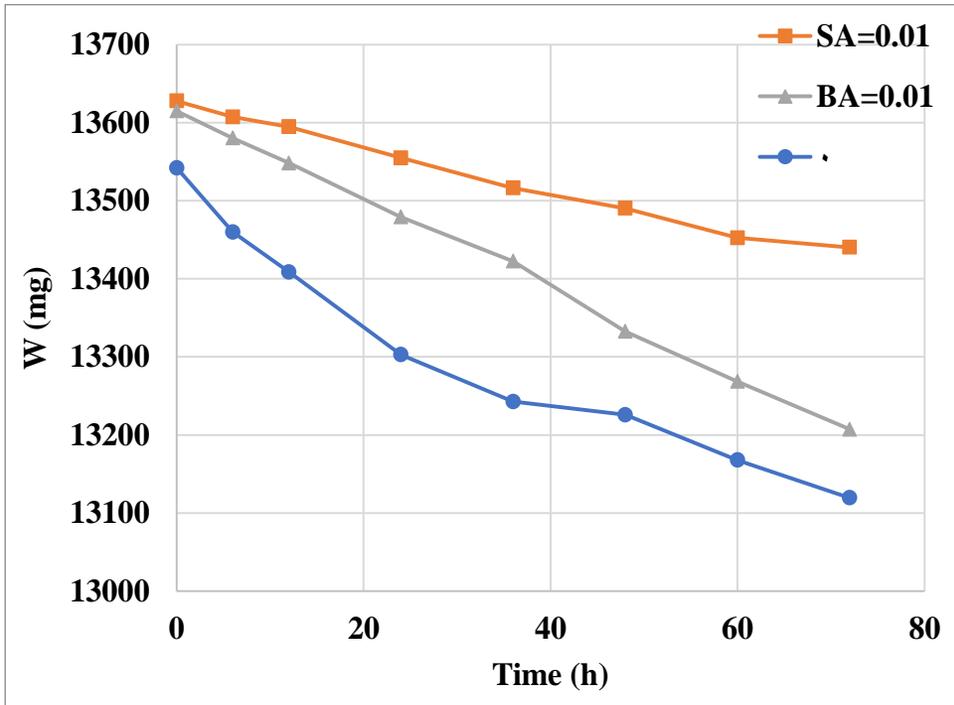
M) وعند درجة الحرارة (40°C):

Time (h)	W (mg)	CR (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	lnCR	Θ	IE%
0	13615.00				
6	13580.36	0.321	-1.137	57.804	0.578
12	13548.33	0.309	-1.175	50.002	0.500
24	13479.07	0.315	-1.156	43.184	0.432
36	13422.51	0.297	-1.214	35.692	0.357
48	13332.49	0.327	-1.118	10.717	0.107
60	13268.57	0.321	-1.137	7.472	0.075
72	13207.2	0.315	-1.156	3.539	0.035

الجدول (3) الفقدان في الوزن ومعدل التآكل وكفاءة التثبيط في حال وجود حمض الساليسيليك بتركيز

(0.01 M) وعند درجة الحرارة (40°C):

Time (h)	W (mg)	CR (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	lnCR	Θ	IE%
0	13627.9				
6	13607.5	0.189	-1.667	75.152	0.752
12	13594.78	0.153	-1.875	75.163	0.752
24	13554.98	0.169	-1.779	69.523	0.695
36	13516.4	0.172	-1.760	62.750	0.628
48	13490.23	0.159	-1.837	56.493	0.565
60	13452.48	0.162	-1.818	53.146	0.531
72	13440.3	0.145	-1.933	55.626	0.556



الشكل (1) يبين تغيرات الوزن خلال الزمن في الحالات الثلاث (غياب المثبط، وجود حمض البنزويك، وجود حمض السالسيك)

يلاحظ من الشكل (1) الانخفاض الكبير في قيمة الوزن في حال عدم وجود المثبط وهو ما دل عليه أيضاً قيمة معدل التآكل الكبيرة.

وبالمقارنة بين حمض السالسيك وحمض البنزويك يتبين أن حمض السالسيك قد ساهم بشكل أكبر في حماية الحديد من التآكل كما هو واضح من انخفاض الوزن الطفيف مقارنة بانخفاض الوزن الكبير في حالة حمض البنزويك.

كذلك عند مقارنة معدل التآكل تبين أنه أكبر في حالة حمض البنزويك. وبذلك نصل لنتيجة مفادها أن حمض السالسليك يعمل كمثبط أفضل من حمض البنزويك. لذا سيتم دراسته بالتفصيل عند درجات حرارة مختلفة وتركيز مختلفة.

4-2- دراسة تأثير تركيز المثبط:

من النتائج السابقة تبين أن لحمض السالسليك تأثير تثبيط جيد لذلك تم العمل على دراسة تراكيز مختلفة للوصول إلى أفضل كفاءة تثبيط حيث قمنا بدراسة التراكيز (0.015, 0.02, 0.025 M)

والنتائج التي تم التوصل إليها رتبنا في الجدول (4)، حيث يلاحظ تناقص واضح في معدل التآكل بزيادة تركيز المثبط المستخدم (حمض السالسليك) يقابله ازدياد في كفاءة التثبيط ونسبة تغطية السطح.

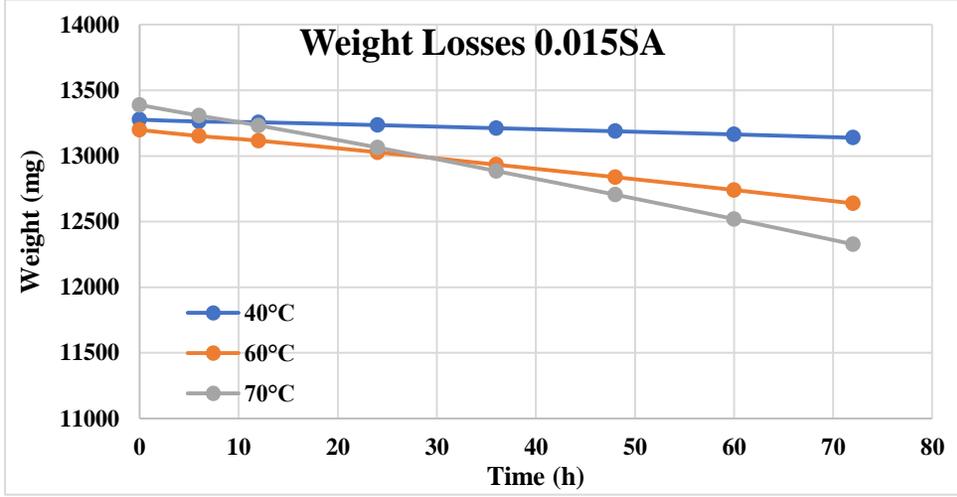
بلغت أعلى كفاءة للتثبيط (95.98 %) عند التركيز (0.025 M) من المثبط ويقابلها نسبة تغطية (0.9598) أي أن سطح المعدن مغطى تقريباً بالكامل بالمثبط، مما يمنع تآكل المعدن وتفاعله مع حمض كلور الماء.

الجدول (4) الفقدان في الوزن ومعدل التآكل وكفاءة التثبيط في حالة حمض السالسليك بتركيز (0.015, 0.02, 0.025 M) وعند درجة الحرارة (40 °C)

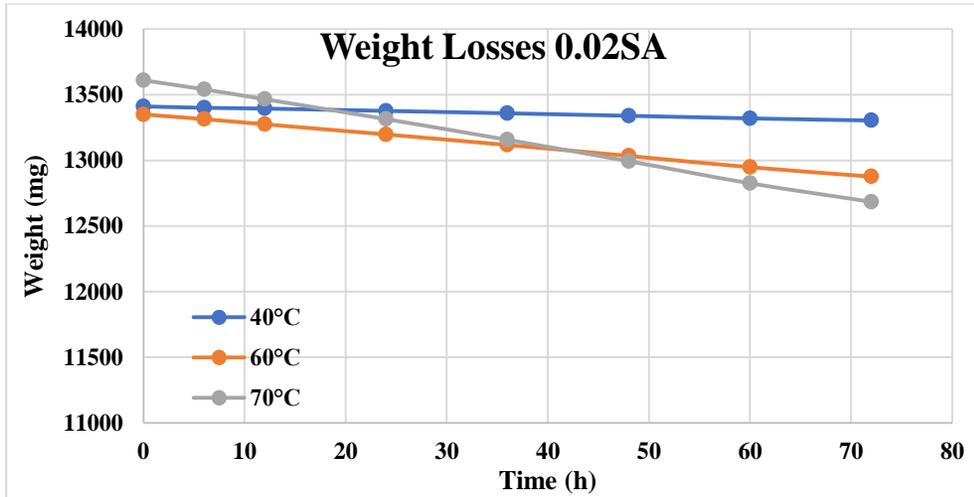
Conc.	Time (h)	W (mg)	CR (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	lnCR	Θ	IE%
0.015	0	13276.4				
	6	13262	0.133	-2.015	0.824	82.460
	12	13256.37	0.092	-2.377	0.849	84.976
	24	13234.76	0.096	-2.339	0.825	82.596
	36	13211.5	0.100	-2.301	0.783	78.316

	48	13188.19	0.102	-2.281	0.721	72.121
	60	13163.99	0.104	-2.262	0.699	69.977
	72	13138.9	0.106	-2.243	0.674	67.475
0.02	0	13411.2				
	6	13400	0.103	-2.266	0.863	86.358
	12	13394.23	0.078	-2.543	0.872	87.273
	24	13376.6	0.080	-2.524	0.855	85.538
	36	13358.29	0.081	-2.505	0.823	82.324
	48	13339.29	0.0832	-2.486	0.772	77.274
	60	13319.57	0.0848	-2.466	0.755	75.526
	72	13303.34	0.0832	-2.486	0.744	74.486
0.025	0	13641.3				
	6	13638	0.030	-3.488	0.959	95.980
	12	13635.84	0.025	-3.678	0.959	95.906
	24	13630.17	0.025	-3.658	0.953	95.348
	36	13624.28	0.026	-3.639	0.943	94.314
	48	13618.17	0.026	-3.620	0.926	92.689
	60	13611.83	0.027	-3.601	0.921	92.127
	72	13605.25	0.027	-3.582	0.914	91.471

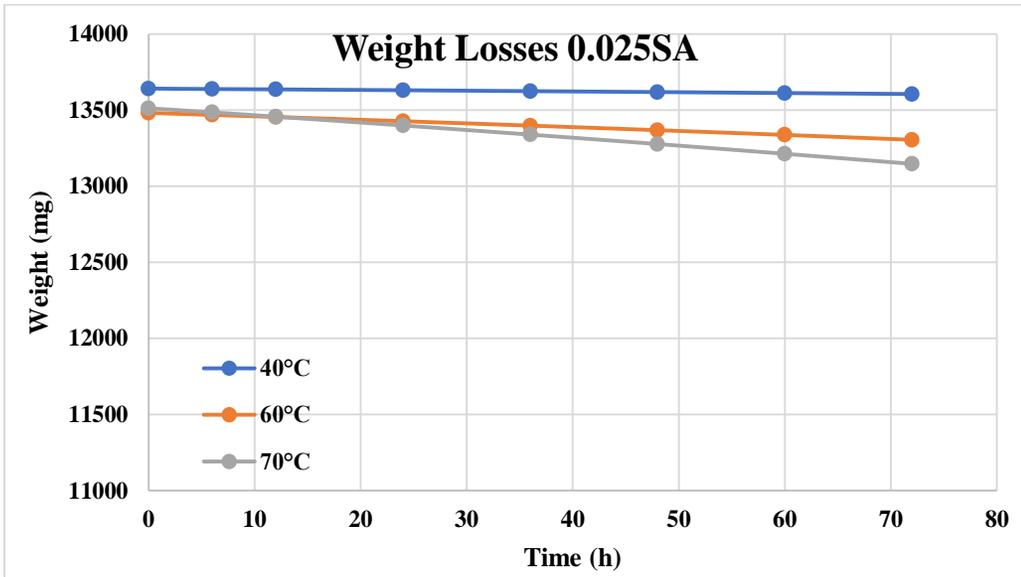
وفيما يلي المخططات البيانية للجداول السابقة.



الشكل (2) يبين تغيرات الوزن عند التركيز 0.015 M من حمض السالسليك بازدياد الزمن عند درجات حرارة (40, 60, 70 C⁰)



الشكل (3) يبين تغيرات الوزن عند التركيز 0.02 M من حمض السالسليك بازدياد الزمن عند درجات حرارة (40, 60, 70 C⁰)



الشكل (4) يبين تغيرات الوزن عند التركيز 0.025 M من حمض السالسليك بازدياد الزمن عند درجات حرارة (40, 60, 70 C⁰)

4-3- دراسة تأثير درجة الحرارة:

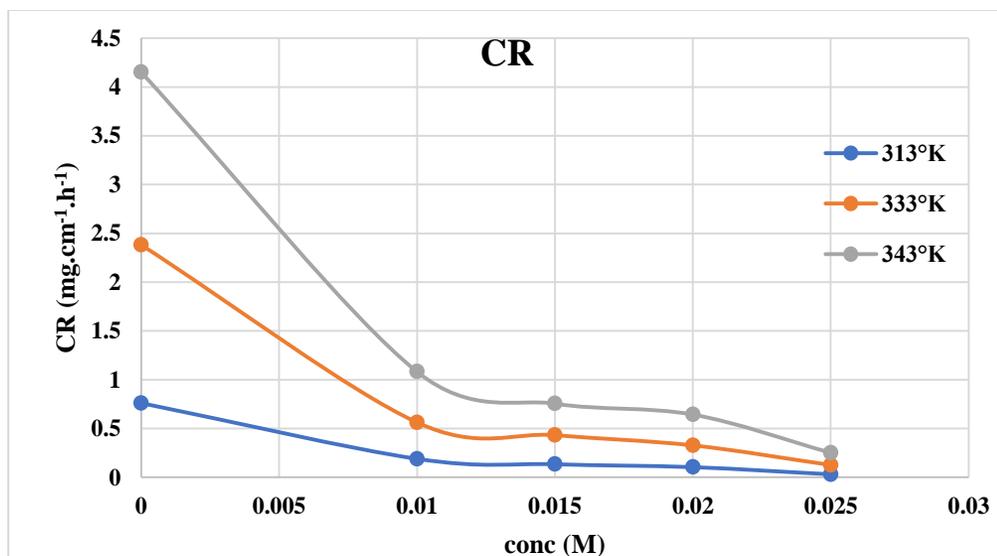
قمنا بدراسة كفاءة التثبيط لحمض السالسليك عند درجات حرارة (40-60-70 °C) وكان زمن الغمر

(6 hour)، رتبت النتائج في الجدول (5).

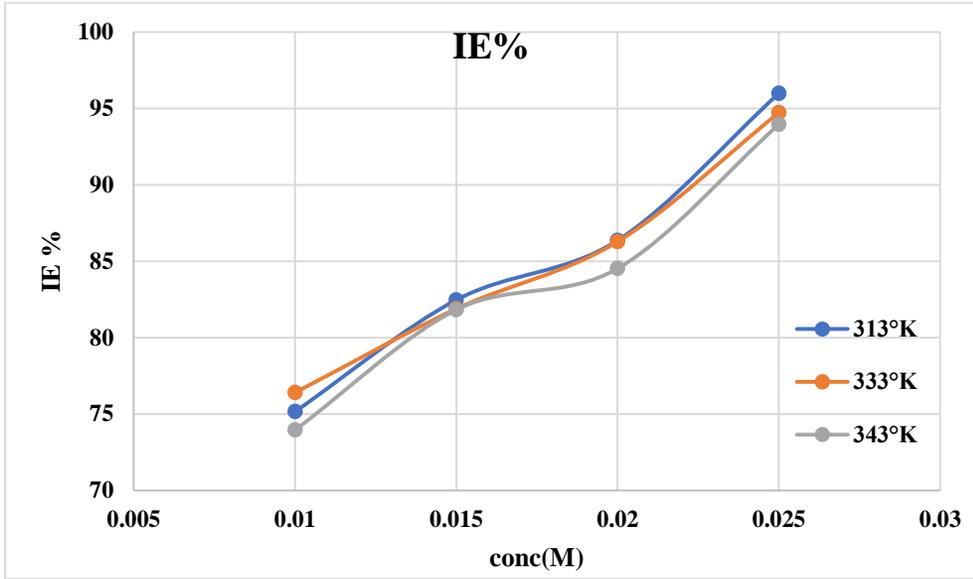
الجدول (5) معدل التآكل وكفاءة التثبيط في حالة حمض السالسيك بتركيز (0.025 M) عند درجات

الحرارة (40-60-70 °C)

SA(M)	40 °C		60 °C		70 °C	
	CR (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	IE%	CR (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	IE%	CR (mg.cm ⁻² .h ⁻¹)	IE%
0	0.760	0	2.381	0	4.150	0
0.01	0.188	75.152	0.562	76.399	1.081	73.946
0.015	0.133	82.460	0.431	81.881	0.754	81.820
0.02	0.103	86.358	0.322	86.275	0.642	84.515
0.025	0.030	95.980	0.125	94.712	0.251	93.946



الشكل (5) معدل التآكل بدلالة التركيز عند درجات حرارة (40,60,70 °C).



الشكل (6) كفاءة التنشيط بدلالة التركيز عند درجات الحرارة (40,60,70 °C).

4-4- الحسابات الترموديناميكية:

تم حساب معاملات التنشيط لعملية التآكل من معادلة آرينيوس [12]:

$$CR = A \exp\left(\frac{-Ea}{RT}\right), \quad \ln(CR) = \ln A - \frac{Ea}{RT} \quad (4)$$

حيث Ea: طاقة التنشيط.

R: ثابت الغازات (8.31434 J.mol⁻¹.k⁻¹).

A: هو عامل التردد (العامل ما قبل الأسّي).

كما يتم استخدام شكل بديل لمعادلة آرينيوس لحساب المحتوى الحراري وانتروبية التنشيط (وهي مشتقة من المعادلة الأساسية لآرينوس) [12]:

$$CR = \frac{RT}{Nh} \text{Exp} \left(\frac{\Delta S_a}{R} \right) \text{Exp} \left(\frac{-\Delta H_a}{RT} \right) \quad (5)$$

$$\ln \frac{CR}{T} = \ln \frac{R}{Nh} + \frac{\Delta S_a}{R} - \frac{\Delta H_a}{RT} \quad (6)$$

حيث CR: معدل التآكل.

N: عدد أفوكادرو ($6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$).

h: ثابت بلانك ($6.626 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$).

R: ثابت الغازات العام.

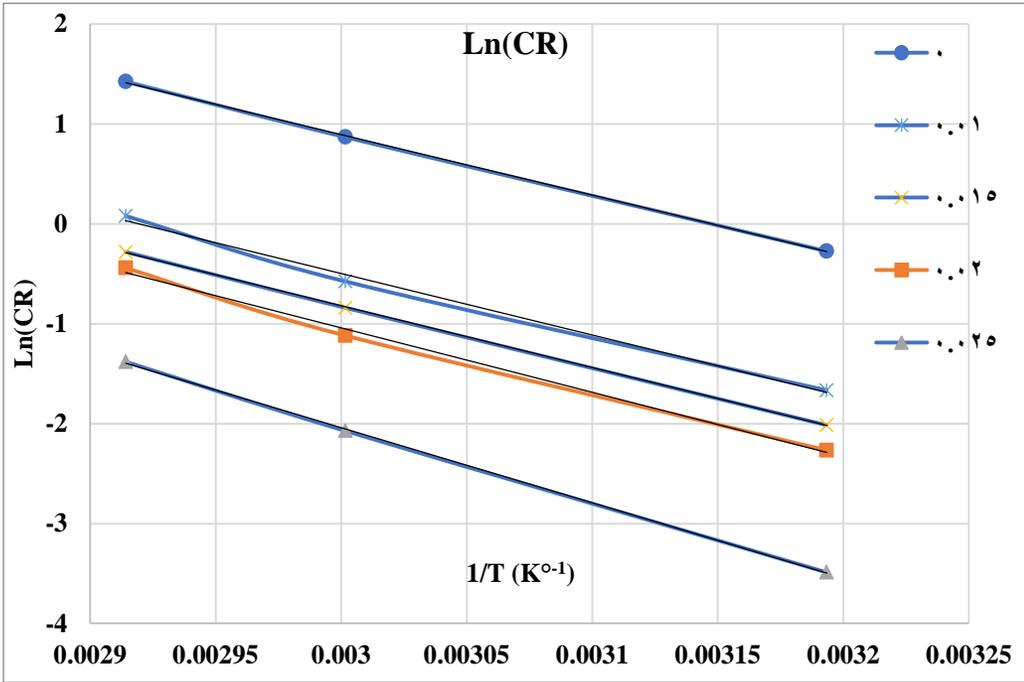
T: درجة الحرارة المطلقة.

ΔH_a : انتالبية التنشيط، ΔS_a : انتروبية التنشيط.

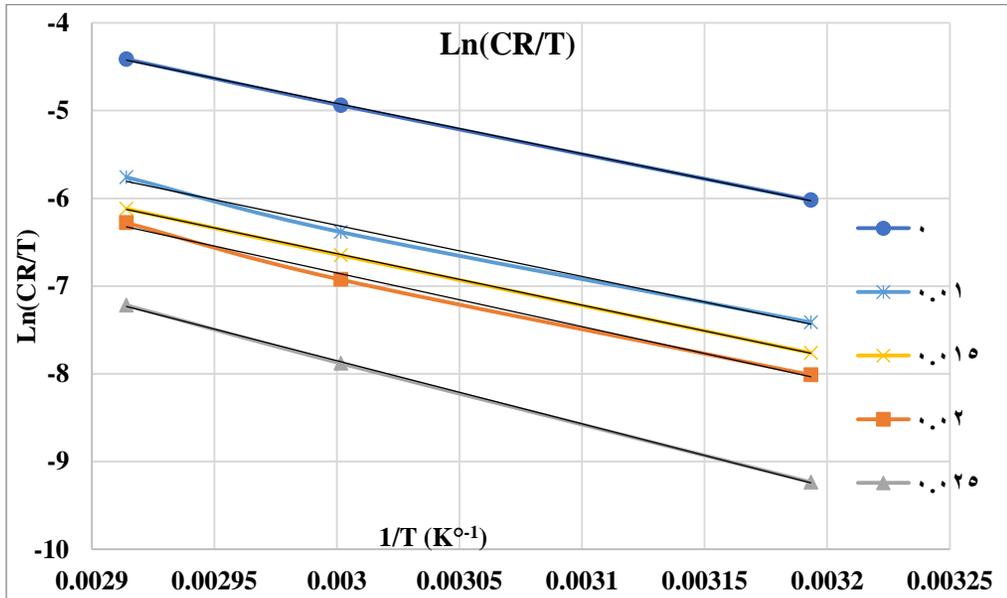
حيث تم الحصول على قيم انتالبية التنشيط وانتروبية التنشيط من معادلة الحالة الانتقالية (5).

تم رسم المخطط البياني لـ $\ln CR/T$ بدلالة $1/T$ لتآكل الفولاذ الكربوني في (0.01 M) HCl بغياب وجود تراكيز مختلفة من حمض السالسيك.

يتم الحصول من الخطوط المستقيمة على الميل ($-\frac{\Delta H_a}{R}$) ونقطة التقاطع ($\ln \frac{R}{N.h} + \frac{\Delta S_a}{R}$) والتي يتم من خلالها حساب قيم ΔH_a , ΔS_a (الجدول 6).



الشكل (7) مخططات آرينيوس عند تراكيز مختلفة من حمض الساليسليك



الشكل (8) مخططات الحالة الانتقالية لمعدلات تآكل الحديد ($\ln \frac{CR}{T}$) مقابل $\frac{1}{T}$ في HCl (0.1 M) عند تراكيز مختلفة من حمض الساليسليك.

الجدول (6) معاملات التنشيط لتآكل الحديد في HCl (0.1 M) عند تراكيز مختلفة من حمض

الساليك

Conc. (M)	E_a (kJ/mol)	ΔH_a (kJ/mol)	ΔS_a (J/mol K)	$E_a - \Delta H_a$ (kJ/mol)
0	-50.38	-47.6658	-95.42	-2.718
0.01	-51.20	-48.48	-104.53	-2.718
0.015	-51.51	-48.79	-106.29	-2.719
0.02	-53.58	-50.87	-101.90	-2.718
0.025	-62.53	-59.81	-63.43	-2.718

تشير هذه القيم إلى أن وجود حمض الساليك يزيد من طاقة التنشيط لتفاعل تآكل المعدن. من المفترض أن يحدث امتزاز المثبط في مواقع الطاقة الأعلى ويجب أن يرتبط وجود المثبط الذي يؤدي إلى حجب المواقع النشطة بزيادة طاقة التنشيط لتآكل الحديد في الحالة المثبطة [13]. يتم تفسير القيمة الأعلى لـ % E_a بوجود حمض الساليك مقارنة بتلك الموجودة في غيابه وانخفاض طاقة التنشيط % E_a مع ارتفاع درجة الحرارة على أنها مؤشر للامتزاز الفيزيائي [13,14].

ونتيجة لذلك فإن ازدياد تركيز حمض السالسلوك يؤدي إلى زيادة قيمة % Ea مما يشير إلى امتزاز قوي لجزيئات المثبط على سطح المعدن.

يلاحظ من الجدول حدوث انخفاض في قيمة الانتروبية بزيادة تركيز المثبط حيث تزداد عمليات الامتزاز على سطح الفولاذ، حتى نصل إلى التركيز (0.015 M) وبعدها تبدأ الانتروبية بالازدياد مما يدل على أن عدد كبير من الجزيئات لم يمتز على سطح الفولاذ وذلك نتيجة التغطية الكبيرة للسطح.

يمكن التأكد من دقة التجربة من خلال حساب الفارق الطاقي بين طاقة التنشيط وانتالبية التنشيط، حيث أن هذا الفارق الطاقي يجب أن يبقى ثابتاً ومتناسباً مع درجة الحرارة بما يتوافق مع العلاقة التالية:

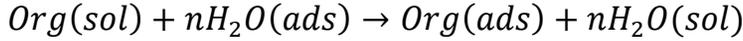
$$Ea - \Delta Ha = RT \quad (6)$$

5- ايزوترم الامتزاز:

يوفر ايزوترم الامتزاز معلومات حول تفاعل الجزيئات الممتزة مع سطح المعدن. يمكن التعبير عن امتزاز المركبات العضوية من خلال نوعين رئيسيين من التفاعلات: الامتزاز الفيزيائي والامتزاز الكيميائي.

هناك بعض العوامل التي تؤثر على عملية الامتزاز بما في ذلك طبيعة المعدن وشحنته، والمواد الكيميائية المثبطة، ووسط التآكل [15].

يمكن التعبير عن امتزاز المادة العضوية الممتزة عند السطح البيئي محلول معدن كعملية امتزاز بديلة بين الجزيئات العضوية في المحلول المائي $Org(sol)$ وجزيئات الماء على السطح المعدني $H_2O(ads)$ [16]:



حيث $Org(sol), Org(ads)$ هما المادة العضوية المذابة في المحلول المائي والممتزة على السطح المعدني على التوالي.

$H_2O(ads)$: يعبر عن جزيئات الماء الممتزة على السطح المعدني.

ووفقاً لهذا الايزوترم فإن التغطية السطحية θ ترتبط بتركيز المثبط بالعلاقة [17,18]:

$$\frac{C_{inh}}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C_{inh} \quad (7)$$

حيث K_{ads} : ثابت الامتزاز التوازني، C_{inh} : تركيز المثبط، θ : التغطية السطحية التي يتم حسابها من المعادلة (3).

يعطي تقاطع $\frac{C_{inh}}{\theta}$ مقابل C_{inh} خطاً مستقيماً كما هو موضح بالشكل (9). كما أن معاملات الانحدار الخطي (R^2) تساوي تقريباً (1) مما يشير إلى أن امتزاز حمض الساليسليك في 0.01 M حمض كلور الماء يتبع امتزاز لانغمير Langmuir ويظهر خاصية الامتزاز أحادي الطبقة.

تم حساب ثابت الامتزاز التوازني K_{ads} لامتزاز المركب عند درجات حرارة مختلفة من ميل الخطوط المستقيمة والمدرجة في الجدول (7).

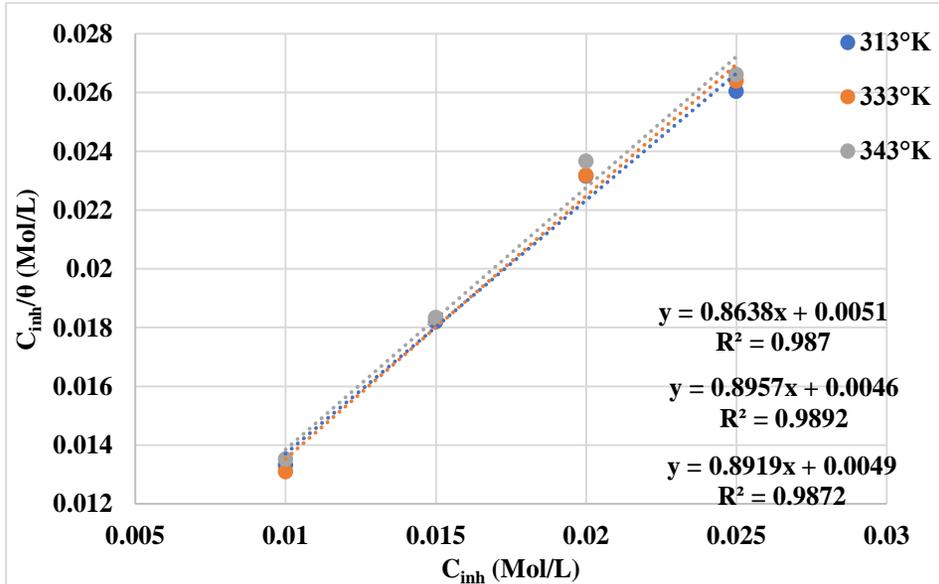
ويتبين من الشكل (9) أن معاملات الارتباط جيدة جداً وأن قيم K_{ads} تتناقص مع ازدياد درجة الحرارة. تعني القيم الكبيرة لـ K_{ads} كفاءة تثبيط أفضل للمثبط، أي تفاعل كهربائي قوي بين الطبقة المزدوجة الموجودة عند حدود الطور وجزيئات المثبط المتمتزة [19].

يرتبط K_{ads} بالطاقة الحرة للامتزاز ΔG_{ads}^0 بالمعادلة:

$$K_{ads} = \frac{1}{55.5} \text{Exp} \left(\frac{-\Delta G_{ads}^0}{RT} \right) \quad (8)$$

حيث 55.5 هي تركيز الماء المعبر عنه (mol/l).

يرد في الجدول (7) قيم (ΔG_{ads}^0) المحسوبة في جميع درجات الحرارة المدروسة.



الشكل (9) نموذج امتزاز لانجموير متساوي الحرارة لحمض السالسليك على سطح الحديد في 0.1 M

HCl عند درجات حرارة مختلفة.

الجدول (7) الثوابت الترموديناميكية لامتماز حمض السالسليك على الحديد

T (°K)	K _{ads} (L/mol)	ΔG_{ads}° (KJ/mol)	ΔH_{ads}° (kJ/mol)	ΔS_{ads}° (J/mol)
313	196.0784	-24.1995	-1.727	82.9204
333	217.3913	-26.0309		
343	204.0816	-26.632		

تتراوح قيم الطاقة الحرة القياسية المحسوبة لقيم الامتماز في مجال درجة الحرارة المدروسة بين

(-27, -24 kJ.mol⁻¹) وبالتالي يمكن أن نستنتج أن الامتماز هو فيزيائي - [20]

.22]

نلاحظ تناقص قيمة ΔS_{ads}^0 بمقدار (1.8 kJ/mol) عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار 20 درجة من الدرجة (313 K) الى (333K). ورافق ذلك ارتفاع قيمة ثابت الامتماز.

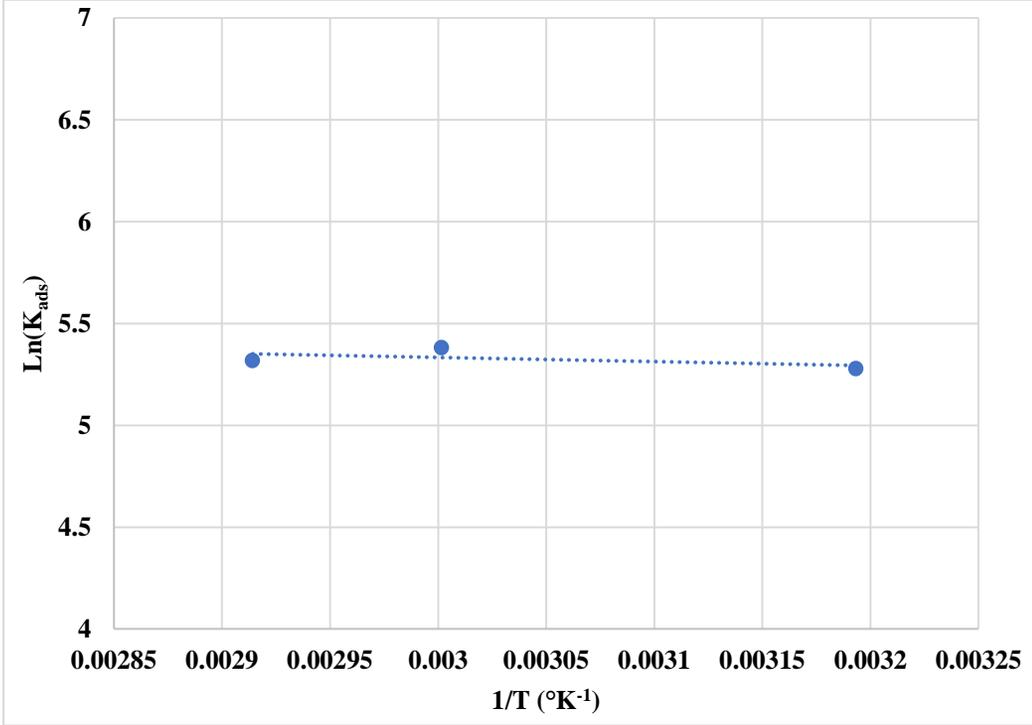
أما الارتفاع الثاني الموافق لارتفاع درجة الحرارة بمقدار 10 درجات من الدرجة (333K) حتى الدرجة (343 K) لم تتغير قيمة طاقة جيبس كثيراً (0.6 kJ/mol) وبالتالي تنخفض معه قيمة ثابت الامتماز.

انتالبية وانثروبية الامتماز ΔS_{ads}^0 , ΔH_{ads}^0 يتم حسابها باستخدام المعادلات التالية

. [23]

$$\Delta G_{ads}^0 = \Delta H_{ads}^0 - T\Delta S_{ads}^0 \quad (9)$$

$$\ln K_{ads} = -\frac{\Delta H_{ads}^0}{RT} + \frac{\Delta S_{ads}^0}{R} - \ln(55.5) \quad (10)$$



الشكل (10) تقاطع $\ln(k_{ads})$ مقابل $1/T$ لامتماز حمض السالسليك.

تمثل المنحنيات التي تم الحصول عليها ميل $(-\Delta H_{ads}^0/R)$ وتقاطع

$$(-\ln(55.5) + \Delta S_{ads}^0/R)$$

القيم المحسوبة لـ ΔS_{ads}^0 ، ΔH_{ads}^0 هي $(-1.727 , 82.9204 \text{ kJ.mol}^{-1} .\text{K}^{-1})$

على التوالي.

عملية الامتزاز الماصة للحرارة ($\Delta H_{ads}^0 > 0$) ناتجة عن الامتزاز الكيميائي في حين أن عملية الامتزاز الناشئة للحرارة ($\Delta H_{ads}^0 < 0$) ناتجة عن الامتزاز الكيميائي أو الامتزاز الفيزيائي أو خليط من الاثنين معاً.

عندما تكون عملية الامتزاز ناشئة للحرارة، يمكن تمييز الامتزاز الفيزيائي عن الامتزاز الكيميائي حسب القيمة المطلقة لـ ΔH_{ads}^0 .

بالنسبة لعملية الامتزاز الفيزيائي تكون عادة أقل من (-40 kJ.mol^{-1}) بينما تبلغ قيمته

حوالي

(-100 kJ.mol^{-1}) للامتزاز الكيميائي.

وبناءً على نتائج العمل الحالي المحسوبة للمثبطات ΔG_{ads}^0 و ΔH_{ads}^0 تظهر أن آلية الامتزاز فيزيائية تماماً وأن هناك امتزاز فيزيائي بين المثبط والسطح المعدني.

6- الخلاصة والتوصيات:

- أظهر حمض السالسليك أداءً جيداً في تثبيط التآكل للحديد في 0.1 M HCl.
- تزداد كفاءة التثبيط مع ازدياد تركيز حمض السالسليك ولكنها تقل مع زيادة درجة الحرارة.

- تم تقييم ومناقشة المعاملات الحركية. امتزاز حمض السالسليك على سطح الحديد في 0.1 M HCl يتبع نموذج الإيزوثرم لامتزاز Langmuir عند جميع درجات الحرارة المدروسة.
- قيم ΔG^0_{ads} سلبية مما يوحي بأن جزيئات هذا المثبط تم امتزازها بقوة على سطح الفولاذ الكربوني.
- القيم التي تم الحصول عليها تدعم آلية الامتزاز الفيزيائي.
- نوصي بالعمل على دراسة تأثير حمض السالسليك على أنواع أخرى من الحديد بنسب مختلفة من الكربون، بالإضافة إلى دراسة تأثيره على أنواع أخرى من المعادن مثل النحاس والألمنيوم....

-7 المراجع:

- [1] Yoo S-H, Kim Y-W, Chung K, et al. Corrosion Inhibition Properties of Triazine Derivatives Containing Carboxylic Acid and Amine Groups in 1.0 M HCl Solution. *Ind Eng Chem Res* 2013; 52: 10880–10889.
- [2] Alhaidar B, Reeshah F, Jammoal Y. The Possibility of Using Barley Grains Extract as an Acidic Corrosion Inhibitor for Carbon Steel. *Baghdad Sci J* 2024; 21: 1306.
- [3] Amin MA, Abd El-Rehim SS, El-Sherbini EEF, et al. The inhibition of low carbon steel corrosion in hydrochloric acid solutions by succinic acid. *Electrochim Acta* 2007; 52: 3588–3600.
- [4] G. C, F. A. Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications. In: *Developments in Corrosion Protection*. InTech. Epub ahead of print 20 February 2014. DOI: 10.5772/57255.
- [5] Al-Amiery AA, Isahak WNRW, Al-Azzawi WK. Corrosion Inhibitors: Natural and Synthetic Organic Inhibitors. *Lubricants* 2023; 11: 174.
- [6] Loto RT. Surface coverage and corrosion inhibition effect of Rosmarinus officinalis and zinc oxide on the electrochemical performance of low carbon steel in dilute acid solutions. *Results Phys* 2018; 8: 172–179.
- [7] Hamadi L, Mansouri S, Oulmi K, et al. The use of amino acids as corrosion inhibitors for metals: A review. *Egypt J Pet* 2018; 27: 1157–1165.
- [8] Boisier G, Lamure A, Pébère N, et al. Corrosion protection of AA2024 sealed anodic layers using the hydrophobic properties of carboxylic acids. *Surf Coatings Technol* 2009; 203: 3420–3426.
- [9] Kuznetsov YI, Ibatullin KA. On the Inhibition of the Carbon Dioxide Corrosion of Steel by Carboxylic Acids. *Prot Met* 2002; 38: 439–444.
- [10] Rajendran S, Apparao BV, Palaniswamy N. Corrosion inhibition by

- phosphonic acid –Zn 2+ systems for mild steel in chloride medium. *Anti-Corrosion Methods Mater* 2000; 47: 359–365.
- [11] Almobarak NA, El-Naggar MM, Al-Mufraj RS, et al. Carboxylic Acids: Pitting Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Alkaline Medium and in the Presence of Chlorides. *Chem Technol Fuels Oils* 2014; 50: 170–178.
- [12] Zarrok H, Zarrouk A, Salghi R, et al. Corrosion Inhibition of C38 Steel in Acidic Medium Using N-1 Naphthylethylenediamine Dihydrochloride Monomethanolate. *Int J Electrochem Sci* 2013; 8: 6014–6032.
- [13] Schmitt G. Application of Inhibitors for Acid Media: Report prepared for the European Federation of Corrosion Working Party on Inhibitors. *Br Corros J* 1984; 19: 165–176.
- [14] Durnie W, De Marco R, Jefferson A, et al. Development of a Structure- Activity Relationship for Oil Field Corrosion Inhibitors. *J Electrochem Soc* 1999; 146: 1751–1756.
- [15] Oguzie EE, Okolue BN, Ebenso EE, et al. Evaluation of the inhibitory effect of methylene blue dye on the corrosion of aluminium in hydrochloric acid. *Mater Chem Phys* 2004; 87: 394–401.
- [16] Li X, Tang L. Synergistic inhibition between OP and NaCl on the corrosion of cold-rolled steel in phosphoric acid. *Mater Chem Phys* 2005; 90: 286–297.
- [17] Li X, Mu G. Tween-40 as corrosion inhibitor for cold rolled steel in sulphuric acid: Weight loss study, electrochemical characterization, and AFM. *Appl Surf Sci* 2005; 252: 1254–1265.
- [18] Schorr M, Yahalom J. The significance of the energy of activation for the dissolution reaction of metal in acids. *Corros Sci* 1972; 12: 867–868.
- [19] Tao Z, Zhang S, Li W, et al. Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by some oxo-triazole derivatives. *Corros Sci* 2009; 51: 2588–2595.

- [20] Fouda AS, El-Aal AA, Kandil AB. The effect of some phthalimide derivatives on corrosion behavior of copper in nitric acid. *Desalination* 2006; 201: 216–223.
- [21] Umoren SA, Obot IB, Ebenso EE. Corrosion Inhibition of Aluminium Using Exudate Gum from *Pachylobus edulis* in the Presence of Halide Ions in HCl. *E-Journal Chem* 2008; 5: 355–364.
- [22] Umoren SA, Ebenso EE. The synergistic effect of polyacrylamide and iodide ions on the corrosion inhibition of mild steel in H₂SO₄. *Mater Chem Phys* 2007; 106: 387–393.
- [23] Zarrouk A, Hammouti B, Zarrok H, et al. Thermodynamic study of metal corrosion and inhibitor adsorption processes in copper/N-1-naphthylethylenediamine dihydrochloride monomethanolate/nitric acid system: part 2. *Res Chem Intermed* 2012; 38: 1655–1668.

حلقة الإندومورفيزمات المنتظمة

إيمان الخوجة¹ حمزة حاكمي² رنيم الجندي³

الملخص

يعد مفهوم الانتظام بحسب مفهوم فون نيومان، من المفاهيم المهمة في نظرية الحلقات والمودولات. حيث إن مفهوم الانتظام لعناصر الحلقة مرتبط بشكل وثيق بالعناصر الجامدة في هذه الحلقة، حيث إن كل عنصر جامد هو عنصر منتظم وأن كل عنصر منتظم يولد عنصر جامد في الحلقة.

ونظراً لأهمية مفهوم انتظام حلقة الإندومورفيومات لمودول ما، وجدنا أنه من المفيد دراسة بنية المثاليات الرئيسية اليمينية (اليسارية) لحلقة الإندومورفيزمات للمودول. ولهذا السبب درسنا في هذه الورقة العلمية عدد من الشروط اللازمة والكافية كي تكون حلقة الإندومورفيزمات لمودول ما، حلقة منتظمة وقد حصلنا على شروط مكافئة عديدة وجديدة كي تكون حلقة الإندومورفيزمات لمودول ما، حلقة منتظمة. نذكر منها على سبيل المثال أن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة S منتظمة هو أن يكون كل من $Im(1-\alpha)$ و $Ker(1-\alpha)$ حد مباشر في M ، وذلك لأجل كل عنصر $\alpha \in S$. والذي يكافئ بدوره أن كل من $Im(\alpha)$ و $Ker(1-\alpha)$ حد مباشر في M ، وذلك لأجل كل عنصر $\alpha \in S$. إضافة إلى عدد من الشروط المكافئة الأخرى لهذا الشرط. فضلاً عن ذلك، أثبتنا أن الحلقة S منتظمة عندما وفقط عندما لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ يوجد عنصر $\beta \in S$ بحيث إن $\alpha S \cap (1-\alpha\beta)S = 0$. والذي يكافئ بدوره أنه لأجل كل $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $Im(\alpha) \cap Im(1-\alpha\beta) = 0$.

الكلمات المفتاحية: العنصر الجامد، العنصر المنتظم، الحلقة المنتظمة.

رقم التصنيف العالمي للعام 2020: 16D10, 16D40, 16D80, 16D90

¹ أستاذ مساعد قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة البعث.

² أستاذ قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة دمشق.

³ طالب دراسات عليا قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة البعث.

Regular Endomorphism Rings

Eaman Al-Khouja¹ Hamza Hakmi² Raneem Al-Jendi³

Abstract

The concept of regularity in the sense Von Neumann it is one of the important concepts in theory rings and modules. The concept of regularity to elements of ring has a strong relation with the idempotents elements of this ring, where every idempotent element is regular element and every regular element generate an idempotent element, in any ring.

Conceder to the importance of the regularity of endomorphisms ring of some module, we find that it is good studying the structure of right (left) principal ideals of endomorphism ring of module. For this reason we study in this scientific paper a lot of necessary and sufficient conditions, to be the endomorphisms ring for some module is regular ring. Where we have obtain of many and new equivalently conditions to be the endomorphism ring for some module is regular ring.

We mention from, the endomorphism ring of a module M is regular if and only if $Im(1-\alpha)$ and $Ker(1-\alpha)$ are a direct summands of a module M , for every endomorphism α of M . In addition to that, we obtain of many conditions equivalently of this condition. Also, we proved that if S is the endomorphism ring of some module M , then S is regular if and only if for every element $\alpha \in S$ there exists $\beta \in S$ such that $\alpha S \cap (1-\alpha\beta)S = 0$, which is equivalent with the condition for every element $\alpha \in S$ there exists $\beta \in S$ such that $Im(\alpha) \cap Im(1-\alpha\beta) = 0$.

Key Words: Idempotent element, Regular element, Regular ring.

2020 Mathematical Subject Classification: 16D10,16D40,16D80,16D90.

¹ Professor, Department of Mathematics Al-Baath University.

² Professor, Department of Mathematics Damascus University.

³ Department of Mathematics Al-Baath University.

المقدمة.

لقد ثبت في كثير من الحالات الأهمية الكبرى لمفهوم الانتظام بحسب مفهوم فون نيومان في نظرية الحلقات والمودولات. حيث إن مفهوم الانتظام لعناصر الحلقة مرتبط بشكل وثيق بالعناصر الجامدة في هذه الحلقة، حيث إن كل عنصر جامد هو عنصر منتظم وأن كل عنصر منتظم يولد عنصر جامد في الحلقة.

إضافة لذلك، إن مفهوم الانتظام يربط لنا بين المودول وحلقة الإندومورفيزمات له، حيث إن الشرط اللازم والكافي كي تكون حلقة الإندومورفيزمات $S = \text{End}_R(M)$ لمودول M فوق حلقة R ، حلقة منتظمة هو أن يكون كل من $\text{Im}(\alpha)$ و $\text{Ker}(\alpha)$ حد مباشر في M ، وذلك لأجل كل $\alpha \in S$.

ومن جهة أخرى، توجد علاقة وثيقة بين المثاليات الرئيسية اليمينية (اليسارية) في حلقة الإندومورفيزمات لمودول ما وبين المودولات الجزئية لهذا المودول، وذلك من خلال مفهوم الانتظام.

فضلاً عن ذلك، إن مفهوم الانتظام يعد واحداً من المفاهيم التي تربط بين الحلقة والمودولات فوق هذه الحلقة، وحلقة الإندومورفيزمات لهذه المودولات. حيث أثبت R. Ware في [7]، أن الشرط اللازم والكافي كي تكون حلقة ما نصف بسيطة هو أن تملك مودولاً حراً غير منتهي التوليد، حلقة الإندومورفيزمات له حلقة منتظمة.

ونظراً لأهمية مفهوم انتظام حلقة الإندومورفيزمات لمودول ما، وجدنا أنه من المفيد دراسة بنية المثاليات الرئيسية اليمينية (اليسارية) لحلقة الإندومورفيزمات للمودول. ولهذا السبب درسنا في هذه الورقة العلمية عدد من الشروط اللازمة والكافية كي تكون حلقة الإندومورفيزمات لمودول ما، حلقة منتظمة وقد حصلنا على شروط مكافئة عديدة وجديدة كي تكون حلقة الإندومورفيزمات لمودول ما، حلقة منتظمة.

الهدف من البحث.

الهدف من هذا البحث هو دراسة بنية حلقة الإندومورفيزمات $S = \text{End}_R(M)$ لمودول M فوق حلقة R ، وبالتحديد دراسة بنية المثاليات الرئيسية اليسارية (اليمينية) في الحلقة S ، كي تكون الحلقة S منتظمة وبالعكس. حيث تم التوصل إلى عدد من الشروط اللازمة والكافية التي يجب أن تحققها المثاليات الرئيسية اليسارية (اليمينية) في الحلقة S ، كي تكون حلقة منتظمة. فضلاً عن ذلك، تم التوصل إلى عدد من الشروط اللازمة والكافية التي يجب أن تحققها بعض المودولات الجزئية في المودول M ، كي تكون الحلقة S منتظمة. حيث تم إثبات أن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة S منتظمة هو أن يكون كل من $\text{Im}(1-\alpha)$ و $\text{Ker}(1-\alpha)$ حد مباشر في M ، وذلك لأجل كل عنصر $\alpha \in S$. إضافة إلى عدد من الشروط المكافئة الأخرى لهذا الشرط.

1 - الدراسة المرجعية.

جميع الحلقات R التي سندرسها هي حلقات واحدة فيها $1 \neq 0$ والمودولات فوق هذه الحلقات هي مودولات يمينية. لأجل أي مودول M فوق حلقة R سنرمز لحلقة الإندومورفيزمات للمودول M بالشكل $S = \text{End}_R(M)$. ليكن M_R, N_R مودولين فوق حلقة R . لنفرض أن $E_M = \text{End}_R(M)$ و $E_N = \text{End}_R(N)$ ، لنفرض أيضاً أن:

$$[M, N] = \text{Hom}_R(M, N)$$

إن المجموعة $[M, N]$ تشكل زمرة جمعية تبديلية وهذه الزمرة تشكل مودولاً يسارياً فوق الحلقة E_N وتشكل أيضاً مودولاً يمينياً فوق الحلقة E_M ، لذلك فإن الزمرة $[M, N]$ هي (E_N, E_M) -مودول ثنائي، [4].

تمهيدية 1-1 [3].

ليكن M_R, N_R مودولين فوق حلقة R . عندئذ أياً كان $\alpha \in [M, N]$ فإن:

$$1 - \text{ المجموعة } \alpha[N, M] = \{\alpha\beta : \beta \in [N, M]\} \text{ تشكل مثالياً يمينياً في الحلقة } E_N.$$

2 - المجموعة $\alpha = \{\beta\alpha : \beta \in [N, M]\}$ تشكل مثالياً يسارياً في الحلقة E_M .
 1-2. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $a \in R$ إنه منتظم إذا وجد عنصر $b \in R$ يحقق $a = aba$. ونقول عن الحلقة R إنها منتظمة إذا كانت جميع عناصرها منتظمة، [2].

1-3. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $e \in R$ إنه جامد إذا كان $e^2 = e$ ، [6].

1-4. ليكن M, N مودولين فوق حلقة R . نقول عن العنصر $\alpha \in [M, N]$ إنه منتظم إذا وجد عنصر $\beta \in [N, M]$ بحيث إن $\alpha = \alpha\beta\alpha$ ، ونقول عن المودول $[M, N]$ إنه منتظم إذا كان كل عنصر $\alpha \in [M, N]$ هو عنصر منتظم، [1].

مبرهنة 1-5 [5].

ليكن M_R, N_R مودولين فوق حلقة R ، عندئذ لأجل أي عنصر $\alpha \in [M, N]$.
 الشرطان الآتيان متكافئان:

- 1 - العنصر $\alpha \in [M, N]$ منتظم.
- 2 - $Im(\alpha)$ هو حد مباشر في N و $Ker(\alpha)$ هو حد مباشر في M .

نتيجة 1-6 [5].

ليكن M_R مودولاً وليكن $\alpha \in S = End_R(M)$. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:
 1 - يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $\alpha = \alpha\beta\alpha$.
 2 - كل من $Im(\alpha)$ ، $Ker(\alpha)$ هو حد مباشر في M .

مبرهنة 1-7 [7].

ليكن M_R مودولاً وليكن $S = End_R(M)$. عندئذ الشرطان الآتيان متكافئان:
 1 - الحلقة S منتظمة.
 2 - لأجل كل $\alpha \in S$ ، كلاً من $Im(\alpha)$ ، $Ker(\alpha)$ هو حد مباشر في M .

الدراسة البحثية.

2 - حلقة الإندومورفيزمات لمودول.

تمهيدية 1-2.

ليكن M, N مودولين فوق حلقة R . لأجل كل من $\alpha \in [M, N]$ و $\beta \in [N, M]$ القضايا الآتية صحيحة:

$$. N = Im(\alpha) + Im(1_N - \alpha\beta) - 1$$

$$. M = Im(\beta) + Im(1_M - \beta\alpha) - 2$$

$$. Im(\alpha - \alpha\beta\alpha) = Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta) - 3$$

$$. Ker(\alpha) \cap Ker(1_M - \beta\alpha) = 0 - 4$$

$$. Ker(\alpha - \alpha\beta\alpha) = Ker(\alpha) + Ker(1_M - \beta\alpha) - 5$$

البرهان.

لما كان $\alpha \in [M, N]$ و $\beta \in [N, M]$ ، عندئذ فإن $\alpha\beta \in E_N$ وأن $\beta\alpha \in E_M$.

1 - لما كان $1_N = \alpha\beta + (1_N - \alpha\beta)$ ، عندئذ أيّاً كان $m \in N$ فإن:

$$m = \alpha\beta(m) + (1_N - \alpha\beta)(m) \in Im(\alpha) + Im(1_N - \alpha\beta)$$

ومنه فإن $N \subseteq Im(\alpha) + Im(1_N - \alpha\beta) \subseteq N$ وهذا يبين أن:

$$N = Im(\alpha) + Im(1_N - \alpha\beta)$$

2 - يبرهن بطريقة مشابهة كما في (1).

3 - ليكن $x \in Im(\alpha - \alpha\beta\alpha)$ ، عندئذ يوجد $y \in M$ بحيث $x = (\alpha - \alpha\beta\alpha)(y)$ ،

ومنه فإن $x = (\alpha - \alpha\beta\alpha)(y) = \alpha(1_N - \beta\alpha)(y) \in Im(\alpha)$ وبالتالي يكون:

$$x = (\alpha - \alpha\beta\alpha)(y) = (1_N - \alpha\beta)\alpha(y) \in Im(1_N - \alpha\beta)$$

ومنه فإن $Im(\alpha - \alpha\beta\alpha) \subseteq Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta)$

ليكن $m \in Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta)$ ، عندئذ يوجد $m_1 \in M$ و $m_2 \in N$ بحيث:

$$m = \alpha(m_1) = (1_N - \alpha\beta)(m_2)$$

ومنه فإن $\alpha(m_1) = m_2 - \alpha\beta(m_2)$ وبالتالي فإن $\alpha(m_1) + \alpha\beta(m_2) = m_2$ وهكذا

$$\text{نجد أن } m_2 = \alpha(m_1 + \beta(m_2)).$$

لنفرض أن $m_0 = m_1 + \beta(m_2)$ ، فنجد أن $m_2 = \alpha(m_0)$ ومنه نجد أن:

$$\begin{aligned} m &= (1_N - \alpha\beta)(m_2) = (1_N - \alpha\beta)(\alpha(m_0)) = \\ &= (\alpha - \alpha\beta\alpha)(m_0) \in \text{Im}(\alpha - \alpha\beta\alpha) \end{aligned}$$

وهكذا فإن $\text{Im}(\alpha) \cap \text{Im}(1_N - \alpha\beta) \subseteq \text{Im}(\alpha - \alpha\beta\alpha)$. مما سبق نجد أن:

$$\text{Im}(\alpha - \alpha\beta\alpha) = \text{Im}(\alpha) \cap \text{Im}(1_N - \alpha\beta)$$

4 - ليكن $y \in \text{Ker}(\alpha) \cap \text{Ker}(1_M - \beta\alpha)$ ، عندئذ فإن $y \in M$ كما أن:

$$\alpha(y) = 0 \text{ و } (1_M - \beta\alpha)(y) = 0$$

ومنه فإن $y = \beta\alpha(y) = \beta(0) = 0$ وبالتالي $\text{Ker}(\alpha) \cap \text{Ker}(1_M - \beta\alpha) = 0$.

5 - ليكن $x \in \text{Ker}(\alpha)$ ، عندئذ فإن $x \in M$ وأن $\alpha(x) = 0$ ومنه فإن:

$$(\alpha - \alpha\beta\alpha)(x) = (1_N - \alpha\beta)\alpha(x) = (1_N - \alpha\beta)(0) = 0$$

ومنه فإن $x \in \text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha)$ ، وبالتالي فإن $\text{Ker}(\alpha) \subseteq \text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha)$.

ليكن $y \in \text{Ker}(1_M - \beta\alpha)$ ، عندئذ فإن $\text{Ker}(1_M - \beta\alpha)(y) = 0$ ، ومنه فإن:

$$(\alpha - \alpha\beta\alpha)(y) = \alpha(1_M - \beta\alpha)(y) = \alpha(0) = 0$$

ومنه $y \in \text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha)$. وهكذا نجد أن $\text{Ker}(1_M - \beta\alpha) \subseteq \text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha)$.

مما سبق نجد أن $\text{Ker}(\alpha) + \text{Ker}(1_M - \beta\alpha) \subseteq \text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha)$.

ليكن $y \in \text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha)$ ، عندئذ $y \in M$ وأن $\text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha)(y) = 0$ ، ومنه

نجد أن $\alpha(1_M - \beta\alpha)(y) = 0$ وبالتالي فإن $(1_M - \beta\alpha)(y) \in \text{Ker}(\alpha)$ ومنه يوجد

$$y_0 \in \text{Ker}(\alpha) \text{ بحيث } y - \beta\alpha(y) = y_0 \text{، وهذا يبين أن } y = y_0 + \beta\alpha(y).$$

فضلاً عن ذلك، إن:

$$(1_M - \beta\alpha)\beta\alpha(y) = (\beta\alpha - \beta\alpha\beta\alpha)(y) = \beta(\alpha - \alpha\beta\alpha)(y) = \beta(0) = 0$$

ومنه فإن $\beta\alpha(y) \in \text{Ker}(1_M - \beta\alpha)$ ، ومنه نجد أن:

$$y = y_0 + \beta\alpha(y) \in \text{Ker}(\alpha) + \text{Ker}(1_M - \beta\alpha)$$

وبالتالي فإن $\text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha) \subseteq \text{Ker}(\alpha) + \text{Ker}(1_M - \beta\alpha)$ ، وهكذا نجد أن:

$$\text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha) = \text{Ker}(\alpha) + \text{Ker}(1_M - \beta\alpha)$$

وهو المطلوب.

اعتماداً على التمهيدية (1-2) يمكننا صياغة النتيجة الآتية:

نتيجة 2-2.

ليكن M مودولاً فوق حلقة R . عندئذ لأجل أي عنصرين $\alpha, \beta \in S = \text{End}_R(M)$

القضايا الآتية صحيحة:

$$. M = \text{Im}(\alpha) + \text{Im}(1 - \alpha\beta) \quad - 1$$

$$. \text{Im}(\alpha - \alpha\beta\alpha) = \text{Im}(\alpha) \cap \text{Im}(1 - \alpha\beta) \quad - 2$$

$$. \text{Ker}(\alpha) \cap \text{Ker}(1 - \beta\alpha) = 0 \quad - 3$$

$$. \text{Ker}(\alpha - \alpha\beta\alpha) = \text{Ker}(\alpha) + \text{Ker}(1 - \beta\alpha) \quad - 4$$

تمهيدية 3-2.

ليكن M, N مودولين فوق حلقة R . لأجل كل من $\alpha \in [M, N]$ و $\beta \in [N, M]$

القضايا الآتية صحيحة:

$$. E_N = \alpha[N, M] + (1_N - \alpha\beta)E_N \quad - 1$$

$$. (\alpha - \alpha\beta\alpha)[N, M] = \alpha[N, M] \cap (1_N - \alpha\beta)E_N \quad - 2$$

$$. [M, N] = \alpha E_M + (1_N - \alpha\beta)[M, N] \quad - 3$$

البرهان.

لما كان $\alpha \in [M, N]$ و $\beta \in [N, M]$ ، عندئذ فإن $\alpha\beta \in E_N$ وأن $\beta\alpha \in E_M$.

1 - لما كان $\alpha\beta \in E_N$ فإن $1_N = \alpha\beta + (1_N - \alpha\beta)$ ، ومنه فإن:

$$1_N \in \alpha[N, M] + (1_N - \alpha\beta)E_N$$

وهذا يبين أن $E_N \subseteq \alpha[N, M] + (1_N - \alpha\beta)E_N \subseteq E_N$ وهكذا فإن:

$$E_N = \alpha[N, M] + (1_N - \alpha\beta)E_N$$

2 - أيًا كان $\mu \in [N, M]$ فإن:

$$(\alpha - \alpha\beta\alpha)\mu = \alpha(1_M - \beta\alpha)\mu \in \alpha[N, M]$$

$$(\alpha - \alpha\beta\alpha)\mu = \alpha\mu - \alpha\beta\alpha\mu = (1_N - \alpha\beta)\alpha\mu \in (1_N - \alpha\beta)E_N$$

ومنه فإن:

$$(\alpha - \alpha\beta\alpha)[N, M] \subseteq \alpha[N, M] \cap (1_N - \alpha\beta)E_N$$

ليكن $\lambda \in \alpha[N, M] \cap (1_N - \alpha\beta)E_N$ ، عندئذ $\lambda \in E_N$ ، فضلاً عن ذلك، يوجد

$\lambda_1 \in [N, M]$ و $\lambda_2 \in E_N$ بحيث إن $\lambda = \alpha\lambda_1 = (1_N - \alpha\beta)\lambda_2$ وبالتالي يكون:

$$\lambda_2 = \alpha\lambda_1 + \alpha\beta\lambda_2 = \alpha(\lambda_1 + \beta\lambda_2)$$

لنفرض أن $\lambda_0 = \lambda_1 + \beta\lambda_2 \in [N, M]$ ، عندئذ $\lambda_2 = \alpha(\lambda_1 + \beta\lambda_2) = \alpha\lambda_0$ ومنه

نجد أن:

$$\lambda = (1_N - \alpha\beta)\lambda_2 = \alpha\lambda_0 = (\alpha - \alpha\beta\alpha)\lambda_0 \in (\alpha - \alpha\beta\alpha)[N, M]$$

ومنه فإن $\alpha[N, M] \cap (1_N - \alpha\beta)E_N \subseteq (\alpha - \alpha\beta\alpha)[N, M]$. مما سبق نجد أن:

$$(\alpha - \alpha\beta\alpha)[N, M] = \alpha[N, M] \cap (1_N - \alpha\beta)E_N$$

3 - لما كان $\alpha\beta \in E_N$ فإن $1_N = \alpha\beta + (1_N - \alpha\beta)$ ، ومنه أيًا كان $\mu \in [M, N]$

فإن $\mu = \alpha(\beta\mu) + (1_N - \alpha\beta)\mu \in \alpha E_M + (1_N - \alpha\beta)[M, N]$ ، ومنه فإن:

$$[M, N] \subseteq \alpha E_M + (1_N - \alpha\beta)[M, N] \subseteq [M, N]$$

مما سبق نجد أن $[M, N] = \alpha E_M + (1_N - \alpha\beta)[M, N]$.

اعتماداً على التمهيدية (2-3) يمكننا صياغة النتيجة الآتية:

نتيجة 2-4.

ليكن M مودولاً فوق حلقة R . عندئذ لأجل أي عنصرين $\alpha, \beta \in S = \text{End}_R(M)$

القضيتان الآتيتان صحيحتان:

$$. S = \alpha S + (1 - \alpha\beta)S - 1$$

$$. (\alpha - \alpha\beta\alpha)S = \alpha S \cap (1 - \alpha\beta)S - 2$$

تمهيدية 2-5.

ليكن M, N مودولين فوق حلقة R . لأجل كل من $\alpha \in [M, N]$ و $\beta \in [N, M]$

القضايا الآتية صحيحة:

$$. E_M = [N, M]\alpha + E_M(1_M - \beta\alpha) - 1$$

$$. [N, M](\alpha - \alpha\beta\alpha) = [N, M]\alpha \cap E_M(1_M - \beta\alpha) - 2$$

$$. [M, N] = E_N\alpha + [M, N](1_M - \beta\alpha) - 3$$

البرهان.

يتم بطريقة مشابهة كما في التمهيدية (2-3).

اعتماداً على التمهيدية (2-5) يمكننا صياغة النتيجة الآتية:

نتيجة 2-6.

ليكن M مودولاً فوق حلقة R . عندئذ لأجل أي عنصرين $\alpha, \beta \in S = \text{End}_R(M)$

القضيتان الآتيتان صحيحتان:

$$. S = S\alpha + S(1 - \beta\alpha) - 1$$

$$. S(\alpha - \alpha\beta\alpha) = S\alpha \cap S(1 - \beta\alpha) - 2$$

3. حلقة الإندومورفيزمات المنتظمة.

مبرهنة 3-1.

ليكن M, N مودولين فوق حلقة R . عندئذ لأجل أي عنصر $\alpha \in [M, N]$ القضايا الآتية متكافئة:

1 - العنصر α منتظم.

2 - يوجد عنصر $\beta \in [N, M]$ بحيث يكون $N = Im(\alpha) \oplus Im(1_N - \alpha\beta)$.

3 - يوجد عنصر $\beta \in [N, M]$ بحيث يكون $Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta) = 0$.

4 - يوجد عنصر $\beta \in [N, M]$ بحيث يكون $M = Ker(\alpha) \oplus Ker(1_M - \beta\alpha)$.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن $\alpha \in [M, N]$ عنصر منتظم، عندئذ يوجد $\beta \in [N, M]$ بحيث

$\alpha = \alpha\beta\alpha$ ، وحسب التمهيدية (1-2) نجد أن $N = Im(\alpha) + Im(1_N - \alpha\beta)$ وأن:

$$Im(\alpha - \alpha\beta\alpha) = Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta)$$

ولما كان $\alpha = \alpha\beta\alpha$ نجد أن $Im(\alpha - \alpha\beta\alpha) = 0$ ومنه نجد أن:

$$Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta) = 0$$

وهذا يبين أن $N = Im(\alpha) \oplus Im(1_N - \alpha\beta)$.

(2) \Leftrightarrow (3). واضح.

(3) \Leftrightarrow (1). لنفرض أنه يوجد $\beta \in [N, M]$ بحيث إن:

$$Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta) = 0$$

حسب التمهيدية (1-2) لدينا $Im(\alpha - \alpha\beta\alpha) = Im(\alpha) \cap Im(1_N - \alpha\beta) = 0$

ومنه فإن $\alpha = \alpha\beta\alpha$ وهذا يبين أن العنصر α منتظم.

(1) \Leftrightarrow (4). لنفرض أن العنصر $\alpha \in [M, N]$ منتظم، عندئذ يوجد $\beta \in [N, M]$

بحيث يكون $\alpha = \alpha\beta\alpha$ ، ومنه فإن $\alpha - \alpha\beta\alpha = 0$ وبالتالي $Ker(\alpha - \alpha\beta\alpha) = M$.

من جهة أخرى، لما كان $\alpha \in [M, N]$ و $\beta \in [N, M]$ فإنه حسب التمهيدية (1-2)

فإن $Ker(\alpha - \alpha\beta\alpha) = Ker(\alpha) + Ker(1_M - \beta\alpha)$ وأن:

$$Ker(\alpha) \cap Ker(1_M - \beta\alpha) = 0$$

ومنه فإن $M = Ker(\alpha) \oplus Ker(1_M - \beta\alpha)$.

(4) \Leftrightarrow (1). لنفرض أنه يوجد $\beta \in [N, M]$ بحيث يكون:

$$M = Ker(\alpha) \oplus Ker(1_M - \beta\alpha)$$

ولما كان $\alpha \in [M, N]$ و $\beta \in [N, M]$ فإنه حسب التمهيدية (1-2) فإن:

$$Ker(\alpha - \alpha\beta\alpha) = Ker(\alpha) + Ker(1_M - \beta\alpha)$$

ومنه نجد أن $Ker(\alpha - \alpha\beta\alpha) = M$ وهذا يبين أن $\alpha = \alpha\beta\alpha$ ومنه فإن العنصر α منتظم.

اعتماداً على المبرهنة (1-3) يمكننا صياغة النتيجة الآتية:

نتيجة 2-3.

ليكن M مودولاً فوق حلقة R وأن $S = End_R(M)$. عندئذ القضايا الآتية متكافئة:

1 - الحلقة S منتظمة.

2 - لأجل كل $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $M = Im(\alpha) \oplus Im(1 - \alpha\beta)$.

3 - لأجل كل $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $Im(\alpha) \cap Im(1 - \alpha\beta) = 0$.

4 - لأجل كل $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $M = Ker(\alpha) \oplus Ker(1 - \beta\alpha)$.

مبرهنة 3-3.

ليكن M مودولاً فوق حلقة R وأن $S = End_R(M)$. عندئذ لأجل أي عنصر

$\alpha \in S$ القضايا الآتية متكافئة:

1 - العنصر α منتظم.

2 - يوجد عنصر $\beta \in S$ بحيث يكون $S = \alpha S \oplus (1 - \alpha\beta)S$.

3 - يوجد عنصر $\beta \in S$ بحيث يكون $\alpha S \cap (1 - \alpha\beta)S = 0$.

4 - يوجد عنصر $\beta \in S$ بحيث يكون $S = S\alpha \oplus S(1 - \beta\alpha)$.

5 - يوجد عنصر $\beta \in S$ بحيث يكون $S\alpha \cap S(1 - \beta\alpha) = 0$.

البرهان.

(1) \Leftarrow (2). لنفرض أن العنصر $\alpha \in S$ منتظم، عندئذ يوجد عنصر $\beta \in S$ بحيث إن

$$\alpha = \alpha\beta\alpha, \text{ ولما كان } 1 = \alpha\beta + (1 - \alpha\beta) \in \alpha S + (1 - \alpha\beta)S$$

$$S = \alpha S + (1 - \alpha\beta)S$$

ليكن $\lambda \in \alpha S \cap (1 - \alpha\beta)S$ ، عندئذ $\lambda \in S$ ، كما أنه يوجد $\lambda_1, \lambda_2 \in S$ بحيث يكون

$$\lambda = \alpha\lambda_1 = (1 - \alpha\beta)\lambda_2$$

$$\lambda = \alpha\lambda_1 = \alpha\beta\alpha\lambda_1 = \alpha\beta(1 - \alpha\beta)\lambda_2 = (\alpha\beta - \alpha\beta\alpha\beta)\lambda_2 =$$

$$= (\alpha\beta - \alpha\beta)\lambda_2 = 0$$

ومنه نجد أن $\alpha S \cap (1 - \alpha\beta)S = 0$ ، وهذا يبين أن $S = \alpha S \oplus (1 - \alpha\beta)S$.

(2) \Leftarrow (3). واضح.

(3) \Leftarrow (1). لنفرض أنه يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $\alpha S \cap (1 - \alpha\beta)S = 0$ ، وحسب

التمهيدية (2-3) ولأجل $M = N$ نجد أن $(\alpha - \alpha\beta\alpha)S = \alpha S \cap (1 - \alpha\beta)S$ ، ومنه

نجد أن $(\alpha - \alpha\beta\alpha)S = 0$ وبالتالي فإن $\alpha = \alpha\beta\alpha$ وهذا يبين أن العنصر α منتظم.

التكافؤ (1) \Leftrightarrow (4) \Leftrightarrow (5) يبرهن بطريقة مشابهة للتكافؤ (1) \Leftrightarrow (2) \Leftrightarrow (3).

نتيجة 3-4.

ليكن M مودولاً فوق حلقة R وأن $S = \text{End}_R(M)$. عندئذ القضايا الآتية متكافئة:

1 - الحلقة S منتظمة.

2 - لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $S = \alpha S \oplus (1 - \alpha\beta)S$.

3 - لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $\alpha S \cap (1 - \alpha\beta)S = 0$.

4 - لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $S = S\alpha \oplus S(1 - \beta\alpha)$.

5 - لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ يوجد $\beta \in S$ بحيث يكون $S\alpha \cap S(1 - \beta\alpha) = 0$.

مبرهنة 3-5.

ليكن M مودولاً فوق حلقة R وأن $S = \text{End}_R(M)$. عندئذ القضايا الآتية متكافئة:

1 - الحلقة S منتظمة.

2 - لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ ، كل من $\text{Im}(1 - \alpha)$ و $\text{Ker}(1 - \alpha)$ حد مباشر في M .

3 - لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ ، كل من $\text{Im}(\alpha)$ و $\text{Ker}(1 - \alpha)$ حد مباشر في M .

4 - لأجل كل عنصر $\alpha \in S$ ، كل من $\text{Im}(1 - \alpha)$ و $\text{Ker}(\alpha)$ حد مباشر في M .

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة S منتظمة وليكن $\alpha \in S$ ، عندئذ $1 - \alpha \in S$ وحسب

المبرهنة (7-1) كل من $\text{Im}(1 - \alpha)$ و $\text{Ker}(1 - \alpha)$ حد مباشر في M .

(2) \Leftrightarrow (1). ليكن $\alpha \in S$ ، لما كان $1 - \alpha \in S$ ، عندئذ حسب الفرض كل من:

$$\text{Im}(1 - (1 - \alpha)) = \text{Im}(\alpha), \quad \text{Ker}(1 - (1 - \alpha)) = \text{Ker}(\alpha)$$

حد مباشر في M ، وحسب المبرهنة (7-1) نجد أن الحلقة S منتظمة.

(1) \Leftrightarrow (3). لنفرض أن الحلقة S منتظمة وليكن $\alpha \in S$ ، عندئذ حسب المبرهنة (7-1)

كل من $\text{Im}(\alpha)$ و $\text{Ker}(\alpha)$ حد مباشر في M . فضلاً عن ذلك، لما كان $1 - \alpha \in S$ ،

فإنه حسب المبرهنة (7-1) كل من $\text{Im}(1 - \alpha)$ و $\text{Ker}(1 - \alpha)$ حد مباشر في M .

(3) \Leftrightarrow (1). ليكن $\alpha \in S$ ، لما كان $1 - \alpha \in S$ ، عندئذ حسب الفرض كل من $\text{Im}(\alpha)$

و $\text{Ker}(1 - \alpha)$ حد مباشر في M . ولما كان $1 - \alpha \in S$ فإنه حسب الفرض كل من:

$$\text{Im}(1 - (1 - \alpha)) = \text{Im}(\alpha), \quad \text{Ker}(1 - (1 - \alpha)) = \text{Ker}(\alpha)$$

حد مباشر في M ، وحسب المبرهنة (7-1) نجد أن الحلقة S منتظمة.

(1) \Leftarrow (4). لنفرض أن الحلقة S منتظمة وليكن $\alpha \in S$ ، عندئذ حسب المبرهنة (7-1)

كل من $Im(\alpha)$ و $Ker(\alpha)$ حد مباشر في M . فضلاً عن ذلك، لما كان $1-\alpha \in S$ ،

فإنه حسب المبرهنة (7-1) كل من $Im(1-\alpha)$ و $Ker(1-\alpha)$ حد مباشر في M .

(4) \Leftarrow (1). ليكن $\alpha \in S$ ، لما كان $1-\alpha \in S$ ، عندئذ حسب الفرض كل من

$Im(1-\alpha)$ و $Ker(\alpha)$ حد مباشر في M . ولما كان $1-\alpha \in S$ فإنه حسب الفرض

كل من $Ker(1-\alpha)$ ، $Im(1-(1-\alpha)) = Im(\alpha)$ ، حد مباشر في M ، وحسب المبرهنة

(7-1) نجد أن الحلقة S منتظمة.

المراجع العلمية.

- [1] – Anderson, F. W and Fuller, K. R., " Rings and Categories of Modules ", New York. Springer (1973).
- [2] – Goodearl, K. R., " Von Neumann Regular Rings ", Pitman 1979 .
- [3] – Hamza, H., " Regularity and Semi-potency of Hom ", Korean J. Math. **Vol. 22**, No. 1, (2014), pp. 151 – 167.
- [4] – Lam T.Y., " A First Course in Non-commutative Rings ", Springer - Verlag 2001.
- [5] – Tuganbaev, A. A., " Semi-regular, Weakly Regular, and π – Regular Rings ", J. Math, Sci. **Vol. 109**, No. 3, (2002), pp. 1509 – 1588.
- [6] – Von Neumann, J., " On Regular Rings ", Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. (1936).
- [7] – Ware R., " Endomorphism Rings of Projective Modules ", Trans. Amer. Math. Soc. **Vol. 155**, No. 1, (1971), pp. 233 – 256.
- [8] – Zhou, Y., " On (Semi) Regularity and The Total of Rings and Modules ". Journal of Algebra, **Vol. 322**, (2009), pp. 562 – 578.

دراسة الترتيب المغناطيسي لبلورات

Fe/Si باستخدام انعراج ميوسباور

د. مصطفى ديولو

جامعة البعث - كلية العلوم - قسم الفيزياء

ملخص:

تمت دراسة انعراج أشعة ميوسباور بواسطة بلورات مرتبة مغناطيسياً تحتوي على نوى ميوسباورية لـ Fe/Si. لقد تبين انه بالنسبة للبلورات التي يودي تركيبها المغناطيسي الى ترتيب الحقول المغناطيسية في نوى ميوسباورية، فان الانعراج يظهر الحد الأقصى لبراغ المغناطيسي. لا تتطابق مواضع هذه الحدود القصوى بشكل عام مع مواضع حدود رايلي القصوى. يحتوي استقطاب الإشعاع المنتشتت عند زوايا براغ على معلومات حول اتجاه الحقول المغناطيسية في نوى ميوسباور بالنسبة للاتجاهات البلورية. تم إعطاء تغيرات الاستقطاب والمقطع العرضي للنتشتت المترابط في حالة انشطار زيمان الكبير للنوى المنتشتتة. من ثم درس الترتيب المغناطيسي لبلورة فيرومغناطيسية-عكسية من خلال انعراج ميوسباور.

كلمات مفتاحية:

انعراج ميوسباور-الترتيب المغناطيسي- سعة نتشتت ميوسباور-المقطع العرضي للنتشتت المترابط- بلورة فيرومغناطيسية-عكسية.

A study of magnetic ordering for Fe/Si crystals using Mossbauer diffraction

Dr. MUSTAFA Dilo

University of Al-Baath –Faculty of Science –Dept, of Physics

Abstract:

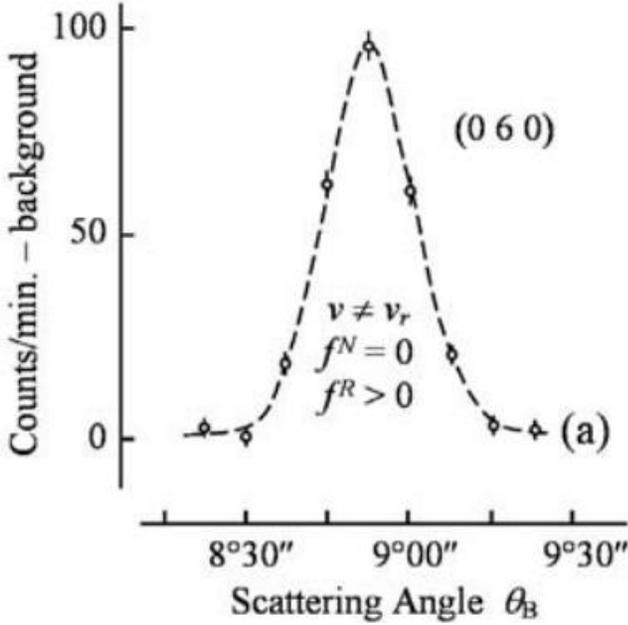
The diffraction of Mossbauer rays was studied by magnetically ordered crystals containing Mossbauer nuclei of Fe/Si. It has been shown that for crystals whose magnetic structure leads to the ordering of magnetic fields at Mossbauer nuclei, the diffraction shows a magnetic Bragg maxima. The positions of these maxima do not generally coincide with the positions of the Rayleigh maxima. The polarization of the scattered radiation at Bragg angles contains information about the orientation of the magnetic fields at the Mossbauer nuclei with respect to the crystallographic directions. The polarization and cross-section changes of coherent scattering in the case of large nuclear Zeeman splitting of scattered nuclei are given. Then the magnetic ordering of an anti-ferromagnetic crystal was studied through Mossbauer diffraction.

الهدف من البحث:

1. دراسة انعراج ميوسباور .
2. دراسة سعة التشتت الميوسباورية الموافقة للانعراج.
3. دراسة الترتيب المغناطيسي لبلورة Fe/Si بواسطة انعراج ميوسباور .

مقدمة:

إن الاهتمام الرئيسي بانعراج ميوسباور يأتي من المقطع العرضي الكبير الذي يمكن الوصول إليه عند التجاوب. ومن أجل مراقبة انعراج أشعة ميوسباور النقية، يجب تقليل سعة تشتت رايلي إلى كمية صغيرة لا تذكر أو إزالتها تمامًا. تمت ملاحظة انعراج Mossbauer لأول مرة في [31] $[K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O (90\% \text{ } ^{57}Fe)]$. باستخدام مستوي الانعكاس $\{0\ 6\ 0\}$ وسرعة مصدر التجاوب المتوقع $v_r \neq v$ ، تم قياس التبعية الزاوية لكثافة التشتت كما هو موضح بالشكل (1). تبين أن ذروة الانعراج الكبيرة نسبيًا عند $\theta_B = 8^\circ 50'$ ترجع إلى تشتت رايلي [1]. تم دراسة أبحاث عديدة اعتماداً على انعراج أشعة غاما الميوسباورية، وعلى وجه الخصوص بواسطة بلورات مرتبة مغناطيسياً سواء من الناحية النظرية أو التجريبية وذلك لدواعي اكتشاف بعض التأثيرات الفيزيائية المهمة والتطبيقات الممكنة [2-7].



ش. (1).

يمكن دراسة الترتيب المغناطيسي في البلورات بواسطة انعراج أشعة غاما الميوسباورية حيث أن نظرية انعراج أشعة غاما الميوسباورية من خلال شبكات بلورية مرتبة مغناطيسياً بتقريب بورن هي الحالة الأكثر عمومية مما كانت عليه في المرجع [8]. من المعروف أن مفعول ميوسباور واسع الانتشار يستخدم كطريقة بحثية لدراسة الهياكل الهندسية البلورية ذات الترتيب المغناطيسي. في هذا العمل يمكن تحليل التراكيب البلورية المغناطيسية بناءً على دراسة أطياف الامتصاص الميوسباورية واعتمادها على

الاتجاه المغناطيسي للحقل المطبق على البلورة الممتصة. من خلال هذه الطريقة، يمكن التوصل الى استنتاجات معينة حول الترتيب المغناطيسي في البلورة. تعتبر هذه المعلومات من حيث المبدأ كافية لتحديد بنية الشبكة البلورية. فمثلاً لا يمكن الحصول على فترة الترتيب المغناطيسي بهذه الطريقة. ويعطي انعراج أشعة غاما الميوسباورية معلومات أكثر تفصيلاً عن البنية البلورية المغناطيسية من تجارب الامتصاص الميوسباورية. من أجل البلورات المرتبة مغناطيسياً يظهر تشتت ميوسباور حد براغ المغناطيسي الأعظمي ويعطي معلومة عن الترتيب المغناطيسي المشابه لذلك الذي يمكن الحصول عليه عن طريق انعراج النيوترونات. لكن انعراج ميوسباور يحدد ترتيب الحقول المغناطيسية في النوى الميوسباورية [6]. في انعراج ميوسباور تعتمد شدة واستقطاب أشعة غاما عند الحد الأقصى لبراغ على اتجاه الحقول المغناطيسية في النواة بالنسبة للمحاور البلورية [6، 1]. وبما أن ترتيب الحقول المغناطيسية في النوى هو نتيجة لترتيب العزم الذري، فإن انعراج ميوسباور يسمح لنا بالتوصل إلى استنتاجات حول طبيعة ترتيب العزم الذري. يعود السبب لإمكانية دراسة البنية البلورية المغناطيسية عن طريق انعراج ميوسباور الى اعتماد تشتت ميوسباور على مقدار واتجاه الحقل المغناطيسي في نواة التشتت. بناءً على ذلك يتم في هذا البحث دراسة الترتيب المغناطيسي لبلورة فيرومغناطيسية-عكسية (Fe/Si) باستخدام انعراج ميوسباور.

سعة تشتت ميوسباور لبلورات Fe/Si

يمكن التعبير عن تشتت أشعة ميوسباور من خلال بلورة Fe/Si التي فيها الحقول المغناطيسية في النوى الميوسباورية مرتبة وفق توجه محدد. من المفترض أن نواة ميوسباور ^{57}Fe في البلورة تقع في المواقع التي لها ρ قيم مختلفة للحقل المغناطيسي H. ومن المفترض أيضاً أن جميع القيم كبيرة بما يكفي لإنتاج انشطار زيمان النووي وهو أكبر بكثير من عرض الخط الطيفي الميوسباوري وعرض الخط لأشعة غاما الساقطة أقل من انشطار زيمان للسويات النووية. ومن المفترض أيضاً أن زمن استرخاء السبينات النووية في الشبكة البلورية أطول بكثير من عمر السوية الميوسباورية [1، 6، 10].

لنعتبر بدايةً عن تشتت ميوسباور بواسطة نواة فردية. يمكن اعتبار مرحلتين في عملية التشتت التجاوبي: (1) امتصاص كوانت غاما الساقط والمصحوب بانتقال النواة للحالة المتحيزة، (2) إصدار كوانت غاما بواسطة النواة المتحيزة. إن العبارات المفروضة مثل عرض سوية ميوسباور وعرض خط اشعة غاما الساقطة وانشطار زيمان النووي، وزمن استرخاء السبين النووي تسمح لنا بافتراض أنه إذا تم استيفاء شروط تشتت التجاوب للنواة فإن التشتت يستمر عبر سويات زيمان المحددة للحالات النووية البدائية والمتوسطة. ولذلك يمكن كتابة سعة التشتت في النموذج [6،9] بالشكل

$$f(\mathbf{k}, \mathbf{n}; \mathbf{k}', \mathbf{n}')_{m_1 m_2 m_3} = C(\mathbf{n}^* \cdot \mathbf{n}_{m_2 m_2})(\mathbf{n}' \cdot \mathbf{n}_{m_3 m_2}^*) [I(\mathbf{k})_{m_2 m_1} I(\mathbf{k}')_{m_2 m_3}]^{1/2}, \quad (1)$$

حيث \mathbf{k} ، \mathbf{k}' - متجهات موجية لكوانتات غاما الساقطة والمنتشرة، على التوالي، \mathbf{n} - شعاع الاستقطابية لكوانت غاما البدائي، \mathbf{n}' - شعاع الاستقطابية الموافق لكوانت غاما المنتشت، و $n_{m_i m_f}$ ($n_{m_i m_f}'$) - شعاع الاستقطابية الذي تم إصداره في تحويل زيمان $m_i \rightarrow m_f$ في اتجاه k (k')، و $I(\mathbf{k})_{m_i m_f}$ ($I(\mathbf{k}')_{m_i m_f}$) - شدة الاصدار في نفس التحويل وفي نفس الاتجاه، و C - معامل ثابت. عند الأخذ بعين الاعتبار أن الافتراض السابق وتبعية C الى طاقة الكوانت غاما الساقط، نفترض أن C تختلف عن الصفر فقط عندما تساوي طاقة كوانت غاما الساقط الى طاقة التحول $m_2 \rightarrow m_1$. تتميز سعة التشتت بثلاث أدلة m_1, m_2, m_3 ، التي تشير الى مساقط العزوم النووية على اتجاه الحقل المغناطيسي في الحالة البدائية والمتوسطة والنهائية على التوالي للنواة المنتشتة. إن العبارات الخاصة بالنسبة لـ $\mathbf{n}_{m_2 m_1}$ ، $I(\mathbf{k})_{m_2 m_1}$ في حالة التحول الميوسباوري الـ 2^L -قطب تكون:

$$\mathbf{n}_{m_2 m_1} = \left[(\cos \alpha) \frac{\mathbf{k} \times [\mathbf{k} \times \hat{\mathbf{h}}]}{|\mathbf{k} \times [\mathbf{k} \times \hat{\mathbf{h}}|]} + i (\sin \alpha) \frac{\mathbf{k} \times \hat{\mathbf{h}}}{|\mathbf{k} \times \hat{\mathbf{h}}|} \right] e^{iM\varphi}, \quad \tan \alpha = \frac{e_2}{e_1}, \quad (2)$$

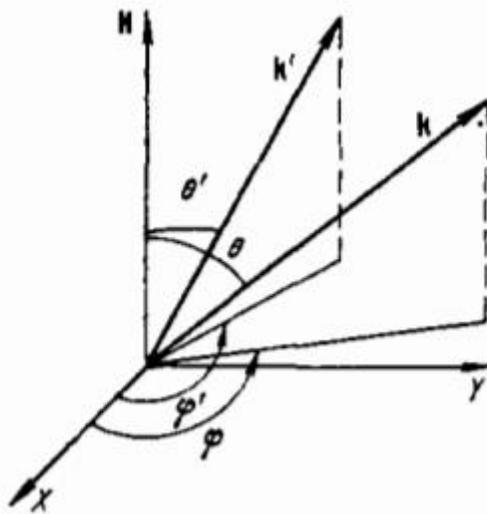
$$I(\mathbf{k})_{m_2 m_1} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} j_1 & L & j_2 \\ m_1 & M & -m_2 \end{pmatrix} (e_1^2 + e_2^2). \quad (3)$$

حيث $M = m_2 - m_1$ ، و j_1 ، j_2 - عزما الحالتين النووية الأساسية والمتحيزة على التوالي، و \hat{h} - شعاع واحدة باتجاه الحقل المغناطيسي في النواة المتشنتة، و θ - الزاوية بين \hat{h} و $\hat{k} = \mathbf{k}/|\mathbf{k}|$ ، و φ - الزاوية السمتية لـ \mathbf{k} في جملة الاحداثيات محورها Z يتطابق مع الاتجاه المباشر للحقل المغناطيسي كما في الشكل (2). إن قيمة L تتبع للحقل المغناطيسي. ويعطى كل من $\mathbf{n}_{m_2 m_1'}$ و $I(\mathbf{k}')_{m_2 m_3}$ بواسطة المعادلات (3) و(2)، باستبدال \mathbf{k} بـ \mathbf{k}' و φ بـ φ' و m_1 بـ m_3 . و e_1 و e_2 هما محددات المصفوفة النووية المختزلة التي بدورها تتبع الزاوية θ ، التي قيمها موضحة في الجدول (1). يمكن استنتاج أن الحد الأقصى لانعراج النووي يعود الى تبعية سعة تشتت ميوسباور على تدرج الحقل الكهربائي حول نواة التشتت الميوسباورية. كونها تتبع إلى e_1 و e_2 .

يُعبّر عن تبعية سعة التشتت للمتجهات \hat{h} ، \mathbf{k} ، \mathbf{k}' من خلال θ ، θ' ، φ ، φ' . كما يتضح من المعادلة (1) و(2) أن التبعية لـ φ و φ' تظهر في المعامل الطوري فقط [6]. من أجل سعة التشتت المترابط ($m_1 = m_3$) المستخدمة أدناه، يكون المعامل الطوري مساوياً الى $e^{-iM(\varphi' - \varphi)}$.

$$\text{جدول (1) : قيم } e_i = \left| \begin{pmatrix} j & L & j' \\ m & M & -m' \end{pmatrix} \right|^{-1} e_i \text{ لتحويلات ثنائي القطب}$$

$e_i^n (M)$	$E (1)$	$M 1$
$e_1^n (0)$	$-\sqrt{\frac{3}{2}} \sin \theta$	0
$e_1^n (\pm 1)$	$\mp \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$
$e_1^n (\pm 2)$		
$e_2^n (0)$	0	$\sqrt{\frac{3}{2}} \sin \theta$
$e_2^n (\pm 1)$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\pm \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta$
$e_2^n (\pm 2)$		



ش. 2. تعريف الزوايا في تعبيرات شدة واستقطاب أشعة غاما.

المقطع العرضي للتشتت المترابط بواسطة بلورة Fe/Si واستقطابية الكوانتات المتشنت

يمكن التعبير عن المقطع العرضي لإشعاع غاما الميوسباوري المتشنت باستخدام المعادلة (1). حيث يمكن الحصول اعتماداً على النظرية الحركية لانعراج في تقريب بورن لأجل بلورة لا نهائية على المقطع العرضي التفاضلي لتشتت كوانت غاما الساقط k ، في اتجاه k' مع شعاع الاستقطاب n'

$$d\sigma(k, n; k', n') = \frac{A\eta^2}{(2j_1 + 1)^2} \left| \sum_{l=1}^P f_l(k, n; k', n') e^{i(k-k').rl} \right|^2 \times \sum_r \delta(k - k' - \tau) d\Omega_k,$$

$$= \left| \sum_{l=1}^p (n^* \cdot n_{tl})(n' \cdot n'_{tl}^*) F_l \right|^2 \sum_{\tau} \delta(k - k' - \tau) d\Omega_{k'},$$

$$F_l = C e^{i(k, k').rl} [I(k)I(k')]^{1/2}.$$

(4)

τ - شعاع الشبكة التبادلي للبنية البلورية المغناطيسية، و r تحدد موضع النواة المتشنتة، و l تحدد القيم الكمية المتعلقة بقيمة الحقل المغناطيسي، و η - تركيز النظير الميوسباوري ^{57}Fe ، و A هو مقدار ثابت يمكن اعتبار قيمته 1، كما في المعادلة

(4). تتعين السعة بواسطة المعادلة (1) من أجل $m_3 = m_1$. بالنتيجة تشمل المعادلة

(4) نواة ميوسباور ^{57}Fe ضمن الوحدة البدائية للشبكة [10، 6، 5]. يتم تحديد متجهة

استقطاب الاشعاع المتشتت \mathbf{n}'_0 عند زاوية براغ بواسطة العلاقة

$$\mathbf{n}'_0 = \frac{N}{|N|}, \quad N = \sum_{l=1}^P \mathbf{n}_{tl}' (\mathbf{n} \cdot \mathbf{n}_{tl}^*) F_l^*. \quad (5)$$

يعطى المقطع العرضي التفاضلي الكلي $d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{n}; \mathbf{k}')$ في الاتجاه \mathbf{k}' حسب العلاقة

$$\begin{aligned} d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{n}; \mathbf{k}') &\equiv d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{n}; \mathbf{k}', \mathbf{n}'_0) \\ &= |\sum_{l=1}^P (\mathbf{n}^* \cdot \mathbf{n}_{tl}) \mathbf{n}_{tl}' F_l|^2 \sum_{\tau} \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}' - \boldsymbol{\tau}) d\Omega_{\mathbf{k}'}. \end{aligned} \quad (6)$$

يمكن الحصول على عبارة المقطع العرضي التفاضلي للتشتت لأجل تشتت الاشعاع الساقط اللامستقطب في الاتجاه \mathbf{k}' بمتجه استقطاب \mathbf{n}' ، حيث يمكن الحصول على

$d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{k}'; \mathbf{n}')$ باستخدام المعادلة (5) في الشكل

$$\begin{aligned} d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{k}'; \mathbf{n}') & \\ &= \frac{1}{2} |\sum_{l=1}^P \mathbf{n}_{tl} (\mathbf{n}_{tl}'^* \cdot \mathbf{n}') F_l|^2 \sum_{\tau} \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}' - \boldsymbol{\tau}) d\Omega_{\mathbf{k}'}. \end{aligned} \quad (7)$$

يمكن الحصول على المقطع العرضي الكلي التفاضلي للتشتت لإشعاع لا مستقطب في

الاتجاه \mathbf{k}' ، $d\sigma(\mathbf{k}; \mathbf{k}')$ من المعادلة (5). بصورة نهائية بالشكل

$$d\sigma(\mathbf{k}; \mathbf{k}') = \frac{1}{2} \sum_{ll'} (\mathbf{n}_{tl} \cdot \mathbf{n}_{tl}'^*) (\mathbf{n}_{tl}'^* \cdot \mathbf{n}_{tl}') F_l F_{l'}^*$$

$$\times \sum_{\tau} \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}' - \boldsymbol{\tau}) d\Omega_{\mathbf{k}'}. \quad (8)$$

في هذه الحالة، ان الاشعاع المنتشت عند زاوية براغ يكون مستقطب جزئياً. ويكون الاشعاع مستقطب كلياً فقط من أجل الترتيب الفرومغناطيسي للحقول المغناطيسية عند نواة ميوسباور. تعطى مصفوفة كثافة الاستقطاب للإشعاع المنتشت من أجل الحزمة اللامستقطبة الساقطة بالشكل:

$$\rho_{un} = \frac{\sum_{i=1,2} d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{n}_i; \mathbf{k}') \rho(\mathbf{n}'_{0i})}{\sum_{i=1,2} d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{n}_i; \mathbf{k}')}, \quad (9)$$

حيث \mathbf{n}_1 و \mathbf{n}_2 - متجهي واحدة معامدين للاستقطاب الأولي، و \mathbf{n}'_{0i} - متجه استقطاب الاشعاع المنتشت الذي يتبع الى متجه الاستقطاب الأولي \mathbf{n}_i ، و $\rho(\mathbf{n})$ - مصفوفة كثافة الاستقطاب لكوانت غاما بمتجه استقطاب \mathbf{n} .

من أجل حالة تشنت حزمة مستقطبة جزئياً واحدة يتم الحصول على المقطع

العرضي للتشتت $d\sigma_p(\mathbf{k}; \mathbf{k}', \mathbf{n}')$ بالشكل:

$$d\sigma_p(\mathbf{k}; \mathbf{k}', \mathbf{n}') = [1 - p(\mathbf{n})] d\sigma(\mathbf{k}; \mathbf{k}', \mathbf{n}') + P(\mathbf{n}) d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{n}; \mathbf{k}', \mathbf{n}'). \quad (10)$$

حيث $P(n)$ - درجة استقطاب الاشعاع الساقط ، و n - تصف الاستقطاب الممثل جزئياً في الحزمة الساقطة [6، 4]. في هذه الحالة يمكن إعادة كتابة مصفوفة كثافة استقطاب الاشعاع المنتشت كآتي:

$$\rho_P = \frac{[1-P(n)]d\sigma(k;k')\rho_{un} + P(n)d\sigma(k,n;k',n')\rho(n'_0)}{[1-P(n)]d\sigma(k;k') + P(n)d\sigma(k,n;k',n'_0)}, \quad (11)$$

حيث المقادير ρ_{un} و n'_0 تتحدد من المعادلتين (7) و (11) على التوالي.

لا تحتاج المعادلات من (4) إلى (11) أية قيود على قيم الحقل المغناطيسي H_I عند نواة ميوسباور، باستثناء أن تكون هذه الحقول المغناطيسية قوية بما يكفي لإنتاج انشطارات كبيرة في السويات النووية. على وجه الخصوص قد يكون $|H_I|$ مختلفاً. في هذه الحالة تختلف شروط التشتت التجاوبي باختلاف $|H_I|$. لذلك في المعادلات من (4) إلى (11) فقط تلك السعات لا تكون مساوية إلى الصفر والتي تخضع لشروط التشتت التجاوبي.

الانعراج في البلورات المرتبة مغناطيسياً:

إذا كانت الحقول المغناطيسية تعمل على نوى ميوسباور في بلورة مرتبة مغناطيسياً، فإن المقطع العرضي التفاضلي لتشتت الإشعاع غير المستقطب يُعطى بالمعادلة

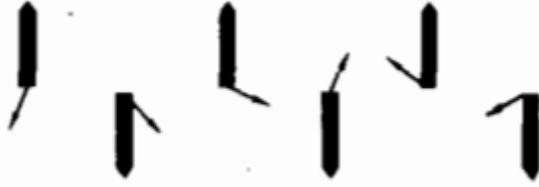
$$\frac{d\sigma}{d\Omega_{k'}} = \frac{(2\pi)^3}{V} (\sigma_{\tau}^R + \sigma_{\tau}^N + \sigma_{\tau}^{RN}) \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}' - \boldsymbol{\tau}),$$

(12)

حيث V - هو حجم الوحدة البدائية للشبكة البلورية، و τ - يتضمن التركيب المغناطيسي للبلورة σ_{τ}^R - المقطع العرضي للإشعاع و σ_{τ}^N - المقطع العرضي للنواة و σ_{τ}^{RN} - المقطع العرضي لتفاعل الإشعاع مع النواة ، والتسميات المتبقية هي نفسها المذكورة أعلاه. نمط الانعراج في هذه الحالة يشبه في سماته العامة انعراج النيوترونات في البلورات المرتبة مغناطيسياً. ولذلك يمكن تحديد التركيب المغناطيسي للبلورة من البيانات الموجودة على انعراج ميوسباور، تماماً كما في حالة النيوترونات المغناطيسية [2, 3, 6].

عند درجات حرارة عادية، تكون السبينات الذرية مرتبة، لكن السبينات النووية تكون غير مرتبة تماماً كما في الشكل (4). لذلك يبدو غريباً كيف يمكن أن يوفر انعراج أشعة غاما في منظومة تحتوي على نوى غير مرتبة معلومات عن وجود ترتيب مغناطيسي في البلورة. ويعود ذلك إلى انخفاض عرض الطاقة لخط ميوسباور $\Gamma \sim 10^{-8} \text{eV}$ ، مما يؤدي إلى مشاركة تفضيلية في تشتت النوى مع اتجاه السبين محددًا بالنسبة إلى H، وتتحول السعة المترابطة إلى أن تكون تابعة إلى H [6, 1]. على سبيل المثال، في حالة انشطار زيمان، من أجل تزامن طاقة أشعة غاما مع طاقة أحد انتقالات زيمان $E_{mm'}$ ، يحدث التشتت بشكل أساسي فقط من خلال هذا التحول الواحد.

وهذا يعني أنه في تشتت التجاوب فقط النوى ذات المسقط السيني m على اتجاه الحقل المغناطيسي تشارك، في حين أن النوى ذات القيم الأخرى للمسقط السيني لا تلعب عملياً أي دور في التشتت. ومع ذلك، نظراً لحقيقة أن السينات النووية موجهة بشكل فوضوي، في المتوسط ، تشارك نواة واحدة فقط من نواة ميوسباور $2j + 1$ في التشتت. وهذا يؤدي فقط إلى انخفاض في السعة المترابطة بعامل $2j + 1$ بالمقارنة مع حالة الترتيب الكامل للسينات النووية، ولكن نمط الانعراج يظل نوعياً كما هو الحال في السينات النووية المرتبة.



الشكل 4: رسم توضيحي للاضطراب في اتجاه العزوم النووية (أسهم صغيرة) في بلورة ذات عزوم ذرية مرتبة (أسهم ثقيلة).

وهذا يؤدي إلى ان انعراج ميوسباور يشير إلى إمكانية التحديد المباشر لطبيعة ترتيب الحقول المغناطيسية في نوى ميوسباور. ومع ذلك، بما أن طبيعة ترتيب الحقول المغناطيسية في النوى يتم تحديدها من خلال ترتيب العزم الزاوي الذري في البلورة، فيمكن مناقشة تحديد ميوسباور للبنية المغناطيسية. إلا أن المعلومات المتعلقة بالبنية المغناطيسية للبلورة لا يتم الحصول عليها فقط من خلال مجموعة الحدود المغناطيسية

القصوى المرصودة وكثافتها، ولكن أيضاً من خلال استقطاب الإشعاع في قمم الانعراج. من مناقشة سعة تشتت ميوسباور المذكورة أعلاه، وذلك ينتج المعادلة (12) حيث يمكن وصف كلا من قمم الانعراج الخط البلوري التي تحددها الوحدة البدائية للشبكة البلورية، والقمم المغناطيسية التي تحددها الوحدة البدائية المغناطيسية. تجدر الإشارة إلى أنه نظراً للاعتماد الضعيف للغاية لسعة تشتت رايلي على اتجاه العزم المغناطيسي للذرة (يمكن إهمالها تماماً)، فإن قمم الانعراج المغناطيسي تتلقى مساهمات عملياً فقط من طاقة تشتت النوى ولا تحتوي على أي تدخل من تشتت رايلي النووي.

يمكن تقدير الانعراج بواسطة بلورة تختلف فيها الفترة المغناطيسية أو يكون تناظر الوحدة البدائية المغناطيسية مختلفاً عن تلك الخاصة للوحدة البدائية البلورية. في هذه الحالة ان الحد الأقصى للانعراج المعطى بواسطة المعادلات (4) و(6)-(8) يمكن تقسيمه الى نوعين: (I) الحد الأقصى البلوري، أي تلك الموجودة في تشتت رايلي، و(II) الحد الأقصى المغناطيسي أي تلك الغائبة في تشتت رايلي. ان إهمال تشتت رايلي له ما يبرره للحد الأقصى المغناطيسي.

في ختام هذه الفقرة نلاحظ أنه بالنسبة للبلورات التي لها فترة مغناطيسية مختلفة عن الوحدة البلورية توجد ذرات في الشبكة البلورية تكون متكافئة بلورياً ولكنها غير متكافئة مغناطيسياً. ان الحالة التي فيها عدم التكافؤ المغناطيسي للذرات مرتبطة فقط مع التوجه المختلف لعزومها المغناطيسية التي تظهر طبيعية. لذلك يمكن افتراض أن

الحقول المغناطيسية في مواضع متكافئة بلورياً ولكن غير متكافئة مغناطيسياً تختلف باتجاهها فقط. هذا يعني انه في الوحدة البدائية المغناطيسية يوجد على الأقل موضعين l و l' اللذين من أجلهما $|H_l| = |H_{l'}|$ وشروط التشتت التجاوبي هي نفسها لأجل نواة ميوسباور الموافقة.

الانعراج بواسطة بلورة فيرومغناطيسية-عكسية-(Fe/Si) Anti-Ferromagnetic

إن تشتت أشعة غاما ميوسباور المترابطة بواسطة بلورة فيرومغناطيسية-عكسية التي ضمنها نواة ميوسباورية في الوحدة البدائية لهذه البلورة يمكن وصفه بواسطة علاقات الفقرة السابقة من أجل $p = 2$. بالأخذ بعين الاعتبار ما ورد في الفقرة السابقة يمكن افتراض أن $H_1 = -H_2$.

من المعادلة (4) و(5) لأجل المقطع العرضي التفاضلي $d\sigma(\mathbf{k}, n; \mathbf{k}', n')$

ومتجه الاستقطابية نحصل على

$$d\sigma(\mathbf{k}, n; \mathbf{k}', n') = \frac{\eta^2 c^2}{(2j_1 + 1)^2} I(\mathbf{k})I(\mathbf{k}') |(n^* \cdot n_t)(n' \cdot n_t'^*)|$$

$$\pm (n^* \cdot n_t)(n' \cdot n_t')|^2 \sum_{\tau} \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}' - \boldsymbol{\tau}) d\Omega_{k'} \quad (13)$$

و

$$n'_0 = N_1/|N_1|, \quad N_1 = n_t'(n \cdot n_t^*) \pm n_t'^*(n \cdot n_t). \quad (14)$$

باشتقاق المعادلة (13) و(14) بمساعدة المعادلة (1) يمكن الأخذ بعين الاعتبار أنه عندما يكون اتجاه الحقل المغناطيسي عند النواة المشعة معكوساً، يبقى احتمال انبعاث كوانت غاما في اتجاه معين لا متغيراً ويتحول متجه استقطابية الى مقدار كمي عقدي مترافق، أي

$I(H, k) = I(-H, k)$ و $n_{t2} = n_{t1}^* \equiv n_t^*$ في المعادلتين (13) و(14) تستخدم الإشارة الأسفل من أجل القيمة المغنطيسية الأعظمية و الإشارة الأعلى من أجل القيمة البلورية الأعظمية.

بنفس الطريقة يمكن الحصول من المعادلة (8) على العبارة التالية لـ $d\sigma(\mathbf{k}; \mathbf{k}')$:

$$d\sigma(\mathbf{k}; \mathbf{k}') = \frac{\eta^2 c^2}{(2j_1+1)^2} I(\mathbf{k})I(\mathbf{k}')(1 \pm \cos 2\alpha \cos 2\alpha' \cos 2\delta) \times \sum_{\tau} \delta(\mathbf{k} - \mathbf{k}' - \boldsymbol{\tau}) d\Omega_{\mathbf{k}'}, \quad (15)$$

حيث بالنسبة للمتجهة $\mathbf{k}(\mathbf{k}')$ يمكن تعيين الكمية $\alpha(\alpha')$ بواسطة المعادلة (2) و $\delta = M(\varphi' - \varphi)$

يمكن الحصول بسهولة على المقاطع العرضية $d\sigma(\mathbf{k}, \mathbf{n}; \mathbf{k}')$ و $d\sigma(\mathbf{k}; \mathbf{k}', \mathbf{n}')$ من المعادلات (6)-(8) بنفس الطريقة أو بواسطة المعادلة (13) يمكن وصف خصائص استقطاب الاشعاع المتشتت من خلال علاقات الفقرة السابقة اذا تم استخدام المقطع العرضي الموافق والمعادلة (14) بالنسبة لـ \mathbf{n}'_0 . خصوصاً بالنسبة

للحد الأعلى المغناطيسي ينتج تماماً من المعادلة (14)، وأنه إذا كان فيها H_1 و H_2 معامدين لمستوي الاستقطاب الدائري يمين (يسار) المتشتت للإشعاع الساقط فيتحول لاستقطاب يسار (يمين) للإشعاع المتشتت. في هذه الحالة للتوجه العشوائي لـ H_1 و H_2 المنتسبة لمستويات التشتت البلوري، يتحول الاستقطاب الدائري للإشعاع الساقط الى استقطاب اهليلجي للإشعاع المتشتت [6، 2].

للحصول على شكل واضح للتابعية الزاوية لمقادير معينة يجب معرفة التعددية القطبية للتحويل الميوسباوري. إن التبعيات الزاوية لبعض المقادير الكمية لتحويلات ثنائية قطب تعطى أدناه. إن انتقال ميوسباور الأكثر شهرة بالنسبة لـ ^{57}Fe هو ثنائي القطب M1.

ان صيغ $\tan \alpha$ التي تحدد متجه الاستقطاب (المعادلة (2)) تعطى في الجدول 2. من أجل المقطع العرضي للتشتت $d\sigma(\mathbf{k}; \mathbf{k}')$ الذي يمكن ان نحصل عليه باستخدام المعادلة (14) المعادلة (3) و قيم e_i الواردة في الجدول (1)

الجدول (2) لأجل تحولي ثنائي القطب الكهريائي E1 و المغنطيسي M1

$m_2 - m_1$	E1	M1
0	0	∞
± 1	$\pm 1/\cos \theta$	$\pm \cos \theta$

$$d\sigma_0(\mathbf{k}; \mathbf{k}') = \frac{2a^2\eta^2C^2}{(2j_1+1)^2} \begin{pmatrix} j_1 & 1 & j_2 \\ m_1 & 0 & -m_2 \end{pmatrix}^4 \times \begin{Bmatrix} \sin^2 \theta & \sin^2 \theta' \\ & 0 \end{Bmatrix},$$

(16)

$$d\sigma_{\pm 1}(\mathbf{k}; \mathbf{k}') = \frac{2a^2\eta^2C^2}{(2j_1+1)^2} \begin{pmatrix} j_1 & 1 & j_2 \\ m_1 & 0 & -m_2 \end{pmatrix} \times \begin{Bmatrix} \cos^2 \theta + \cos^2 \theta' + \sin^2 \theta \sin^2 \theta' \cos^2 \phi \\ \cos^2 \theta + \cos^2 \theta' + \sin^2 \theta \sin^2 \theta' \sin^2 \phi \end{Bmatrix},$$

(17)

حيث M ، وعبارة $d\sigma$ لا تساوي الى $m_2 - m_1$ و $\phi = \phi' - \phi$. ان الخطوط السفلية في الطرف الأيمن للعلاقة (16) و (17) تنتسب للحد الأعلى المغناطيسي؛ والخطوط العلوية تنتسب للحد الأعلى البلوري.

ينتج من المعادلة (16) أن الحد الأعلى المغناطيسي غائب عن استمرار التشنت عبر التحول بـ $M = 0$. لا تنتج هذه النتيجة فقط لتحويلات ثنائي القطب، بل ينطبق أيضاً عن تحولات أي تعددية أقطاب. إن غياب الحد الأعلى المغناطيسي موضح من خلال هوية سعة ميوسباور المنتشنتة لكلا اتجاهي الحقل المغناطيسي \mathbf{H} و $-\mathbf{H}$ من أجل $M = 0$. يظهر أن المعادلتان (15) و (16) لا يأخذان بعين الاعتبار التبعية الزاوية المرتبطة بتباين معامل ميوسباور الاحتمالي. تتضمن هذه التبعية في المعامل C ، و إذا لزم الأمر يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار بشكل منفصل.

إن صيغ هذا الفقرة مأخوذة بإشارة سفلية تصف حد الانعراج المغناطيسي الأعظمي بالنسبة لبلورة فيرومغناطيسية-عكسية برقم كفي لنواة ميوسباور في الوحدة البدائية للشبكة. لكن في هذه الحالة يجب أن تضرب عبارات المقاطع العرضية بـ:

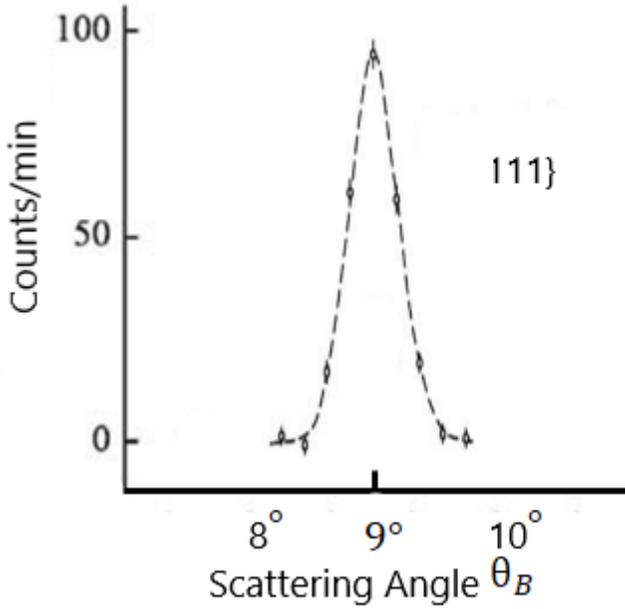
$$\left| \sum_l e^{i(k-k').rl} \right|^2,$$

حيث تقتصر النتيجة على الوحدة البدائية للشبكة البلورية وتمتد على نوى ميوسباور المتوضعة في مواقع ذات احدى قيمتي الحقل المغناطيسي H_1 أو H_2 . يمكن استخلاص الصيغة ذات الصلة من أجل الحد الأعظمي البلوري من العبارات العامة للفقرة السابقة.

من أجل الحصول على توضيح رقمي لحالة مادة فيرومغناطيسية-عكسية نعطي قيم لزوايا براغ لتشتت ميوسباور من خلال بلورة $\alpha - Fe_2O_3$ (14,4-keV) تحول ميوسباور في ^{57}Fe). ان الحد الأعظمي البلوري الأولي، حيث يكون تشتت رايلي غائباً، عند الزاوية 7.5° و تقريباً يوافق التشتت بواسطة المستوي البلوري $\{110\}$.

تبين تجريبياً أنه بالنسبة لـ Fe/Si التي تنتسب للمواد الفيرومغناطيسية-العكسية أن قيمة زاوية براغ لتشتت ميوسباور في غياب تشتت رايلي، وذلك وفق المستوي البلوري $\{111\}$ ، يوافق تقريباً 9° . حيث يكون التشتت بواسطة بلورة Fe/Si بنسبة Fe فيها 86% كما مبين بالشكل (3). ويكون فيها تحول ميوسباور 14,4-keV في ^{57}Fe .

ويوافق هذا حد مغناطيسي أعظمي. بما أن قيمة الحقل المغناطيسي في بلورة Fe قبل تشكيل الخليطة (السبيكة) وفق معطيات التحليل الطيفي الميوسباوري هي 581 Or. أما بعد تشكيل الخليطة بهذه النسبة 86% فإن قيمة الحقل تصبح أقل فهي مساوية الى 383 Or. نستخلص من ذلك أن قيمة المحصلة للعزوم المغناطيسية للبلورة بعد الخلط تصبح أقل من حالة بلورة Fe مما يؤدي الى ظهور ترتيب يوافق للعزوم المغناطيسية بصورة أخرى. وهذا ينتسب الى بلورات فيرومغناطيسية-عكسية.



ش. (3).

1. يظهر من علاقة سعة تشتت ميوسباور أنها تتبع الى قيمة الحقل المغناطيسي.
2. ان وجود الحد الأقصى للانعراج النووي يعود الى اعتماد سعة تشتت ميوسباور على تدرج الحقل الكهربائي حول نواة التشتت الميوسباورية.
3. نستخلص من ذلك أن قيمة المحصلة للعزوم المغناطيسية لبلورة Fe/Si بعد الخلط تصبح أقل من حالة بلورة Fe مما يؤدي الى ظهور ترتيب يوافق للعزوم المغناطيسية بصورة أخرى. وهذا ينتسب الى بلورات فيرومغناطيسية-عكسية.
4. تم ملاحظة أنه بالنسبة للبلورات التي لها فترة مغناطيسية مختلفة عن وحدات بلورية اخرى توجد ذرات في الشبكة البلورية تكون متكافئة بلورياً ولكنها غير متكافئة مغناطيسياً. إن الحالة التي فيها عدم التكافؤ المغناطيسي للذرات مرتبطة فقط بالتوجه المختلف لعزومها المغناطيسية التي تظهر اكثر طبيعية.

References:

1- Yi-Long Chen and De-Ping Yang . Mossbauer Effect in Lattice Dynamics 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

2-Philippe Roncin and Maxime Debiossac. Elastic and inelastic diffraction of fast atoms, Debye-Waller factor, and Mössbauer-Lamb-Dicke regime PHYSICAL REVIEW B 96, 035415 (2017)

3-B. S. Slepak , K. B. Slepak. THE INNOVATIVE DIRECTION OF SCIENTIFIC INSTRUMENTATION — MÖSSBAUER SPECTROSCOPY AS A FACTOR OF IMPROVING THE BRANCHES OF THE RUSSIAN ECONOMY. PART 2. CREATION OF NATIONAL RESEARCH EQUIPMENT IN THE FIELD OF MÖSSBAUER SPECTROSCOPY NAUCHNOE PRIBOROSTROENIE, 2018, Vol. 28, No. 2, pp. 75-88

4-Xiwen Zhang ,Wen-Te Liao, Alexey Kalachev. Nuclear Quantum Memory and Time Sequencing of a Single γ Photon PHYSICAL REVIEW LETTERS 123, 250504 (2019)

5-A.YA. DZYUBLIK, V.YU. SPIVAK. LAUE DIFFRACTION OF SPHERICAL MOSSBAUER WAVES ISSN 2071-0194. Ukr. J. Phys. 2016. Vol. 61, No. 9

6-V. A. Belyakov. Diffraction of Mössbauer gamma rays in crystals IP Address: 128.42.202.150 The article was downloaded on 25/06/2012 at 15:06

7-Romain Coussement, Rustem Shahkmoumtov, , Gerda Neyens' and Jos Odeurs. Quantum optics with gamma radiation europysics news SEPTEMBER/OCTOBER 2003

8-J. P. Hannon, N. J. Carron, and G. T. Trammell. Mossbauer diffraction. IH. Emission of Mossbauer γ rays from crystals. A. General theory PHYSICAL RE VIEW B VOLUME 9, NUMBER 7 1 AP RI L 1974

9–Olga Kocharovskaya, Roman Kolesov, and Yuri Rostovtsev.

Coherent Optical Control of Mössbauer Spectra P H Y S I C A

L R E V I E W L E T T E R S 3 MAY 1999

10–L. V. Dobysheva. Mechanical alloying of Si and Fe:

Quantummechanical calculations applied to Mössbauer and X–ray

diffraction studies Cite as: J. Appl. Phys. 126, 095106 (2019)

دور الأجسام المضادة المعدلة للبيتيد LEAP2 في

تسكين الألم لدى جرذان Wistar

(1) ياسر ناعورة* (2) أ.م. د شادي سكرية (3) أ.د جرجس ديب

¹ طالب دكتوراه، قسم علم الحياة الحيوانية، كلية العلوم، جامعة دمشق، اختصاص فيزيولوجيا

حيوانية، yaser.naoura@damascusuniversity.edu.sy

² أستاذ مساعد، قسم علم الحياة الحيوانية، كلية العلوم، جامعة دمشق، اختصاص علم الجنين

الجزئي، Chadi.Soukkarieh@damascusuniversity.edu.sy

³ أستاذ، قسم علم الحياة الحيوانية، كلية العلوم، جامعة دمشق، اختصاص فيزيولوجيا الوسط

الداخلي،

Jerjes.deeb@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

يهدف البحث الحالي إلى دراسة دور الأجسام المضادة المعدلة للبيتيد LEAP2 (Anti-LEAP2) في تسكين الألم لدى جرذان Wistar وعلاقته بالغريلين، والتعرف على بعض جوانب الآليات الداخلية التي تتوسط هذا الدور.

بينت نتائج الدراسة الحالية أن التهاب المفاصل الروماتيدي المحرض بالبريستان أدى إلى ارتفاع ملحوظ في تركيز البيتيد LEAP2، وانخفاض في تركيز الغريلين وعتبة الشعور بالألم. كما بينت أيضاً قدرة البيتيد LEAP2 على تثبيط مستقبل الغريلين وكبح مسار الغريلين في تسكين الألم وتعزيز الشهية. وكذلك قدرة Anti-LEAP2 على رفع عتبة الشعور بالألم البدئية من خلال الارتباط بالموقع الفعال للبيتيد LEAP2 وإبطال تأثيره على عتبة الشعور بالألم وتعزيز الشهية.

الأمر الذي يمكن البناء عليه في تطوير أدوية فعالة في تسكين الألم بعيداً عن الآثار الجانبية التي تسببها أدوية تسكين الألم الأخرى.

الكلمات المفتاحية: الغريلين، Anti-LEAP2، تسكين الألم، البريستان، جرذان ويسترن

Role Of Antibodies Neutralizing The Peptide LEAP2 In Analgesia In Wistar Rats

Yaser Naoura^{1*}, Dr. Chadi Soukkarieh², Dr. Gerges Deeb³

- ^{1.} *Ph.D. student, Department of Animal Biology, Faculty of Damascus University, animal physiology, yaser.naoura@damascusuniversity.edu.sy.
- ^{2.} Assistant professor, Department of Animal Biology, Faculty of Sciences, Damascus University, Molecular Embryology, Chadi.Soukkarieh@damascusuniversity.edu.sy.
- ^{3.} Professor, Department of Animal Biology, Faculty of Sciences, Damascus University, intrinsic median physiology, Jerjes.deeb@damascusuniversity.edu.sy.

Abstract:

The current research aims to study the role of antibodies neutralizing the peptide LEAP2 (Anti-LEAP2) in analgesia and in WISTAR rats and its relationship with ghrelin, and identifying some aspects of the internal mechanisms that mediate this role.

The results of our study show that pristane-induced rheumatoid arthritis leads to a significant increase in LEAP2 peptide concentration, and a decrease in Ghrelin concentration and pain threshold. It also demonstrated the ability of the peptide LEAP2 to inhibit the Ghrelin receptor and inhibit the Ghrelin pathway in analgesia and enhancing appetite. As well as the ability of Anti-LEAP2 to raise the initial pain threshold by binding to the active site of the LEAP2 peptide and nullifying its effect on the pain threshold and enhancing appetite. Which can be built upon in developing effective analgesic medications without the side effects caused by other analgesic medications.

Key words: Ghrelin, Anti-LEAP2, Analgesia, Pristane, Wistar Rats.

أولاً - المقدمة:

على الرغم من أن الوساطة البيولوجية للغريلين (هرمون الجوع) في تسكين الألم قد درست بعناية، وعلى الرغم من أن العديد من الدراسات قد أشارت إلى أن الغريلين ربما يؤدي إلى تسكين الألم عبر توسط المستقبلات μ الأفيونية [1]، أو عبر الارتباط بمستقبل مُفرزات هرمون النمو من النمط Growth Hormone Secretagogue $\alpha 1$ (GHS-R1a) Receptor type-1a (مستقبل الغريلين)، في عصبونات النواة المقوسة الوطائية الحاوية على طليعة القشرين الميلانيني الأفيوني-Pro-opiomelanocortin (POMC)، وهي الطليعة التي يشتق منها بيتا إندورفين الذي يعتبر المفتاح الرئيسي في تسكين الألم [2]. إلا أن تنظيم عمل الغريلين غير مفهوم جيداً، وفي ضوء ذلك اكتشف سابقاً الببتيد المضاد للميكروبات المعبر عنه في الكبد Liver-Enriched Antimicrobial Peptide 2 (LEAP-2)، على أنه ببتيد مضاد للميكروبات فقط [3]، لكن تم التعرف عليه مؤخراً بأنه حاصراً داخلياً لمستقبل الغريلين [4] وهو من المستقبلات المقترنة بالبروتين [5] Protein G-Coupled Receptor G (GPCR)، يتم التحكم في نشاطه بواسطة اثنتين من الربائط الداخلية المتعكسة في تأثيرها عليه وهما: الغريلين (المحفز) وLEAP-2 (المنبث) [4]. يعزز الغريلين الشهية عبر تحفيز المستقبل (GHSR1a) الموجود على العصبونات الحاوية على البروتين المرتبط بالأغواتي AGOUTI-RELATED PROTEIN والببتيد العصبي NEUROPEPTIT Y (NPY/AgRP) في النواة المقوسة الوطائية ARCUATE (ARC) NUCLEUS [6]، وعلى الخلايا الموجهة الجسدية النخامية PITUITARY SOMATOTROPHS المفرزة لهرمون النمو [7]. بالمقابل تبين بدايةً بأنه حاصراً داخلياً غير تنافسي ENDOGENOUS NONCOMPETITIVE ANTAGONIST للمستقبل (GHS-R1a) فمن المحتمل أنه يعدل وظائف المستقبل من خلال ارتباطه

بالمقر المتفارع ALLOSTERIC SITE [9] هو بمثابة موقع آخر يرتبط به LEAP2 مؤدياً إلى تغير في بنية الموقع الفعال ACTIVE SITE، وهذا يتعارض مع دراسة حديثة بينت أن البيبتيد LEAP2 يعمل كحاصر داخلي تنافسي للغريلين ENDOGENOUS COMPETITIVE ANTAGONIST وشادة عكسية INVERSE AGONIST لنشاط المستقبل GHS-R1a التأسيسي (9) ONSTITUTIVE GHS-R1a ACTIVIT، وبغض النظر عن آلية البيبتيد LEAP2 في حجب عمل المستقبل (GHS-R1a)، فإن جميع الدراسات السابقة تؤكد على قدرة البيبتيد LEAP-2 على كبح تأثيرات الغريلين على طلب الطعام والإفراز الهرموني. ولقد تم ملاحظة أن تركيز LEAP2 البلاسمي يزداد مع طلب الطعام والبدانة (توازن الطاقة الإيجابي)، بينما يتناقص عند الصيام وفقدان الوزن (توازن الطاقة السلبي) وقد أظهر تثبيط نشاط الغريلين آثاراً مفيدةً في التجارب ما قبل السريرية، مما يلقي الضوء على إمكانية البيبتيد LEAP-2 في معالجة البدانة [10]. كما يعتبر LEAP2 البيبتيد الثاني (بعد LEAP1 المسؤول عن استتباب الحديد [11]) المعزول سابقاً من دم البشر والمعبر عنه في الكبد والمعروف بدوره في الاستجابة المناعية الفطرية [3]. حيث يتألف الشكل الناضج للبيبتيد LEAP2 من 40 حمض أميني مشتقة من طليعة البيبتيد LEAP2 بدءاً من الحمض الأميني رقم 38 حتى الحمض الأميني رقم 77، وتتطابق الأحماض الأمينية للشكل الناضج عند القوارض وعند الإنسان، وقد برز مؤخراً وبشكلٍ مثيرٍ للاهتمام ارتباط البيبتيد LEAP2 في مستقبل الغريلين وبشكلٍ خاص الشدفة N منه [10]، وحجب وظائف الغريلين المتمثلة بتحفيز الشهية وتحرير هرمون النمو [12] وزيادة مستوى سكر الدم [4] بالتالي من المفترض أن يكون للبيبتيد LEAP2 دوراً في تثبيط دور الغريلين في تسكين الألم داخل الكائن الحي، كما أن الدراسات الفيزيولوجية الكهربائية باستخدام تقانة PATCH CLAMP أظهرت أن البيبتيد LEAP2 يقوم بفرط

استقطاب يحد من تنشيط عصبونات الحاوية على الببتيد العصبي المحفز للشهية (NPY) في النواة المقوسة الوطائية (ARC)، بينما تطبيق الغريلين لوحده يؤدي إلى نزع استقطاب في تلك العصبونات محفزاً تحرير الببتيد العصبي المحفز للشهية (NPY) [13]. إلى جانب ذلك أدى حقن الببتيد LEAP2 في بطينات الدماغ عند الجرذان إلى كبح وظائف الغريلين في مستوى الجهاز العصبي المركزي مثل التعبير عن جين (FOX) FORKHEAD BOX المنظمة لعوامل النسخ الضرورية لوظائف المتعضية في نوى الوطاء، وتحفيز الشهية أما الحقن الوريدي للغريلين في الفئران المجموعة أدى إلى خفض مستويات LEAP2 البلاسمي وكذلك التعبير عن mRNA LEAP2 في الكبد [14]. بمعنى آخر نجد أن الغريلين والببتيد LEAP2 ينظمان وظيفتهما من خلال أليتين هما: آلية الإشارات المتبادلة بين المعدة والكبد، وألية التنشيط المباشر للمستقبل (GHS-R1a) بواسطة LEAP2. وهكذا فإن شادة LEAP2 تمثل هدفاً علاجياً محتملاً للبدانة ومرض السكري بقدرتها على كبح وظائف الغريلين، أما حقن الأجسام المضادة المعدلة للببتيد LEAP2 (Anti-LEAP2) يؤدي إلى تحفيز أفعال الغريلين في الجسم الحي مثل تعزيز تحرر هرمون النمو وتعزيز الشهية [4] بالتالي يمكن أن تكون هذه الأجسام المضادة هدفاً علاجياً محتملاً لفقدان الشهية ANOREXIA والدفن السرطاني CACHEXIA CANCER وتسكين الألم على اعتبار وجود العديد من الدلائل التي تشير إلى دور الغريلين في تسكين الألم [1]، وتعزيز هذا الدور بحقن (Anti-LEAP2).

يتم إنتاج LEAP2 مركزياً في منطقة ما تحت المهاد والغدة النخامية، ومحيطياً من الكبد بشكل رئيس [15]، والأمعاء الدقيقة والمعدة والكليتين بشكل ثانوي [16] ليقوم بوظائفه الرئيسية في تنظيم الشهية وإفراز هرمون النمو (GH). كما يمكن تحريض إنتاجه تجريبياً بأليات مختلفة مثل تطبيق الاستئصال الرأسي للمعدة VERTICAL SLEEVE

(VSG) GASTROSTOMY على الفئران (9) أو عبر تحريض التهاب مفاصل روماتيدي في النماذج الحيوانية، حيث هنالك نمط آخر من التهاب المفاصل يدعى بالتهاب المفاصل المحرض بالبريستان PRISTANE-INDUCED ARTHRITIS (PIA) [17]. والبريستان عبارة عن ألكان مشبع يتألف من 19 ذرة كربون ويسمى بـ 2,6,10-TRIMETHYLPENTADECANE يحرض التهاب مفاصل مزمن عند الجرذان عند حقنه بشكل نقي [18].

ثانياً - أهمية وأهداف البحث:

1-2 أهمية البحث:

بالنظر إلى نتائج الدراسات السابقة التي أثبتت قدرة LEAP2 على تثبيط سلوك تناول الغذاء المُحرض بواسطة هرمون الغريلين في الفئران، نتيجة ارتباطه بالمستقبل (GHS-R1a)، مما يكشف فعالية دوائية PHARMACOLOGICAL ACTIVITY لم تكن متوقعة للبيبتيد LEAP2 في التحكم في الاستجابة للغريلين في الظروف العادية والمرضية [13]، وبالنظر للدور الهام للغريلين في تسكين الألم، وبما أنه لا تتوفر أية معطيات عن الدور المحتمل للبيبتيد LEAP2 في تسكين الألم وعلى اعتبار أن البيبتيد LEAP2 يعمل كحاصر لمستقبل مفرزات هرمون النمو (GHS-R1a) (مستقبل الغريلين)، فإنه لا بد أن يكون للبيبتيد LEAP2 دوراً تثبيطياً لقدرة الغريلين على تسكين الألم، ولهذا أهمية نظرية كبيرة في التعرف على جوانب جديدة في منظومات التسكين وتطبيقاتها المباشرة في المجال الطبي السريري.

2-1 أهداف البحث:

أولاً: تحريض إنتاج البيبتيد LEAP2 عبر إحداث التهاب مفاصل روماتيدي ومعرفة تأثيره على عتبة الشعور بالألم.

ثانياً: حقن البيبتيد LEAP2 والأجسام المضادة المعدلة Anti-LEAP2 خارجياً ومعرفة تأثيرها على عتبة الشعور بالألم.

ثالثاً: مقارنة نتائج حقن المورفين بشكل منفصل أو مشترك مع نتائج حقن الأجسام المضادة المحيدة للبيبتيد.

ثالثاً-مواد البحث وطرائقه:

أجريت الدراسة على 104 جرذاً من نوع Wistar بوزن من 180-200 غراماً في بداية التجربة، حيث أخضعت بدايةً جميع الجرذان إلى البيئية المخبرية نفسها من حيث تناوب الضوء والظلام (12 ساعة ضوء، 12 ساعة ظلام) ومن حيث وجود فائض حر من الغذاء والماء.

وبعد خمسة أيام من وجود الجرذان في غرفة المختبر، حيث كانت تخضع يومياً إلى قياس عتبة الشعور بالألم بهدف الاعتياد، تم تقسيمها إلى عشرة مجموعات يضم كل منها ثمانية جرذان بحسب مقتضيات التجربة كما هو موضح في الجدول رقم [1].

4-1: تحريض التهاب المفاصل بالبريستان:

توضع الفئران المخدرة على جانبها البطني، ويوجه الذيل بشكل مستقيم نحو الخلف، يبلل فراء الذيل بـ 70% إيثانول على طول الخط المتوسط للذيل، ويتم حلق الفراء مكان الحقن، ومن ثم يتم إدخال إبرة الحقن مع توجيه فتحتها نحو الأعلى ليتم حقن من (100-150) ميكرو ليتر من البريستان (المصنع في شركة

MYBIOSOURCE الأمريكية) تحت الجلد. يوضع الإبهام فوق منطقة الحقن لتسحب الإبرة ببطء لتجنب التسريب. توزن الجرذان يومياً وتفحص كفوف الجرذان بصرياً بشكل يومي حتى ظهور علامة المرض (بعد 9-14 يوم من الحقن) المتمثلة بظهور وزمات واحمرار وانتفاخ في نهايات الأصابع (خصوصاً المخالب الخلفية) بالإضافة إلى تغير في الدلات الكيميائية الحيوية في الدم والمرتبطة بتشخيص التهاب المفاصل [19].

4-2: قياس عتبة الشعور بالألم:

تم قياس عتبة الشعور بالألم لدى الجرذان من خلال قياس الزمن الكامن لسحب الذيل باستعمال جهاز مقياس الزمن الكامن لسحب الذيل Tail Flick Latency نموذج 812 شركة (HSE). يغمر الذيل بمياه درجة حرارتها 52 م° ولمسافة 7سم من ذروته، ويسجل الزمن الكامن لنفضة الذيل بواسطة مؤقت الجهاز. ويحافظ على درجة حرارة المياه بواسطة منظم حراري من شركة (PHYWE) مغمور في حوض مائي بمقياس 14×16×42 سم، إذ يغمر الذيل إلى العمق نفسه الذي يصله مقياس الحرارة [20]. وتكرر عملية القياس الواحدة ثلاث مرات للجرذ الواحد بفواصل زمنية مقدارها دقيقة واحدة، وتعرض النتائج كمتوسط حسابي \pm الانحراف المعياري. ويستخدم لكل جرذ منشفة جافة نظيفة خاصة به يلف بها الحيوان قبل عملية القياس مع بقاء الذيل حرًا.

4-3: المعايير الكيميائية الحيوية:

تم سحب عينة الدم من قلب الجرذ بمجرد ظهور أعراض التهاب المفاصل المحدث بالبريستان، ومن ثم تم وضع عينة الدم في أنبوب يحوي الهيبارين كمضاد تخثر وتم فصل المصورة بالتثقيب، وقد أجريت معايرة LEAP2 والغريلين والبروتين الارتكاسي التفاعلي CRP والعامل الروماتيدي RF في المصورة بواسطة جهاز مقياس المطياف الضوئي spectrophotometer والمقايسة المناعية الأنزيمية الشطائرية Sandwich Enzyme Immunoassay (ELISA).

4-4: الحقن في تجويف البريتوان:

حقنت الجرذان بالبيبتيد LEAP2 والغريلين و (Anti-LEAP2) وحاصر مستقبل الغريلين (GHS-R1 α) (DLS) والمورفين في تجويف البريتوان (بهدف معرفة تأثيرها على عتبة الشعور بالألم) جرعات مقدارها (0.1, 0.02, 0.02, 0.2) ملغ/كغ، على التوالي من إنتاج شركة (MYBIOSOURCE) الأميركية. بينما كان الفاصل

الزمني بين الحقن في تجويف البريتوان للمادة الأولى والثانية بمقدار خمسة دقائق على

التوالي. وحددت الفروق المعنوية بين المجموعات بواسطة اختبار one way anova

تبعاً لمقتضيات البحث، واستخدمت p-value كمعيار للدلالة الإحصائية

وذلك عبر البرنامج الإحصائي SPSS.

جدول (1): مجموعات الدراسات وظروفها التجريبية.

العدد	المجموعة
8	الأولى (شاهدة)، معايرة LEAP2 والغريلين وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل وحساب وزن الجسم.
8	الثانية (المحقونة بالبريستان) المرحلة الأولى: إحداث التهاب المفاصل بالبريستان ومعايرة الببتيد LEAP2 والغريلين وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل. المرحلة الثانية: حقن Anti-LEAP2 (0.02mg/kg)، وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل.
8	الثالثة حقن الببتيد LEAP2 (0.2mg/kg) في تجويف البريتوان ومعرفة تأثيره على الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا) وعلى وزن الجسم.
8	الرابعة حقن الغريلين في تجويف البريتوان وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا).
8	الخامسة حقن Anti-LEAP2 (0.02mg/kg) في تجويف البريتوان وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا).
8	السادسة الحقن المتزامن للببتيد LEAP2 (0.2mg/kg) والغريلين (0.02mg/kg) في تجويف البريتوان وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا).
8	السابعة الحقن المتزامن للببتيد LEAP2 (0.2mg/kg) و Anti-LEAP2 (0.02mg/kg) في تجويف البريتوان. ومعرفة تأثيرها على الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا) وعلى وزن الجسم.
8	الثامنة الحقن المتزامن ل Anti-LEAP2 (0.02mg/kg) والغريلين (0.02mg/kg) في تجويف البريتوان وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا).
8	التاسعة الثانية حقن حاصر مستقبل (GHS-R1α) (5mg/kg) (مستقبل الغريلين) DLS في تجويف البريتوان وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا).
8	العاشرة الحقن المتزامن لحاصر مستقبل (GHS-R1α) (5mg/kg) (مستقبل الغريلين) DLS+الببتيد LEAP2(0.2mg/kg) معاً وقياس الزمن الكامن لنفضة الذيل (ثا).

رابعاً-النتائج:

المحور الأول: مقارنة نتائج تحفيز البيبتيد LEAP2 داخلي المنشأ مع نتائج حقن

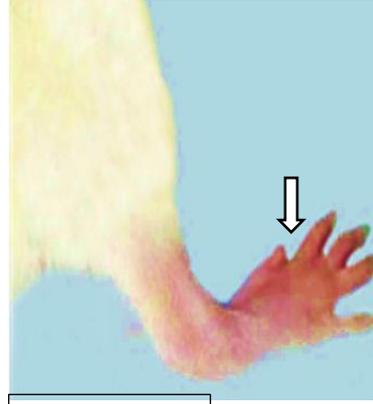
البيبتيد LEAP2.

1. نتائج المعاملة بالبريستان:

أظهرت النتائج إصابة معظم الجردان بالتهاب المفاصل الروماتيدي بعد-15 (8يوم من حقن البريستان (تم استبعاد الجردان التي لم تبدي إصابة) والتي سجل لديها، ارتفاع في تركيز البروتين الارتكاسي التفاعلي CRP ($P \leq 0.05$)، والعامل الروماتيدي RF ($P \leq 0.05$)، وكريات الدم البيضاء WBC ($P \leq 0.001$)، مقارنةً مع المجموعة الشاهدة الشكل (2). وقد ترافق التهاب المفاصل الروماتيدي بظهور أعراض سريرية متمثلة في احمرار وتورم وألم في الكفوف الخلفية وبدرجة أقل في الكفوف الأمامية وفي بعض المفاصل السنية السلامية ومفصل الكاحل الشكل (1)، بالإضافة إلى فقدان الشهية وانخفاض الوزن .

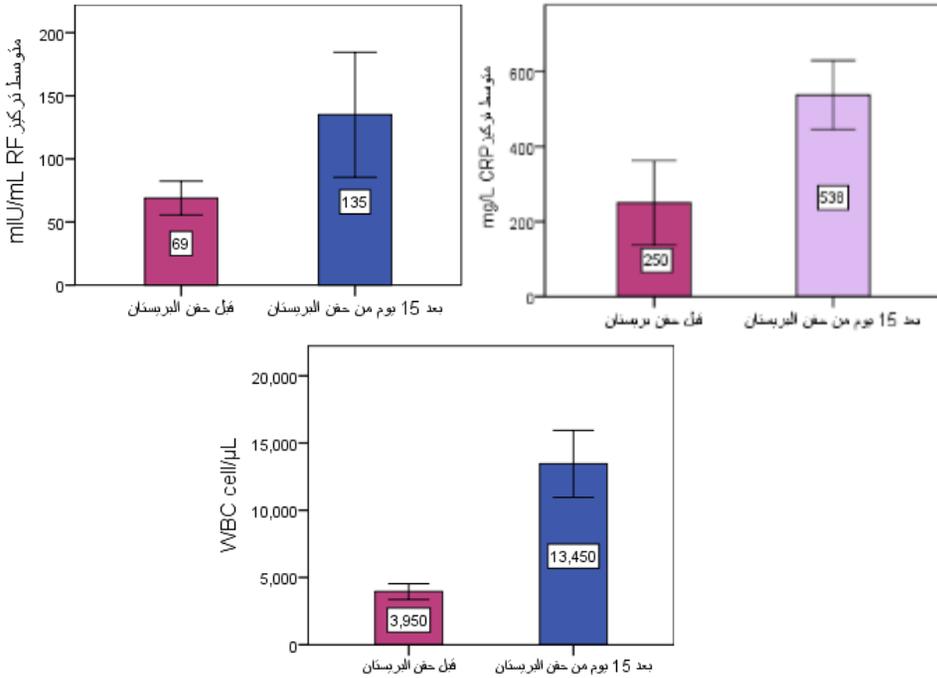


قبل حقن



بعد المعاملة

الشكل (1) صورة توضح كفوف اليدين الخلفية قبل بعد خمسة عشر يوم من حقن

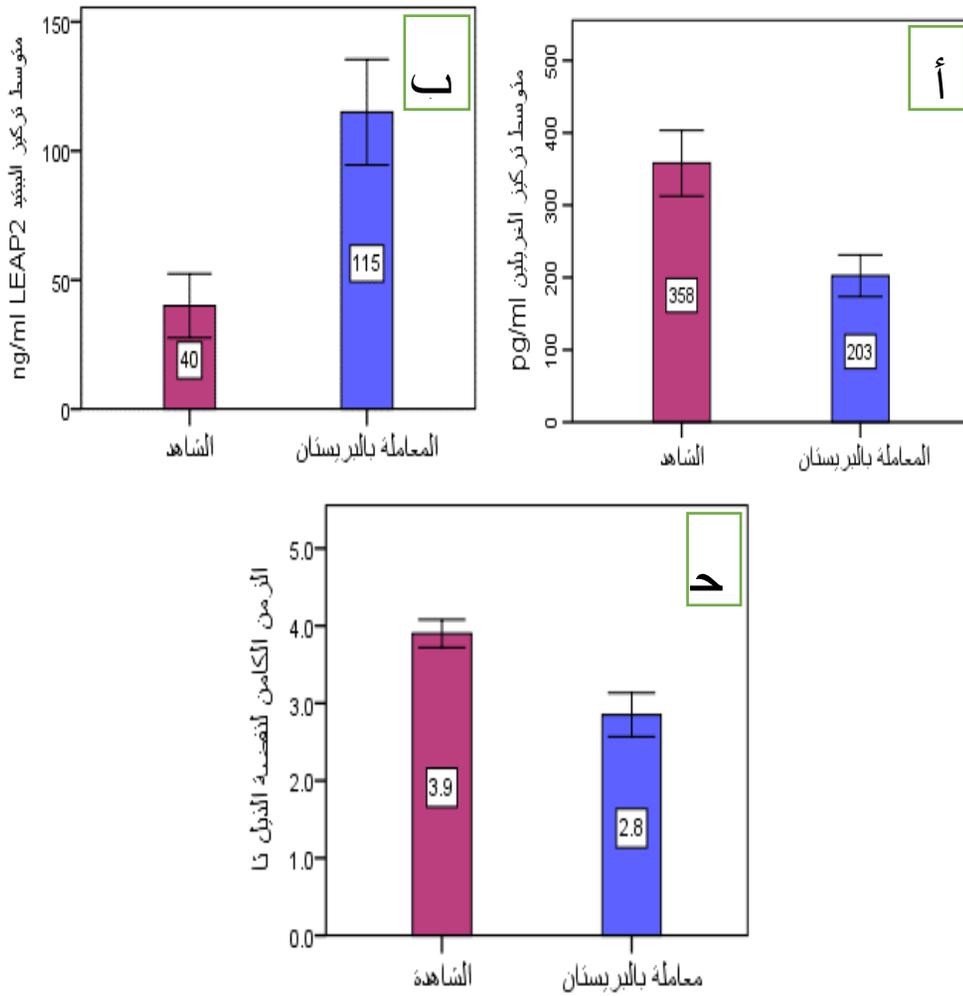


الشكل (2) مخطط بياني لمتوسط تركيز CRP و RF وعدد كريات الدم البيضاء WBC لدى الجرذان المعاملة بالبريستات لمدة 15 يوم مقارنةً بالشاهدة.

2. نتائج معايرة الغريلين والببتيد LEAP2، وقياس الزمن الكامن لنفخة الذيل بعد إحداث التهاب المفاصل الروماتيدي.

أدى إحداث التهاب المفاصل الروماتيدي المحرض بالبريستات (لدى جرذان المجموعة الثانية) إلى ارتفاع في متوسط تركيز الببتيد LEAP2 بنسبة ($P \leq 0.01$) 187%، وإلى انخفاض تركيز الغريلين بنسبة 75% ($P \leq 0.05$)، وانخفاض عتبة الشعور بالألم البدئية بنسبة 28.2% ($P \leq 0.05$) (الشكل(3).

دور الأجسام المضادة المُعدلة للبيبتيد LEAP2 في تسكين الألم لدى جردان Wistar



الشكل (3) مخطط بياني لمتوسط تركيز الغريلين (أ) والبيبتيد LEAP2 (ب) والزمن الكامن لنفصة الذيل (ج) لدى الجردان المعاملة بالبريسنان لمدة 15 يوم مقارنةً بالمجموعة الشاهدة.

3. نتائج الحقن المشترك للبيبتيد LEAP2 والأجسام المضادة المعدلة للبيبتيد LEAP2 على عتبة الشعور بالألم.

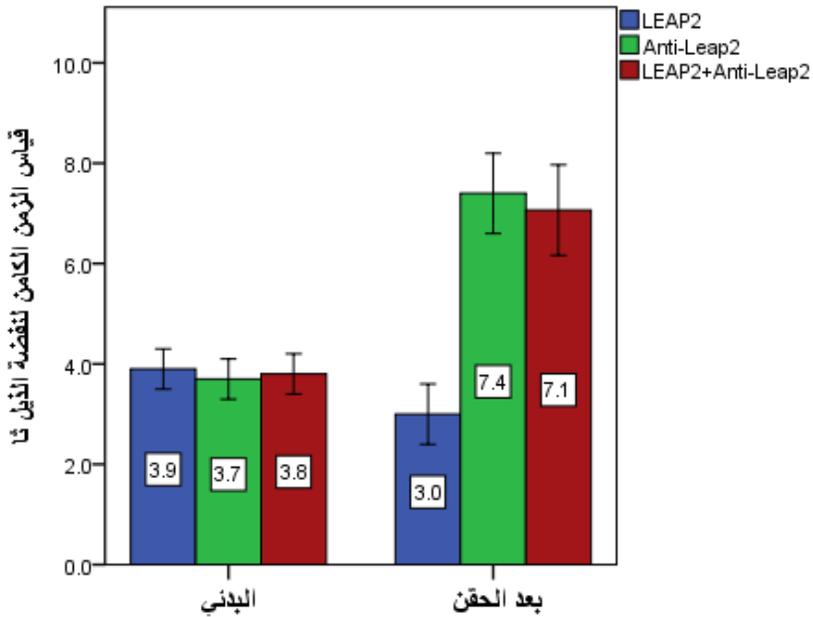
بهدف اختبار قدرة Anti-LEAP2 على إلغاء تأثير البيبتيد LEAP2، وبهدف معرفة التأثير المشترك للبيبتيد LEAP2 و Anti-LEAP2 على عتبة الشعور بالألم، تم الحقن المتزامن للجرذان بكل من البيبتيد LEAP2 و Anti-LEAP2 (المجموعة السابعة).

أظهرت النتائج انخفاضاً في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن البيبتيد LEAP2 (المجموعة الثالثة) بنسبة 23% - ($P \leq 0.05$)، في حين أدى الحقن المنفرد ل Anti-LEAP2 (المجموعة الخامسة) إلى ارتفاع عتبة الشعور بالألم البدئية بمقدار 100% ($P \leq 0.05$)، أما الحقن المتزامن للجرذان في التجويف البريتوان (البيبتيد LEAP2 مع Anti-LEAP2) (المجموعة السابعة) قد أدى إلى ارتفاع عتبة الشعور بالألم البدئية بمقدار 86% ($P \leq 0.05$)، الجدول (2) الشكل (4). وبشكلٍ آخر نجد أن مقدار تسكين الألم قد انخفض بنسبة 14% لدى الجرذان المحقونة بالتزامن (البيبتيد LEAP2 مع Anti-LEAP2) (المجموعة السابعة)، مقارنةً مع الجرذان المحقونة LEAP2 (المجموعة الخامسة) الجدول (2) الشكل (4). بالمقابل انخفض مقدار تسكين الألم بنسبة 109% لدى الجرذان المحقونة بالتزامن (البيبتيد LEAP2 مع Anti-LEAP2) (المجموعة السابعة)، بالمقارنة مع الجرذان المحقونة بالبيبتيد LEAP2 (المجموعة الثالثة) مما يؤكد قدرة Anti-LEAP2 على إلغاء تأثير البيبتيد LEAP2 على عتبة الشعور بالألم.

دور الأجسام المضادة المعدلة للبيبتيد LEAP2 في تسكين الألم لدى جرذان Wistar

جدول (2): متوسط الزمن الكامن لنفوضة الذيل \pm الانحراف المعياري، وقيم p-value عند القياس البدئي وبعد الحقن للمجموعات التجريبية التي تضم الجرذان المحقونة بـ LEAP2 والجرذان المحقونة بـ Anti-LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن LEAP2 + Anti-LEAP2 مقارنة مع العتبات الشاهدة.

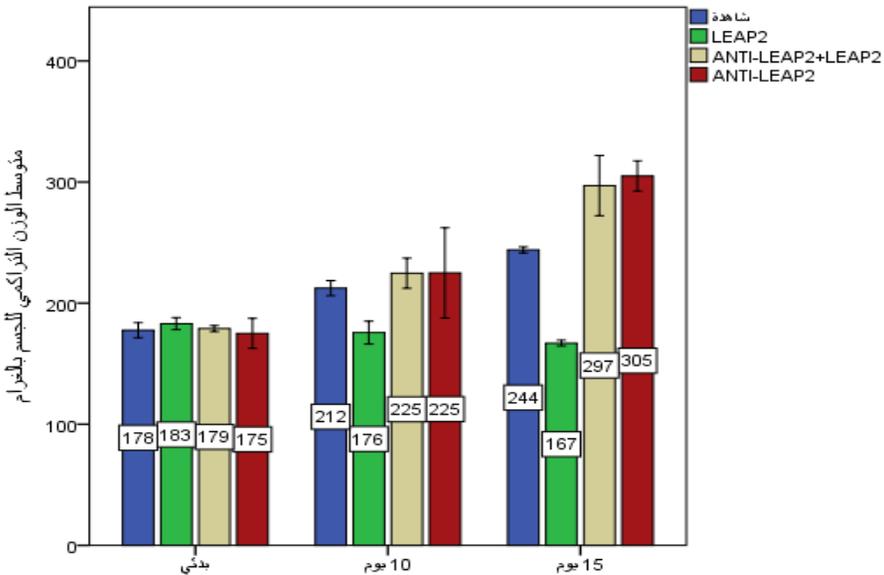
المعدلة المحقونة	القياس البدئي	القياس بعد الحقن	قد	p-value بدئي/بعد الحقن	p-value للقيم بعد الحقن
LEAP2	3.9	3	-23%	($P \leq 0.05$)	Anti-LEAP2/LEAP2+Anti-LEAP2
Anti-LEAP2	3.7	7.4	100%	($P \leq 0.05$)	($P \leq 0.001$)
LEAP2+anti-LEAP2	3.8	7.1	86%	($P \leq 0.05$)	($P \leq 0.07$)



الشكل (4) مخطط بياني لمتوسط الزمن الكامن لنفوضة الذيل \pm الانحراف المعياري لدى الجرذان المحقونة بالبيبتيد LEAP2 والجرذان المحقونة بـ Anti-LEAP2 والجرذان المحقونة بـ LEAP2+Anti-LEAP2 مقارنة مع العتبات الشاهدة.

ومما يدعم قدرة Anti-LEAP2 على إلغاء تفعيل الببتيد LEAP2 (المجموعة الثالثة) هو أن نتائج الحقن المتزامن (الببتيد LEAP2 مع Anti-LEAP2) (المجموعة السابعة) على وزن الجسم بعد 15 يوم، قد عاكست انخفاض الوزن الناتج عن حقن الببتيد LEAP2 والمقدر 31.5% (المجموعة الثالثة)، لا وبل تجاوزت قيم متوسطات وزن الجسم لدى الجرذان الشاهدة بقيم مُعتد بها إحصائياً وبنسبة 21.7% ($P \leq 0.05$) الشكل (5).

في حين أن نتائج الحقن المتزامن (الببتيد LEAP2 مع Anti-LEAP2) (المجموعة السابعة) على وزن الجسم بعد 15 يوم قد انخفضت قليلاً وبنسبة لا تتعدى 2.6% مقارنةً مع الجرذان المحقونة بـ Anti-LEAP2، وهذا يشير إلى أن Anti-LEAP2 أدى إلى حجب تأثير الببتيد LEAP2 على وزن الجسم سواء أكان داخلي أم خارجي الحقن.



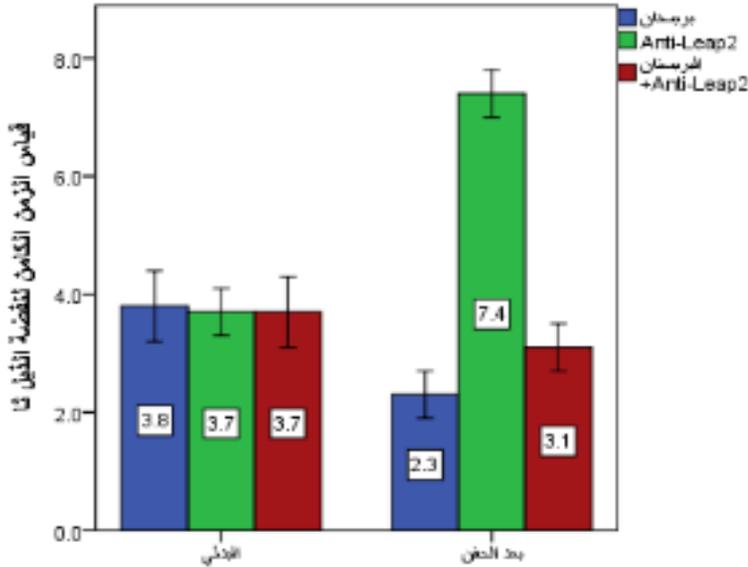
الشكل (5) مخطط بياني لمتوسط وزن الجسم \pm الانحراف المعياري لدى الجرذان الشاهدة والجرذان المحقونة بالببتيد LEAP2 والمحقونة Anti-LEAP2 مقارنةً مع المجموعة المحقونة بشكل متزامن ANTI-LEAP2+LEAP2.

4. نتائج حقن Anti-LEAP2 (لدى الجرذان المحرض لديها التهاب المفاصل الروماتيدي بالبريستان):

أظهرت النتائج انخفاضاً في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد المعاملة بالبريستان (المجموعة الثانية) بمقدار 60% ($P \leq 0.05$)، في حين أدى الحقن المتزامن (البريستان مع Anti-LEAP2) (المجموعة الثانية) إلى انخفاض عتبة الشعور بالألم البدئية بمقدار 17% ($P \leq 0.05$)، أما الحقن المنفرد لـ Anti-LEAP2 لدى جرذان المجموعة الخامسة، فقد أدى إلى ارتفاع عتبة الشعور بالألم البدئية بمقدار 100% ($P \leq 0.05$). حيث تراجعت الحساسية الألمية بمقدار 43% لدى الجرذان المحقونة بالتزامن (البريستان مع Anti-LEAP2) (المجموعة الثانية)، مقارنةً مع الجرذان المحقونة بالبريستان فقط (المجموعة الثانية). ودون أن تصل للعتبة البدئية الجدول (3) الشكل (6). يمكن لهذه النتائج أن تشير إلى أن التهاب المفاصل الروماتيدي المحرض بالبريستان يحفز الحساسية الألمية بآليات أخرى، إلى جانب تحفيزه الحساسية الألمية بتأثير البيبتيد LEAP2.

جدول (3) متوسط الزمن الكامن لنفوضة الذيل \pm الانحراف المعياري، وقيم p-value عند القياس البدئي وبعد الحقن للمجموعات التجريبية التي تضم الجرذان المعاملة بالبريستان والجرذان المحقونة بـ Anti-LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن Anti-LEAP2 + بريستان مقارنةً مع العتبات الشاهدة. وقيم p-value

p-value للقيم بعد الحقن		p-value بدئي/بعد الحقن	الفرق بين القياسين %	القياس بعد الحقن	القياس البدئي	المادة المحقونة
+Anti- LEAP2/البريستان	/Anti-LEAP2 البريستان +Anti-LEAP2	($P \leq 0.05$)	-60%	2.3	3.8	البريستان
($P \leq 0.05$)	($P \leq 0.05$)	($P \leq 0.05$)	100%	7.4	3.7	Anti-LEAP2
		($P \leq 0.05$)	-17%	3.1	3.7	البريستان +Anti-LEAP2



الشكل (6) مخطط بياني لمتوسط الزمن الكامن لنفحسة الذيل لدى الجرذان المعاملة بالبريستان والجرذان المحقونة بـ anti-LEAP2 والجرذان المحقونة anti-LEAP2 + بريستان مقارنة مع العتبات الشاهدة.

5. نتائج تأثير حقن الغريلين والبيبتيد LEAP2 و Anti-LEAP2 بشكل منفصل على عتبة الشعور بالألم.

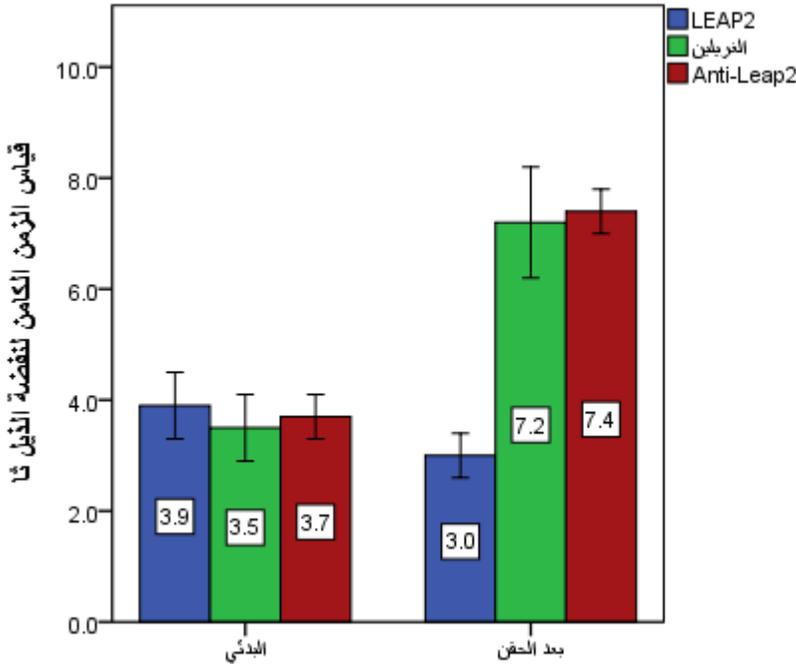
بهدف تعزيز النتائج التي بينت أن تحريض البيبتيد LEAP2 داخلي المنشأ يترافق بارتفاع الحساسية الألمية، وبهدف معرفة مدى مشاركة الغريلين والبيبتيد LEAP2 و Anti-LEAP2 في التأثير على عتبة الشعور بالألم، تم حقن الجرذان بالبيبتيد LEAP2 (المجموعة الثالثة) والغريلين (المجموعة الرابعة) و Anti-Leap2 (المجموعة الخامسة) في تجويف البريتوان وبشكل منفصل.

أظهرت النتائج أن حقن الجرذان بالبيبتيد LEAP2 يترافق بانخفاض عتبة الشعور بالألم البدئية بنسبة $(P \leq 0.05)$ -23%، بينما ارتفعت عتبة الشعور بالألم البدئية بنسبة $(P \leq 0.001)$ 105% لدى الجرذان المحقونة بالغريلين، وبنسبة 100% $(P \leq 0.05)$ لدى الجرذان المحقونة Anti-LEAP2 الجدول (4) الشكل (7).

وبمقارنة النتائج السابقة لم نجد أي فرق ملحوظ بين مقدار تسكين الألم بعد حقن الغريلين (المجموعة الرابعة)، وبين مقدار تسكين الألم بعد حقن Anti-LEAP2 (المجموعة الخامسة). وعلى النقيض من ذلك لوحظ تراجع واضح في مقدار تسكين الألم، حتى وصل إلى تحريض للحساسية الألمية بعد حقن البيتيد LEAP2 (المجموعة الثالثة) مقارنةً مع الجرذان المحقونة غريلين أو المحقونة Anti-LEAP2 الجدول (4) الشكل (7).

جدول (4): متوسط الزمن الكامن لنفخة الذي \pm الانحراف المعياري، وقيم p-value لدى الجرذان المحقونة بالبيتيد LEAP2 والجرذان المحقونة بالجريلين والجرذان المحقونة Anti-LEAP2 مقارنةً مع العتبات الشاهدة.

p-value للقيم بعد الحقن		p-value بدئي/بعد الحقن	الفرق بين القياسين %	القياس بعد الحقن	القياس البدئي	المادة المحقونة
Anti- LEAP2/ الجريلين	LEAP2/anti -LEAP2	($P \leq 0.05$)	-23%	3	3.9	LEAP2
		($P \leq 0.001$)	105%	7.2	3.5	الجريلين
($P \leq 0.08$)	($P \leq 0.001$)	($P \leq 0.05$)	100%	7.4	3.7	Anti- LEAP2



الشكل (7) مخطط بياني لمتوسط الزمن الكامن لنفظة الذيل \pm الانحراف المعياري لدى الجرذان المحقونة بالبيبتيد LEAP2 والجرذان المحقونة بالغريلين والجرذان المحقونة بـ Anti-LEAP2 مقارنةً مع العتبات الشاهدة.

المحور الثاني: تحري بعض السبل التي تسلكها Anti-LEAP2 وكذلك البيبتيد LEAP2 في التأثير على عتبة الشعور بالألم.

1. تحري سبيل مستقبل (GHS-R1 α) (مستقبل الغريلين) في تسكين الألم المحرض بحقن Anti-LEAP2.

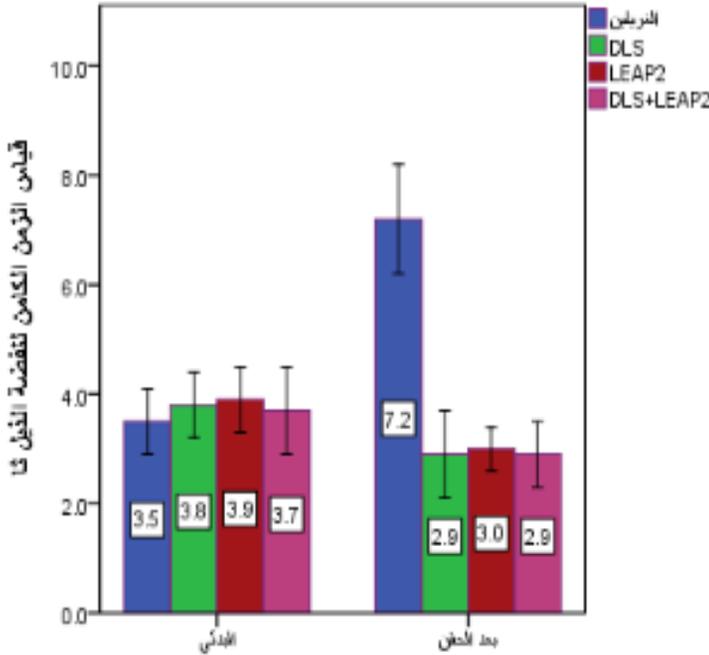
بهدف معرفة مدى توسط مستقبل مفرزات هرمون النم (GHS-R1 α) في السبيل الذي تسلكه Anti-LEAP2 في تسكين الألم، تم الحقن المتزامن للجرذان بحاصر مستقبل مفرزات هرمون النمو (GHS-R1 α) (مستقبل الغريلين)(DLS) والبيبتيد LEAP2 معاً (المجموعة العاشرة).

لوحظ وجود انخفاض معنوي في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد الحقن المتزامن السابق بمقدار 21% - ($P \leq 0.05$)، وبشكلٍ مماثلٍ تقريباً وجدنا انخفاض في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن الحاصر DLS (المجموعة التاسعة) أو البيتيد LEAP2 (المجموعة الثالثة) بمقدار 23% - ($P \leq 0.05$).

بالمقابل ارتفعت عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن الغريلين بمقدار 105% ($P \leq 0.001$) (المجموعة الرابعة). هذا يشير إلى تداخل مستقبلات الغريلين (-GHS R1a) في آلية تسكين الألم المحرصة بحقن Anti-LEAP2. كما أظهرت النتائج السابقة وجود فارق ملحوظ في تغيير عتبة الشعور بالألم البدئية عند مقارنة الجرذان المحقونة DLS أو LEAP2 أو DLS+LEAP2 مع الجرذان المحقونة بالغريلين، الجدول (5) الشكل (8).

الجدول (5) متوسط الزمن الكامن لنفزة الذيل \pm الانحراف المعياري، وقيم p-value لدى الجرذان المحقونة بالغريلين والجرذان المحقونة بـ DLS والجرذان المحقونة بالبيتيد LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن DLS+LEAP2 مقارنةً مع العتبات الشاهدة، وقيم p-value.

المادة المحقونة	القياس البدئي	القياس بعد الحقن	الفرق بين القياسين %	p-value بدئي/بعد الحقن	p-value للقيم بعد الحقن
الغريلين	3.5	7.2	105%	($P \leq 0.001$)	DLS/الغريلين ($P \leq 0.001$)
DLS	3.8	2.9	-23%	($P \leq 0.05$)	DLS/DLS+LEAP2 ($P = 0.15$)
LEAP2	3.9	3	-23%	($P \leq 0.05$)	LEAP2/DLS+LEAP2 ($P \leq 0.09$)
DLS+LEAP2	3.7	2.9	-21%	($P \leq 0.05$)	



الشكل (8) متوسط الزمن الكامن لتفغضة الذيل \pm الانحراف المعياري لدى الجرذان المحقونة بالغريلين والجرذان المحقونة بـ DLS والجرذان المحقونة بالبيبتيد LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن DLS+LEAP2 مقارنة مع العتبات الشاهدة.

2. تحري سبيل الغريلين في إثارة الحساسية الألمية المحرّضة بحقن البيبتيد LEAP2.

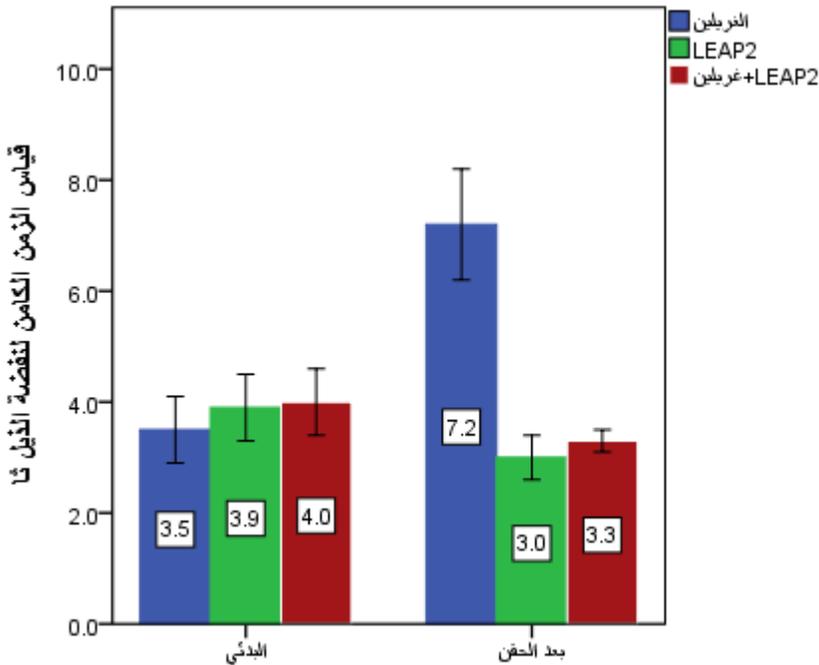
بهدف معرفة مدى توسط الغريلين السبيل الذي يسلكه البيبتيد LEAP2 في إثارة الحساسية الألمية. تم الحقن المتزامن للجرذان بالغريلين والبيبتيد LEAP2 (المجموعة السادسة).

حيث لوحظ وجود انخفاض معنوي في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد الحقن المتزامن السابق 17% - ($P \leq 0.05$)، ويمثل ذلك لوحظ وجود انخفاض معنوي في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن البيبتيد LEAP2 ونسبة 23% - ($P \leq 0.05$). بالمقابل ارتفعت عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن الغريلين بمقدار 105% ($P \leq 0.001$) (المجموعة الرابعة) الجدول (6) الشكل (9).

دور الأجسام المضادة المعدلة للبيتيد LEAP2 في تسكين الألم لدى جرذان Wistar

جدول (6) متوسط الزمن الكامن لنفوضة الذيل \pm الانحراف المعياري، وقيم p-value لدى الجرذان المحقونة بالغريلين والجرذان المحقونة بالبيتيد LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن بالغريلين + البيتيد LEAP2 مقارنةً مع العتبات الشاهدة.

المادة المحقونة	القياس البدئي	القياس بعد الحقن	الفرق بين القياسين %	p-value بدئي/بعد الحقن	p-value للقيم بعد الحقن
الغريلين	3.5	7.2	105%	(P≤0.001)	(P≤0.001) LEAP2/الغريلين
LEAP2	3.9	3	-23%	(P≤0.05)	(P≤0.001) LEAP2+الغريلين/غريلين
غريلين + LEAP2	4	3.3	-17%	(P≤0.05)	(P=0.18) LEAP2+الغريلين / LEAP2



الشكل (9) مخطط بياني لمتوسط الزمن الكامن لنفوضة الذيل \pm الانحراف المعياري لدى الجرذان المحقونة بالغريلين والجرذان المحقونة بالبيتيد LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن بالغريلين + البيتيد LEAP2 مقارنةً مع العتبات الشاهدة.

3. تحري سبيل الغريلين في تسكين الألم المحرض بحقن Anti-LEAP2.

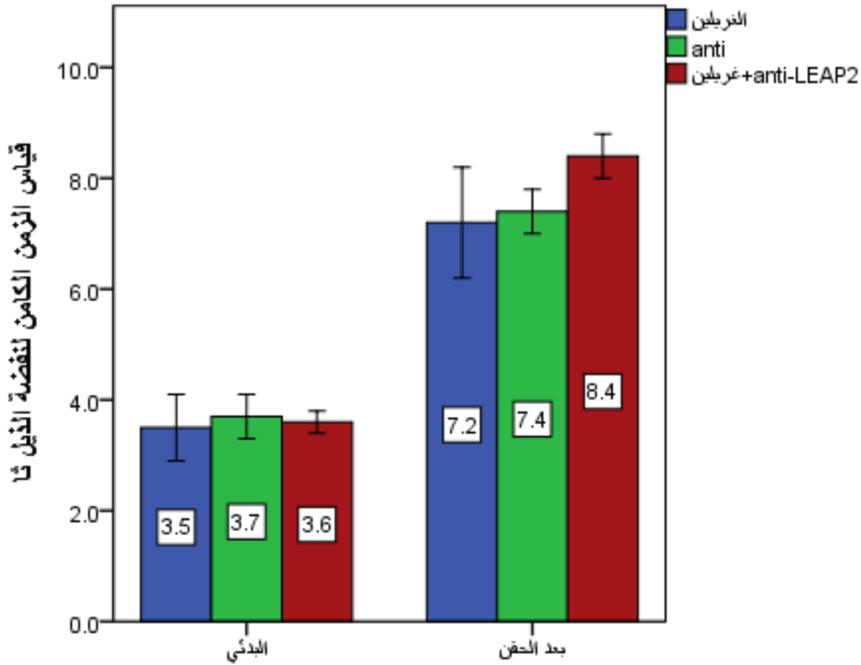
بهدف معرفة مدى توسط الغريلين السبيل الذي تسلكه Anti-LEAP2 في تسكين الألم. تم الحقن المتزامن للجرذان بالغريلين و Anti-LEAP2 (المجموعة السابعة).

حيث لوحظ وجود ارتفاع معنوي في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد الحقن المتزامن السابق وبنسبة %133 ($P \leq 0.05$) (المجموعة السابعة)، ويمثل ذلك أيضاً لوحظ وجود ارتفاع معنوي في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن Anti-LEAP2 وبنسبة %100 ($P \leq 0.05$) (المجموعة الخامسة).

بالمقابل ارتفعت عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن الغريلين بمقدار %105 ($P \leq 0.001$) (المجموعة الرابعة) جدول (7) الشكل [10].

جدول (7) متوسط الزمن الكامن لنفضة الذيل \pm الانحراف المعياري، وقيم p-value لدى الجرذان المحقونة بالغريلين والجرذان المحقونة Anti-LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن بالغريلين + Anti-LEAP2 مقارنةً مع العتبات الشاهدة.

المادة المحقونة	القياس البدئي	القياس بعد الحقن	الفرق بين القياسين %	p-value بدئي/بعد الحقن	p-value للقيم بعد الحقن
الغريلين	3.5	7.2	105%	($P \leq 0.001$)	($P=0.19$)
Anti-LEAP2	3.7	7.4	100%	($P \leq 0.05$)	
غريلين + Anti-LEAP2	3.6	8.4	133%	($P \leq 0.05$)	($P \leq 0.05$)



الشكل (10) مخطط بياني لمتوسط الزمن الكامن لنفوضة الذيل \pm الانحراف المعياري لدى الجردان المحقونة بالغريلين والجرذان المحقونة Anti-LEAP2 والجرذان المحقونة بالتزامن بالغريلين + Anti-LEAP2 مقارنةً مع العتبات الشاهدة.

خامساً-المناقشة:

تؤكد نتائج الدراسة الحالية الخاصة بتقييم التغيرات الدالة على حدوث التهاب المفاصل الروماتيدي، إثر المعاملة بالبريستان (وتهدف المعاملة بالبريستان إلى تحريض البيتيد LEAP2 وإيضاح دور الأجسام المضادة المُعدلة للبيتيد LEAP2 في تسكين الألم) بأن تركيز البروتين الارتكاسي التفاعلي CRP والعامل الروماتيدي RF وعدد كريات الدم البيضاء WBC قد ارتفع بشكل ملحوظ لدى المجموعة المعاملة بالبريستان مقارنةً مع الشاهدة الشكل (2)، ويتفق ذلك مع الدراسات التي تبين أن معاملة الجردان بالبريستان تؤدي إلى تحريض التهاب مفاصل روماتيدي [19].

وفي ذات السياق وجدنا أن التهاب المفاصل الروماتيدي المحرض بالبريستان أدى إلى ارتفاع ملحوظ في تركيز الببتيد LEAP2 بنسبة %187 مع انخفاض في تركيز الغريلين بنسبة %57 وعتبة الشعور بالألم البدئية بنسبة %30.2 مقارنةً مع المجموعة الشاهدة. يتفق ذلك مع الدراسات التي تبين أنه قد يستخدم مستقبلاً الببتيد LEAP2 كمؤشر لحدوث التهاب المفاصل الروماتيدي لدى البشر، حيث ارتفع تركيز الببتيد LEAP2 بشكل ملحوظ لدى المرضى المصابين بالتهاب المفاصل الروماتيدي، وكذلك بعد الإصابات الالتهابية المحرصة بالميكروبات، أو نتيجة رد فعل مناعي [21].

بهدف التأكد من أن انخفاض عتبة الشعور بالألم على صلة بارتفاع تركيز الببتيد LEAP2، تم حقن الجرذان المعاملة بالبريستان Anti-LEAP2 حيث سجل ارتفاع عتبة الشعور بالألم البدئية بشكل جزئي وبنسبة %43 مقارنةً مع الجرذان المعاملة بالبريستان فقط، دون أن يصل هذا الارتفاع إلى مقدار عتبة الشعور بالألم البدئية (الشاهدة) الشكل (6)، بناءً عليه ربما تكون زيادة الحساسية الألمية المرتبطة بمعاملة الجرذان بالبريستان على صلة بببتيدات عصبية بعيدة عن الببتيد LEAP2 مثل الهيستامين والبروستاغلاندين والمادة p والغلوماتات [22] على العموم يحتاج ذلك إلى مزيد من الأبحاث لمعرفة السبل التي يحفزها البريستان في إثارة الحساسية الألمية، وليس من المستبعد أن يكون هناك تداخل في سبل إثارة الحساسية الألمية بين الببتيدات العصبية السابقة وبين الببتيد LEAP2.

أما عن انخفاض تركيز الغريلين بعد المعاملة بالبريستان فإنه ربما تكون هناك إشارات متبادلة بين المعدة والكبد، حيث تحفيز الببتيد LEAP2 من الكبد يؤدي إلى تثبيط إفراز غريلين المعدة [4] وعليه لابد من مزيد من الأبحاث لكشف تلك العلاقة. وعلاوةً على ذلك نجد أن النتائج السابقة اقتصر على كشف بعض السبل المؤثرة في

تغير تركيز البيتيد LEAP2 دون أن توضح الآلية التي يسلكها البيتيد LEAP2 في تغير عتبة الشعور بالألم، ولمعرفة هذه الآلية لابد من توضيح أن البيتيد LEAP2 يعمل كحاصر للمستقبل (GHS-R1a) (مستقبل الغريلين) [4]، حيث لم يلاحظ وجود أي فروق معنوية في عتبة الشعور بالألم لدى جرذان المحقونة بالتزامن DLS مع البيتيد LEAP2 (المجموعة العاشرة) مقارنةً مع الجرذان المحقونة DLS فقط (المجموعة التاسعة) الشكل (8). مما يشير إلى تداخل مستقبل (GHS-R1a) (مستقبل الغريلين) في آلية تسكين الألم المحرصة بحقن Anti-LEAP2، وبما أن المستقبلات الأخيرة تتوسط دور الغريلين في تسكين الألم [1]، فإنه ربما يكون للبيتيد LEAP2 دور في زيادة الحساسية الألمية، ول Anti-LEAP2 دور في تسكين الألم، على اعتبار أن دراستنا الحالية قد أشارت إلى قدرة Anti-LEAP2 على الحد من تأثير البيتيد LEAP2 الحاصر لمستقبل (GHS-R1a) (مستقبل الغريلين)، حيث أدى الحقن المديد (لمدة 14 يوم) المتزامن ل Anti-LEAP2 مع البيتيد LEAP2 (المجموعة السابعة) إلى ارتفاع في وزن الجسم بنسبة 53.2%، بالمقارنة مع نتائج حقن البيتيد LEAP2 لوحده (المجموعة الثالثة)، وتجاوز هذا الارتفاع قيم متوسطات وزن الجسم لدى الجرذان الشاهدة ونسبة 21.7% الشكل (5). ويفسر هذا الارتفاع في متوسطات وزن الجسم عن القيم الشاهدة بقدرة Anti-LEAP2 على حجب تأثير البيتيد LEAP2 الداخلي أو المحقون خارجياً في خفض وزن الجسم، مما يعزز تأثير الغريلين الداخلي في زيادة وزن الجسم (4).

أضافة إلى ذلك أظهرت نتائج دراستنا ارتفاع عتبة الشعور بالألم البدئية بنسبة

100% بعد حقن Anti-LEAP2، وذلك عبر تثبيط الحجب الذي يمارسه البيتيد

LEAP2 على مستقبل (GHS-R1a) (مستقبل الغريلين)، مما يؤكد قدرة البيتيد

LEAP2 على تثبيط مستقبل الغريلين وكبح مسار الغريلين في تسكين الألم الشكل [9]،

كما أشارت دراستنا الحالية إلى أن حقن الغريلين خارجياً أدى إلى ارتفاع عتبة الشعور

بالألم بنسبة 105% الشكل (7)، مما يدل على دور حاسم للغريلين و Anti-LEAP2 في تسكين الألم، وهذا يتفق مع الدراسات التي أشارت إلى أن حقن الغريلين داخل البطينات الدماغية أو في تجويف البريتوان أعطى أثراً مسكناً للألم وكابحاً للشهية تم إحصاره بشكل نوعي بواسطة الحاصر الانتقائي لمستقبل هرمون الغريلين (DLS). كما افترض في هذه الدراسة أن الآلية التي يمارس من خلالها الغريلين تأثيره المسكن للألم قد تكون أفيونية الواسطة وذلك لأن حقن النالكوسون، الحاصر للمستقبلات الأفيونية، عاكس بشكل كبير التأثير المسكن للألم المحرّض بواسطة الغريلين [1].

ومن الجدير بالذكر الإشارة إلى أن حقن الببتيد LEAP2 أدى إلى إثارة الحساسية الألمية بنسبة 23% الشكل (7) وهي أقل من النسبة 28.2% الناتجة عن إثارة الحساسية الألمية بفعل الببتيد LEAP2 المحرض داخلياً بالبريستان الشكل (6)، بالتالي ربما يرتبط ذلك بتغير مقدار تركيز الببتيد LEAP2 في الدم أو بتغير درجة حجب الببتيد LEAP2 لمستقبل الغريلين في حال كان الببتيد LEAP2 محقوناً خارجياً أو محرضاً بالبريستان، وهذا ما يتطلب المزيد من الأبحاث على المستوى الجزيئي. وعلى العموم يعزز الببتيد LEAP2 المحقون خارجياً أو المحرض بالبريستان الحساسية الألمية بشكل ملحوظ، وتتفق نتائج هذه الدراسة مع الدراسات التي تشير إلى أن حقن الببتيد LEAP2 يؤدي إلى حجب وظائف الغريلين، حيث أدى حقن الببتيد LEAP2 في بطينات الدماغ أو البريتوان عند الجرذان إلى كبح وظائف الغريلين المركزي، المتمثلة في تحفيز الشهية [4] وربما أيضاً تسكين الألم على اعتبار وجود دور حاسم للغريلين في تسكين الألم [1].

كما أظهرت نتائج دراستنا بأن الحقن المشترك للببتيد LEAP2 و Anti- (المجموعة السابعة)، قد أدى إلى ارتفاع معنوي في عتبة الشعور بالألم البدئية

بمقدار 86% بالمقابل ارتفعت عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن Anti-LEAP2 بمفرده بمقدار 100% (المجموعة الخامسة)، دون فارق ملحوظ عن ارتفاع عتبة الشعور بالألم البدئية للمجموعة السابقة.

الشكل (4) مما يؤكد قدرة Anti-LEAP2 على الارتباط في الموقع الفعال للبيبتيد LEAP2، وإبطال تأثيره داخل المتعضية وما ينتج عن ذلك من تعزيز وظائف الغريلين المتمثلة في زيادة الشهية وتسكين الألم [23،24،1]، على العموم يؤدي ذلك إلى تعاطم دور Anti-LEAP2 في تسكين الألم عبر قدرتها على تعزيز عمل الغريلين، وفي ذات السياق أيضاً لم نجد أي فرق ملحوظ بين مقدار تسكين الألم بعد حقن الغريلين (المجموعة الرابعة)، وبين مقدار تسكين الألم بعد حقن Anti-LEAP2 (المجموعة الخامسة). ويمكننا الاستنتاج بأن درجة تسكين الألم للغريلين المحقون خارجياً تساوي تقريباً درجة تسكين الألم المحرض للغريلين الداخلي المُقيد أو المحجوب بالبيبتيد LEAP2، وعلى النقيض من ذلك لوحظ تراجع واضح في مقدار تسكين الألم، وفرط في الحساسية الألمية بعد حقن البيبتيد LEAP2 (المجموعة الثالثة) مقارنةً مع الجرذان المحقونة غريلين أو المحقونة Anti-LEAP2. الشكل (7).

بالمقابل أدى الحقن المشترك للجرذان بـ Anti-LEAP2 مع الغريلين (المجموعة السابعة) إلى ارتفاع معنوي في عتبة الشعور بالألم البدئية بنسبة 133%، بينما اقتصر ارتفاع عتبة الشعور بالألم البدئية بعد حقن الغريلين على نسبة 105% فقط (المجموعة الرابعة)، وبعد حقن Anti-LEAP2 على نسبة 100% (المجموعة الخامسة) الشكل (10)، ومن المرجح أن يُعزى الارتفاع الواضح في عتبة الشعور بالألم البدئية بعد الحقن المشترك السابق إلى الزيادة في فاعلية الغريلين الناتجة عن تآزر الغريلين المحقون خارجياً مع الغريلين الداخلي المحرر من تثبيط البيبتيد LEAP2 بعد حقن Anti-LEAP2، ويتفق ذلك مع الدراسة التي أشارت إلى أن الحقن الوريدي

للغريلين في الفئران المجموعة أدى إلى خفض مستويات الببتيد LEAP2 البلاسمي وكذلك التعبير عن mRNA LEAP2 في الكبد وما ينتج عن ذلك من تسكين ألم [25]. وتزداد أهمية الحقن المشترك السابق إذا ثبت بأنه يحد من الآثار الجانبية للأفيونات الخارجية وهذا ما يتطلب المزيد من الأبحاث لكشف المسارات داخل الخلية المتعلقة بحساسية المستقبلات لربائطها، والمرتبطة بتفعيل مراكز داخل الدماغ الحوفي واللوزة الدماغية مسؤولة عن سلوك الإدمان [26].

خامساً-الاستنتاجات:

- 1- إن التهاب المفاصل الروماتيدي المحرض بالبريستاتان لدى جرذان wistar يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في تركيز الببتيد LEAP2، وانخفاض في تركيز الغريلين وعتبة الشعور بالألم.
- 2- قدرة الببتيد LEAP2 على تثبيط مستقبل الغريلين وكبح مسار الغريلين في تسكين الألم وتعزيز الشهية.
- 3- قدرة Anti-LEAP2 على رفع عتبة الشعور بالألم البدئية من خلال الارتباط بالموقع الفعال للببتيد LEAP2 وإبطال تأثيره على عتبة الشعور بالألم وتعزيز الشهية.

سادساً-التوصيات:

دراسة موسعة ومعقدة لتأثير رباط مستقبل الغريلين خارجية وداخلية المنشأ على كل من تسكين الألم والشهية ووزن الجسم، لما تنتطوي عليه من أهمية نظرية وتطبيقية في التعرف على آليات تحكم منظومة الغريلين بتسكين الألم والشهية وتطبيقاتها المباشرة في المجال الطبي السريري بعيداً عن الآثار الجانبية التي تسببها أدوية تسكين الألم الأخرى.

سابعاً-المراجع:

- 1- Wei, J., et al., In vivo characterization of the effects of ghrelin on the modulation of acute pain at the supraspinal level in mice. *Peptides*, 2013. 43: p. 76-82
- 2- Pirzadeh, S., Sajedianfard, J., Aloisi, A. M., & Ashrafi, M. (2019). Effects of intracerebroventricular and intra-arcuate nucleus injection of ghrelin on pain behavioral responses and met-enkephalin and β -endorphin concentrations in the periaqueductal gray area in rats. *International journal of molecular sciences*, 20(10), 2475.
- 3- Krause, A., et al., LEAP-1, a novel highly disulfide-bonded human peptide, exhibits Antimicrobial activity. *FEBS Lett*, 2000. 480(2-3): p. 147-50.
- 4- Ge, X., et al.,(2018). LEAP2 Is an Endogenous Antagonist of the Ghrelin Receptor. *Cell Metab.*, 27(2): p. 450-469.
- 5- Furness, S. G. B. Ringuet, M. T., Furness, J. B., &(2022). G protein-coupled receptor interactions and modification of signalling involving the ghrelin receptor, GHSR1a. *Journal of neuroendocrinology*, 34(9), e13077.
<https://doi.org/10.1111/jne.13077>**Cop**

.nbib

- 6- Sohn J. W. (2015). Network of hypothalamic neurons that control appetite. *BMB reports*, 363 48(4), 229–233.
<https://doi.org/10.5483/bmbrep.2015.48.4.272>
- 7- Khatib, N., Gaidhane, S., Gaidhane, A. M., Khatib, M., Simkhada, P., Gode, D., & Zahiruddin, Q. S. (2014). Ghrelin: ghrelin as a regulatory Peptide in growth hormone secretion. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR*, 8(8), MC13–MC17.
<https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/9863.4767>
- 8- Christopoulos, A., Changeux, J.-P., Catterall, W.A., Fabbro, D., Burris, T.P., Cidlowski, J.A., Olsen, R.W., Peters, J.A., Neubig, R.R., Pin, J.-et al.(2014). International Union of Basic and Clinical Pharmacology. XC. Multisite pharmacology: recommendations for the nomenclature of receptor allosterism and allosteric ligands.
- 9- M'Kadmi C, Cabral A, Barrile F, Giribaldi J, Cantel S, Damian M, et al. NTerminal Liver-Expressed Antimicrobial Peptide 2 (LEAP2) Region Exhibits Inverse Agonist Activity Toward the Ghrelin Receptor. *J Med Chem* (2019) 62:965–73. doi: 10.1021/acs.jmedchem.8b01644 8.

- 10- Wang J, Li H, Shao X, Nie W, Liu Y, Xu Z, et al. Identifying the Binding Mechanism of LEAP2 to Receptor GHSR1a. FEBS J (2019) 286:1332–45. doi: 10.1111/febs.14763
- 11- Krause, A., et al., Isolation and biochemical characterization of LEAP-2, a novel blood peptide expressed in the liver. Protein Sci, 2003. 12(1): p. 143–52.
- 12- Gortan, G. (2018). Ghrelin forms in the modulation of energy balance and metabolism. Eat Weight Disord., 40 (50): p. 110–130.
- 13- Mani, B.K., et al., LEAP2 changes with body mass and food intake in humans and mice. J Clin Invest, 2019. 129(9): p. 3909–3923.
- 14- Islam, M.N., et al., .Liver-expressed antimicrobial peptide 2 antagonizes the effect of ghrelin in rodents. J Endocrinol, 2020. 244(1): p. 13–23.
- 15- Liu, F., et al., Molecular cloning and expression analysis of the liver-expressed antimicrobial peptide 2 (LEAP-2) gene in grass carp. Vet Immunol Immunopathol, 2010. 133(2–4): p. 133–43.
- 16- Casterlow, S., et al., An antimicrobial peptide is downregulated in the small intestine of Eimeria maxima-infected chickens. Poult Sci, 2011. 90(6): p. 1212–9

- 17- Hoffmann, MH., et al. The rheumatoid arthritis-associated autoantigen hnRNP-A2 (RA33) is a major stimulator of autoimmunity in rats with pristane-induced arthritis. *J Immunol.* 2007; 179: 7568-7576. PMID: 18025202
- 18- Kuroda, Y., et al., Distinctive patterns of autoimmune response induced by different types of mineral oil. *Toxicol Sci.* 2004; 78: 222-228. doi: 10.1093/toxsci/kfh063 PMID: 14718649
- 19- Tuncel, J., Haag, S., Hoffmann, M. H., Yau, A. C., Hultqvist, M., Olofsson, P., ... & Holmdahl, R. (2016). Animal models of rheumatoid arthritis (I): pristane-induced arthritis in the rat. *PLoS One*, 11(5), e0155936.
- 20- Fernlessy, M. R., & Lee, J. R. (1975). The assessment of and the problems involved in the experimental evaluation of narcotic analgesics. *Methods in narcotics research*, 76-79.
- 21- Francisco, V., Tovar, S., Conde, J., Pino, J., Mera, A., Lago, F & Gualillo, O. (2020). Levels of the novel endogenous antagonist of ghrelin receptor, liver-enriched antimicrobial peptide-2, in patients with rheumatoid arthritis. *Nutrients*, 12(4), 1006.
- 22- Elson, C. J., Thompson, S. J., Westacott, C. I., & Bhoola, K. D. (1992). Update Mediators of Joint Swelling and

Damage in Rheumatoid Arthritis and Pristane Induced Arthritis. *Autoimmunity*, 13(4), 327–331

- 23– Khatib, M. N., Khatib, M., Gaidhane, S., Gaidhane, A., & Zahiruddin, Q. S. (2014). Ghrelin for regulating appetite and energy balance: A systematic review. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 4(3), 101–5.
- 24– Cummings, D. E. (2006). Ghrelin and the short–and long–term regulation of appetite and body weight. *Physiology & behavior*, 89(1), 71–84
- 25– Islam, M. N., Mita, Y., Maruyama, K., Tanida, R., Zhang, W., Sakoda, H., & Nakazato, M. (2020). Liver–expressed antimicrobial peptide 2 antagonizes the effect of ghrelin in rodents. *Journal of Endocrinology*, 244(1), 13–23.

تأثير لقاح داء الكلب الخامل في تراكيز الأضداد لدى

بعض الخفافيش السورية

يارا الرمضان*، نهلة إبراهيم**، تغريد قدار***، أنور العمر****

ملخص البحث

هدفت هذه الدراسة إلى دراسة تراكيز الأضداد المناعية لدى نوعي الخفافيش آكل الفاكهة *Rousettus aegyptiacus* و آكل الحشرات *Myotis myotis* حسب استجابتها للقاح فيروس داء الكلب الخامل. استخدمنا 15 خفاشاً من كل نوع. قسمت حيوانات التجربة إلى ثلاث مجموعات: المجموعة الأولى هي مجموعة الشاهد، المجموعة الثانية أعطيت جرعتين من لقاح داء الكلب الخامل بحجم 100µl خلال الأيام 0,3,7 ثم سحب منها الدم في اليوم العاشر، أما المجموعة الثالثة أعطيت ثلاث جرعات بنفس التركيز وسحب منها الدم في اليوم الرابع عشر، ثم قمنا بقياس تراكيز الأضداد. بمقارنة تراكيز أضداد النوعين قبل وبعد الجرعات، تبين ارتفاع تراكيز الضدين IgM و IgG عند كلا النوعين ولكن عند النوع *Rousettus aegyptiacus* بشكل أكبر من النوع *Myotis myotis* وذلك بين مجموعتي اليوم العاشر والرابع عشر بعد التجريع. تبين من خلال الدراسة أن كلا نوعي الخفافيش يملكان آلية الاستجابة المناعية ذاتها لفيروس داء الكلب الخامل مع فروقات فقط في تراكيز المتغيريات.

كلمات مفتاحية: *Myotis myotis*، *Rousettus aegyptiacus*، داء الكلب، أضداد مناعية.

(* طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - قسم علم الحيوان - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

(**) أستاذ مساعد - قسم علم الحيوان - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية..

(***) مدرسة - قسم الطب المخبري - كلية الطب البشري - جامعة تشرين.

(****) أستاذ، قسم علم الحياة، كلية العلوم، جامعة البعث.

Effect of inactive rabies vaccine on antibody concentrations in some Syrian bats

Yara Al-Ramadan*, Nahla Ebrahim**

Taghred Khaddar***, Anouar Alomar****

Abstract

This study aimed to study the concentrations of antibodies in the two species of bats *Rousetus aegyptiacus* and *Myotis myotis* according to the immune response to RABV (Rabies virus) vaccine, using 15 bats of each species.

The experimental animals were divided into three groups, the control group, the second group was given two doses of the inactive RABV vaccine of 100µl and then the blood was pulled on the tenth day, the third group was given three doses with the same concentration and blood withdrawal on the fourteenth day, after that, we performed the tests of blood parameters.

Antibodies results of this study showed, an increase of IgG and IgM antibodies in both species, however this increase was higher in *Rousettus aegyptiacus* more than *Myotis myotis* between 10th and 14th day groups after the dose.

The study showed that both bat species had the same immune response mechanism to the inactive rabies vaccine with only

Keywords: *Rousettus aegyptiacus*, *Myotis myotis*, Rabies, Immune antibodies.

*) PhD student, animal department, faculty of science, Tishreen university, Latakia, Syria.

***) Doctor, animal department, faculty of science, Tishreen university, Latakia, Syria.

****) Associate professor, department of laboratory medicine, faculty of medicine, Tishreen Uni, Lattakia, Syria.

*****) Doctor, Department of Biology, Faculty of Science, Albaath University, Homs, Syria.

1. مقدمة:

تعد الخفافيش الثدييات الوحيدة الطائرة في العالم [1]، وتوجد في كل قارات العالم باستثناء الأجزاء الأكثر برودة والأكثر عزلة من الأرض، بما في ذلك القطب الشمالي والقطب الجنوبي وبعض الجزر المحيطية المعزولة. تشير التقديرات إلى أن هناك من 900 إلى أكثر من 1200 نوع من الخفافيش في العالم تنتمي لـ 18 فصيلة وحوالي 174 جنساً [2]، مما يشكل خمس إجمالي عدد الثدييات على الأرض أي في المرتبة الثانية بعد القوارض. ومع ذلك، فإن هذه الأرقام هي مقاييس نسبية أي أنه يمكن أن يكون هناك المزيد من أنواع الخفافيش في العالم. يوجد أكبر عدد من الخفافيش في المناطق الاستوائية، وتعد أمريكا الوسطى والجنوبية موطناً لما يقارب ثلث أنواع الخفافيش في العالم [2].

تشكل الخفافيش في سورية ما يعادل 20% من الثدييات السورية والتي يبلغ عددها 125 نوعاً [1]، ومن خلال الدراسة المرجعية للخفاشيات السورية، تبين ندرة الدراسات التخصصية وخاصة من ناحية الدراسات المورفولوجية والتشريحية والوراثية، وخاصة تلك الدراسات التي تتناول بيئة وحماية فائنا الخفافيش في سورية [3].

-الناحية المناعية لدى الخفافيش:

تشكل الخفافيش حاضنة طبيعية لأكثر من 100 نوع من الفيروسات بعضها مميته للبشر، من بينها فيروس متلازمة الشرق الأوسط التنفسية، وفيروس إيبولا، وفيروس داء الكلب. تعود هذه المناعة ضد الفيروسات تحديداً لدور الإنترفيرونات Interferons التي تعمل كمتدمات في الاستجابة المناعية الفطرية لدى الخفافيش، فحلاً للبشر تمتلك الخفافيش فقط 3 أنواع من الإنترفيرونات، وبالعكس الثدييات التي تنشط لديها أجهزة المناعة بعد العدوى، يبقى الإنترفيرون ألفا عند الخفافيش فعالاً

بشكل دائم حتى في حال عدم التعرض للفيروسات؛ مما يسمح باستجابة فعالة وسريعة ودائمة، في حين أن استمرارية الفعاليات المناعية في الأنواع الأخرى كالإنسان أو الفئران تسبب السمية للخلايا والأنسجة [4].

بالرغم من الأهمية الكبيرة للخفافيش إلا أنها تتميز بسمعة سيئة لأنها المستودع الرئيس للعديد من العوامل الممرضة خاصة الفيروسات التي تنتقل إلى الإنسان بطرق مباشرة أو غير مباشرة وتسبب له أمراضاً [3,5].

تعد العلاقة بين الخفافيش والأمراض المعدية معقدة إذ تؤوي الخفافيش فيروسات ممرضة لفترات طويلة دون دليل ظاهري على الإصابة بها، وقد يعزى ذلك إلى أن الخفافيش تطورت على مدى ملايين السنين، وتطورت معها العديد من الفيروسات، إضافة إلى دور السبات الشتوي في حفظ هذه الفيروسات. ويعتقد هيو كلارك أن «فهم قدرة الخفافيش على إيواء الفيروسات الممرضة دون الإصابة بها يمكن أن تؤدي إلى فهم آليات إمرضيه ذات علاقة في الرعاية الصحية البشرية» [5].

تمتاز الاستجابة المناعية الطبيعية والمكتسبة عند الخفافيش باختلافات مهمة نوعية أو كمية عن الاستجابة عند القوارض وبقية الثدييات ومع ذلك فإن هناك فروقاً في الاستجابات المناعية ضد الأخماج الفيروسية بين أنواع الخفافيش وذلك بحسب ردود الفعل المختلفة تجاه الكواشف المناعية في أمصال هذه الأنواع [5].

تشير الدراسات إلى وجود العديد من التشابهات في الاستجابة المناعية بين الخفافيش وبقية الثدييات التي تلي الخفافيش في السلم التطوري، فعلى سبيل المثال تمت دراسة البالعات، والخلايا البائية والتائية والأضداد IgM و IgG, IgA في مصل الخفاش آكل الفاكهة الكبير *Artibeus lituratu* [5].

تؤدي الخلايا المناعية المتخصصة (البالعات والعدلات والخلايا القاتلة) أدواراً أساسية في استجابة الخفاش كثوي لخمج ما والاحتواء المبكر له، إضافة إلى إنتاج كمية كبيرة من الأضداد IgG والتي تتطلب بدورها توسط الخلايا التائية المساعدة.

أشارت الدراسات إلى أن تحصين الخفافيش بـ 25mg من الألبومين البقري أدى إلى تشكل نوعين من الأضداد IgA و IgM وأن تعداد أنواع الكريات البيض لأنواع مختلفة من الخفافيش أظهر نسباً مرتفعة من اللمفاويات في جميع الأنواع المدروسة مقارنةً بالحمضات والأسسات التي كانت بنسب أقل [6].

-داء الكلب:

يعد داء الكلب أحد الأمراض الأكثر خطورةً وانتشاراً عبر الخفافيش، وفيروس داء الكلب هو فيروس مميت ينتقل إلى الأشخاص من لعاب الحيوانات المصابة عن طريق العض ليستهدف الدماغ والجهاز العصبي حيث يتطور بدايةً في الخلايا العظمية بمنطقة العض لينتقل لاحقاً إلى الخلايا العصبية [5].

العامل المسبب لداء الكلب هو فيروس داء الكلب Rabies virues الذي ينتمي إلى جنس الفيروسات الكلبية، عائلة الفيروسات الريدية Rhabdoviridae. تمتلك جزيئات فيروس داء الكلب تركيباً نقطياً حوالي 75 نانومتر × 200 نانومتر، مع قفيصة حلزونية محاطة بغلاف رقيق مرصع بالبروتين [7].

تعد فترة حضانة داء الكلب الفترة الأكثر تفاوتاً بين الأمراض الفيروسية التي تصيب الجهاز العصبي المركزي، وتبلغ غالباً من شهر إلى شهرين ولكن النطاق الفعلي بين 7 أيام إلى 6 سنوات [8]، وتم تسجيل أول حالة من الوفيات البشرية، بسبب داء الكلب المنتقل عبر الخفافيش في عام 1951م [9].

2-6- الغلوبولينات المناعية (الأجسام المضادة- الأضداد Antibodies):

تعد الأضداد IgG و IgM و IgD و IgA و IgE من أهم مكونات المناعة الخلوية

النوعية:

أنواع الأضداد:

- الضد (IgG): وهو أكثر أنواع الأضداد شيوعاً في بلازما الدم، إذ يمثل حوالي 70 إلى 75% من نسبة الضد البشري، يزيل السموم من الجسم، وينتقل من الأم إلى الجنين في الرحم عبر المشيمة، ويؤدي وظيفته في حماية الطفل بعد الولادة إلى أن ينشط جهاز المناعة خاصته. يرتفع مستوى هذه الأضداد بعد وقت متأخر نسبياً من الإصابة حيث توفر حماية مستمرة بعد الشفاء.
- الضد (IgM): يوجد في الدم ويمثل حوالي 10% من الضد البشري مستوى هذه الأضداد يبدأ بالارتفاع بعد عدة أيام من الإصابة، ثم يبدأ بالانخفاض بعد عدة أسابيع حتى أشهر أي أنه يوفر حماية للمدى الفوري بعد الإصابة الأولى.
- الضد (IgA): يوجد في مصل الدم والغشاء المخاطي المبطن للأنف واللحاج وحليب الأم، والمفرزات المعوية، ويمثل حوالي 10 إلى 15% من الضد البشري.
- الضد (IgE): يوجد بكميات ضئيلة لا تتعدى نسبتها 0.001% ونكمن وظيفته الأساسية في حماية الجسم من الطفيليات، أما في الحالات التي يندر فيها حدوث العدوى الطفيلية، فيدخل في تفاعلات الحساسية (Allergic Reactions) بصفة أساسية.

• الضد (IgD): يمثل أقل من 1% من الأضداد البشرية، وهو غير معلوم

الوظيفة على وجه التحديد، ولكن يُعتقد أنه يحفز إنتاج الأضداد في

الخلايا البيضاء البائية [10.11.12.13] B cells.

أجريت دراسة لأنواع الأضداد الثلاثة IgG، IgA و IgM لدى الخفافيش ومقارنتها مع أنواع الغلوبولينات البشرية باستخدام تقنية الرحلان الكهربائي (SDS-PAGE) بعد أن قسمت الخفافيش إلى ثلاث مجموعات فتبين احتواء مجموعتين منها على نطاق واحد رئيسي من الرواسب المقابلة لحركة IgM و IgG البشري تحت ظروف متطابقة، كما احتوت المجموعة الثالثة على نطاق رئيس ثالث يظهر في نفس موضع IgA البشري تحت نفس الشروط [14].

كما تطابقت النطاقات الرئيسية للمجموعة الأخيرة مع مكونات السلسلتين الثقيلة والخفيفة لكل من IgG و IgM البشري. وأثبتت هذه الدراسة أن الأوزان الجزيئية لسلاسل أضداد للخفافيش بلغت (52000 D/H, 22000D/L) للضد (IgG) و (90000 D/H, 22000 D/L) حيث (H :السلسلة الثقيلة و L: السلسلة الخفيفة)، وأكدت هذه الدراسة زيادة تراكيز الأضداد بشكل ملحوظ في الخفافيش المصابة بالفطريات [14].

تختلف أنماط الضد IgG بين الأنواع المختلفة من الخفافيش فمثلاً هناك نمط وحيد من الـ IgG عند خفاش *Carollia perspicillata* بينما يوجد ثلاثة أنماط إسوية عند النوع *Eptesicus fuscus* وخمسة أنماط إسوية لدى النوع *Myotis lucifugus* [15].

تضمنت دراسة [16] ثلاث مجموعات من الخفافيش الأولى تمت إصابتها بلقاح Marburg (MARV) تجريبياً والثانية أصيبت بالفيروس بشكل طبيعي بالعدوى من

المجموعة الأولى والثالثة مجموعة شاهدة بقيت بحالتها الطبيعية، وعند دراسة مستويات الأضداد النوعية IgG للفيروس MARV للخفافيش في المجموعتين تبين أنها بلغت ذروتها ثم انخفضت بسرعة في غضون 3 أشهر وبدون وجود فروقات ذات دلالة إحصائية بين نتائج المجموعتين، وبعد إحداث العدوى مرة أخرى؛ تبين أن انخفاض مستويات الأضداد النوعية MARV IgG بعد الإصابة الأولية غير مرتبطة مع فقدان مناعة وقائية طويلة الأمد ضد الإصابة بالفيروس وتكاثره.

على النقيض من دراسة [17] على عدوى فيروس داء الكلب المتكررة للخفافيش البنية الكبيرة (*Eptesicus fuscus*) التي وجدت أن استجابة الأضداد النوعية للفيروس بعد العدوى الأولية لم تكن قادرة على حماية جميع الخفافيش من الإصابة مرة أخرى ولوحظ معدل نفوق متماثل للخفافيش عند الإصابة الأولية والثانية، ولكن لوحظ انخفاض معدل الوفيات بعد الإصابة الثالثة والأخيرة بالفيروس، على الرغم أن الجرعة الفيروسية كانت عالية.

كانت مستويات الأضداد النوعية لـ RABV بعد العدوى سريعة الزوال بين الأفراد المصابين، وانخفضت إلى ما دون مستويات الكشف في العديد من الخفافيش المصابة بالعدوى اللاحقة. تشير هذه النتائج إلى أن العدوى المتكررة على المدى الطويل للخفافيش قد تمنح ذاكرة مناعية كبيرة وتقلل من قابلية الإصابة بفيروس RABV [17].

2. هدف البحث وأهميته:

تتبع أهمية البحث من دراسة الاستجابة المناعية بين أنواع الخفافيش ضد مستضد محدد، مما سيشكل إضافة مهمة حول الغلوبولينات المناعية لهذه الخفافيش، بما يحقق إمكانية الاستفادة من هذه المعلومات وتطبيقاتها على المستويين الطبي والبيئي، والإسهام

في إنتاج الأمصال المضادة لبعض الأمراض الفيروسية التي تصيب البشر وتقلها الخفافيش. كما تعد هذه الدراسة إضافة جديدة إلى بيانات التنوع الحيوي في سورية.

الجزء العملي:

مُنعت الحيوانات بـ 100µl من لقاح داء الكلب الخامل المخفف بمحلول (PBS) Phosphate-buffered saline بنسبة 1:10 عن طريق الفم خلال الأيام 0,3,7 كما هو مبين في الشكل (1)، وسُحب منها الدم قبل التجريع وفي اليومين العاشر والرابع عشر.



الشكل (1): تجريع الخفافيش بلقاح داء الكلب الخامل

حيوانات التجربة:

تم اصطياد الخفافيش باستخدام الشباك، مغارة الدوار-قرية كفر صنيف-صافيتا- محافظة طرطوس، ووضعت في أقفاص بأبعاد 100x75 cm وتم تحديد المتطلبات الغذائية للنوع قبل البدء بالتجربة.

تم إجراء البحث في مخابر كلية العلوم- جامعة تشرين- اللاذقية.

مواد البحث:

- 1- أفاص، ميزان حراري، أدوات تشريح.
- 2- إبر سحب دم، عبوات حفظ الدم DDTA.
- 3- أنابيب زجاجية، مثقلة.
- 4- جهاز مقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) شركة Shimadzu موديل 1700 الشكل (2).
- 5- لقاح داء الكلب الخامل (شركة zoetis) ، محلول تخفيف Phosphate-



.pH=7.4 buffered saline

الشكل (2): جهاز مقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) شركة

Shimadzu موديل 1700

قياس تراكيز الأضداد:

حددت تراكيز الأضداد باستخدام جهاز Autolyser (جهاز التحليل الكيميائي الأوتوماتيكي)، وقرئت تراكيز كل من الضدين IgA و IgM عند طول موجة 340nm والضد IgG عند طول موجة 546nm حسب تعليمات الشركة المصنعة للجهاز والكواشف. حيث يعتمد مبدأ عمل الجهاز على قياس تركيز المادة بتحديد نسبة العكارة بعد إجراء التفاعل اللوني بين المادة والكاشف المناسب حيث تتم قراءة تركيز العينة عند طول موجة ودرجة امتصاصية محددتين [18].

تصميم التجربة:

استخدمنا 15 خفاشاً لكل نوع وزعت عشوائياً إلى 3 مجموعات:

- المجموعة الأولى (الشاهد): تضم 5 خفافيش، سحب الدم منها مباشرة.
- المجموعة الثانية: تضم 5 خفافيش، جُرعت بـ 100µl من لقاح داء الكلب الخامل في اليوم الأساسي (اليوم صفر) وبجرعتين داعميتين في اليومين 3 و 7 وسحب الدم منها في اليوم العاشر.
- المجموعة الثالثة: تضم 5 خفافيش، جُرعت بـ 100µl من لقاح داء الكلب الخامل في اليوم الأساسي (اليوم صفر) وبجرعتين داعميتين في اليومين 3 و 7 وسحب الدم منها في اليوم الرابع عشر.

التحليل الإحصائي:

استخدم برنامج SPSS لإجراء التحاليل الإحصائية وحسب التباين ANOVA، (Two way anova، One way anova) ووضعت علامة * في

حال وجود فروق معنوية بين المتوسطات، واستخدم اختبار Tukey عند مستوى معنوية 5% كما استخدم برنامج Excel للرسم البياني.

3. النتائج والمناقشة:

تركيز الضد IgG:

النوع *Rousettus aegyptiacus*:

تبين لنا من اختبار ANOVA وجود فرق معنوي كبير بين متوسطات المجموعات الثلاث حيث ($P=0.000^{**}<0.05$) وعند إجراء اختبار Tukey لمعرفة معنوية القراءات بين أي مجموعتين، تبين وجود فرق معنوي كبير بين نتائج مجموعة الشاهد ونتائج كل من مجموعتي اليوم العاشر ($P=0.000^{**}<0.05$) والرابع عشر ($P=0.000^{*}<0.05$) وعدم وجود فرق معنوي بين مجموعة اليوم العاشر ومجموعة اليوم الرابع عشر ($P=0.092>0.05$) حيث ارتفع متوسط تركيز الضد IgG ووصل إلى 527.6 mg/dl في اليوم العاشر و 446 mg/dl في اليوم الرابع عشر في حين كان المتوسط في مجموعة الشاهد 253 mg/dl .

النوع *Myotis myotis*:

تبين لنا من اختبار ANOVA وجود فرق معنوي كبير جداً بين متوسطات المجموعات الثلاث حيث ($P=0.000^{***}<0.05$) وعند إجراء اختبار Tukey لمعرفة معنوية القراءات بين أي مجموعتين، تبين وجود فرق معنوي كبير جداً بين نتائج مجموعة الشاهد ونتائج مجموعة اليوم العاشر ($P=0.000^{**}<0.05$) ووجود فرق معنوي بين نتائج مجموعة الشاهد ونتائج مجموعة اليوم الرابع عشر ($P=0.010^{*}<0.05$) وعدم وجود فرق معنوي بين مجموعة اليوم العاشر ومجموعة اليوم الرابع عشر ($P=0.165>0.05$) حيث ارتفع متوسط تركيز الضد IgG ووصل إلى 372 mg/dl في اليوم العاشر و

318 mg/dl في اليوم الرابع عشر في حين كان المتوسط في مجموعة الشاهد 219.2 mg/dl الجدول (1) والشكل (3).

الجدول (1): تغير تركيز الضد IgG لدى النوعين *Rousettus aegyptiacus* و *Myotis myotis* خلال اليومين العاشر والرابع عشر بعد الحقن بلقاح داء الكلب الخامل مقارنة بمجموعة الشاهد

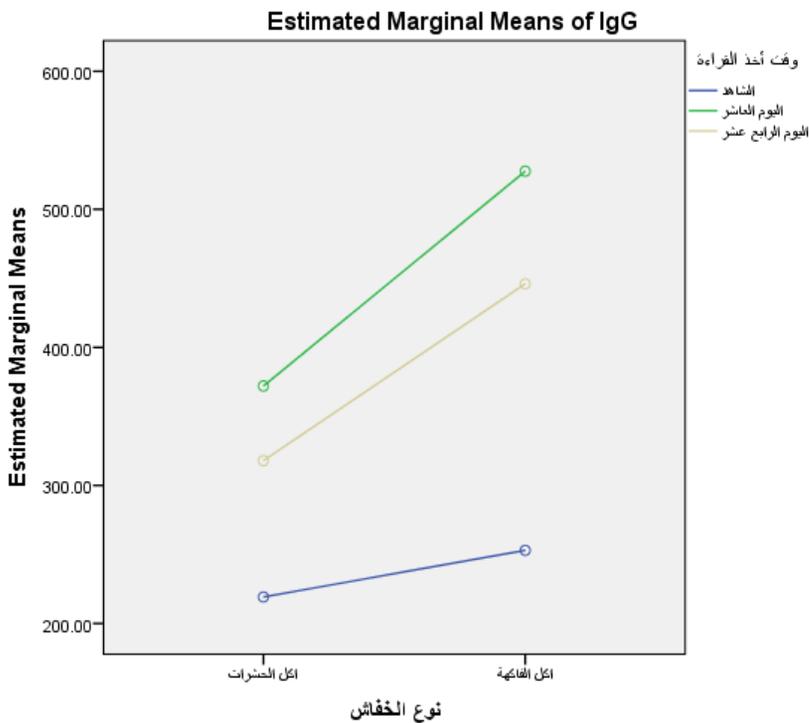
نوع الخفاش	P	مجموعة الشاهد	مجموعة اليوم العاشر	مجموعة اليوم الرابع عشر	تركيز الضد IgG mg/dl
<i>Rousettus aegyptiacus</i>	0.001**	253 A	527.6 B	446 B	
<i>Myotis myotis</i>	0.000***	219.2 A	372 B	318 B	

كل متوسطين لهما حرف مشترك لا يوجد بينهما فرق معنوي وفق اختبار Tukey.



الشكل (3) :تغير تركيز الضد IgG لدى النوعين *Rousettus aegyptiacus* و *Myotis myotis* خلال اليومين العاشر والرابع عشر بعد الحقن بلقاح داء الكلب الخامل مقارنة بمجموعة الشاهد

وعند إجراء تحليل التباين الثنائي Two way ANOVA من أجل دراسة تأثير اللقاح على كلا النوعين خلال مراحل التجربة تبين وجود فرق معنوي كبير جداً بين النوعين خلال جميع مراحل التجربة ($p= 0.00*** < 0.05$) ويبين المخطط البياني الشكل (4) أن أكبر ارتفاع لمتوسطات تراكيز الضد IgG كان بين مجموعة الشاهد ومجموعة اليوم العاشر للنوع آكل الفاكهة وأقل ارتفاع كان بين مجموعة اليوم العاشر ومجموعة اليوم الرابع عشر للنوع آكل الحشرات.



الشكل (4) تغيرات متوسطات تراكيز الضد IgG لدى النوعين *Rousettus*

aegyptiacus و *Myotis myotis* خلال مراحل التجربة

توافقت نتائج دراستنا مع نتائج دراسة [19] التي أظهرت وجود الضد IgG عند النوع *Rousettus aegyptiacus* بنسب أكبر من بقية أنواع الخفافيش الأخرى.

تركيز الضد IgM:

النوع *Rousettus aegyptiacus*:

تبين لنا من اختبار ANOVA وجود فرق معنوي كبير جداً بين متوسطات المجموعات الثلاث حيث ($P=0.000^{***}<0.05$) وعند إجراء اختبار Tukey لمعرفة معنوية القراءات بين أي مجموعتين، تبين وجود فرق معنوي كبير بين نتائج مجموعة الشاهد ونتائج كل من مجموعتي اليوم العاشر ($P=0.000^{**}<0.05$) والرابع عشر ($P=0.001^{*}<0.05$) وعدم وجود فرق معنوي بين مجموعة اليوم العاشر ومجموعة اليوم الرابع عشر ($P=0.287>0.05$) إذ ارتفع متوسط تركيز الضد IgM ووصل إلى 75.6 mg/dl في اليوم العاشر و 66.4 mg/dl في اليوم الرابع عشر في حين كان المتوسط في مجموعة الشاهد 36.1 mg/dl.

النوع *Myotis myotis*:

تبين لنا من اختبار ANOVA وجود فرق معنوي كبير بين متوسطات المجموعات الثلاث حيث ($P=0.001^{**}<0.05$) وعند إجراء اختبار Tukey لمعرفة معنوية القراءات بين أي مجموعتين، تبين وجود فرق معنوي كبير بين نتائج مجموعة الشاهد ونتائج مجموعة اليوم العاشر ($P=0.001^{**}<0.05$) ووجود فرق معنوي بين نتائج مجموعة الشاهد ونتائج مجموعة اليوم الرابع عشر ($P=0.036^{*}<0.05$) وعدم وجود فرق معنوي بين مجموعة اليوم العاشر ومجموعة اليوم الرابع عشر ($P=0.092>0.05$) إذ ارتفع متوسط تركيز الضد IgM ووصل إلى 55.9 mg/dl في اليوم العاشر و 47.2 mg/dl في اليوم الرابع عشر في حين كان المتوسط في مجموعة الشاهد 36.6 mg/dl. الجدول (2) والشكل (5).

الجدول (2): تغير تركيز الضد IgM لدى النوعين *Rousettus aegyptiacus* و *Myotis myotis* خلال اليومين العاشر والرابع عشر بعد الحقن بلقاح داء الكلب الخامل مقارنة بمجموعة الشاهد

نوع الخفاش	P	مجموعة الشاهد	مجموعة اليوم العاشر	مجموعة اليوم الرابع عشر	تركيز الضد IgM mg/dl
<i>Rousettus aegyptiacus</i>	0.000* **	36.1 A	75.6 A	66.4 B	
<i>Myotis myotis</i>	0.001* **	36.6 A	55.9 A	47.2 B	

كل متوسطين لهما حرف مشترك لا يوجد بينهما فرق معنوي وفق اختبار Tukey.

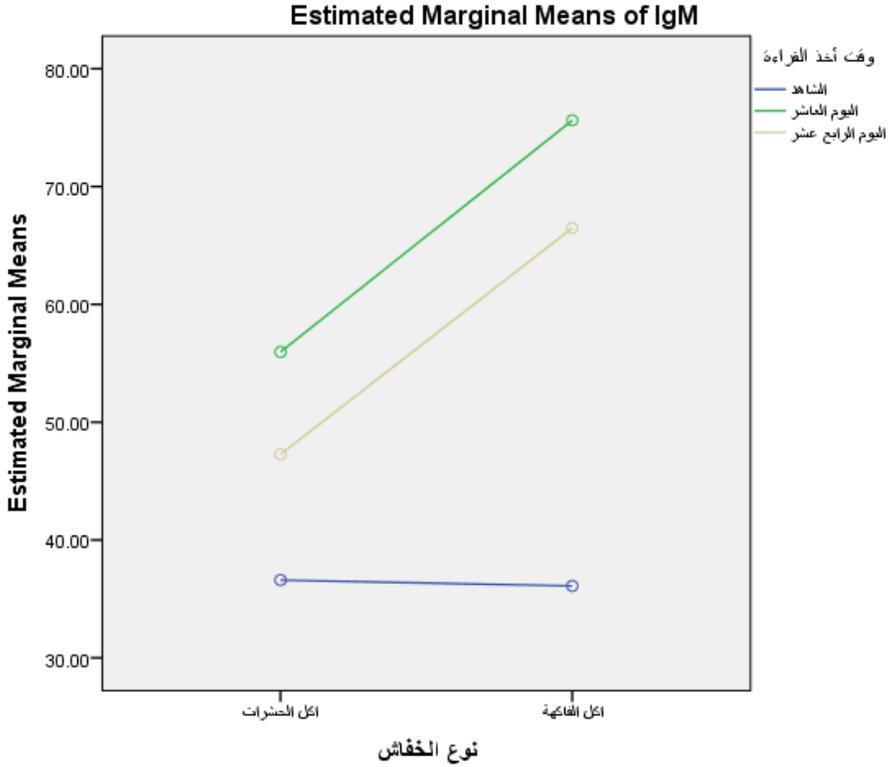


الشكل (5): تغير تركيز الضد IgM لدى النوعين *Rousettus aegyptiacus* و *Myotis myotis* خلال اليومين العاشر والرابع عشر بعد الحقن بلقاح داء الكلب الخامل مقارنة بمجموعة الشاهد

وعند إجراء تحليل التباين الثنائي Two way ANOVA من أجل دراسة تأثير اللقاح على كلا النوعين خلال مراحل التجربة تبين وجود فرق معنوي كبير جداً بين النوعين خلال جميع مراحل التجربة ($p = 0.000^{***} < 0.05$) ويبين المخطط البياني الشكل (6) أن أكبر ارتفاع لمتوسطات تراكيز الضد IgM كان بين مجموعة الشاهد ومجموعة اليوم العاشر للنوع آكل الفاكهة وأقل ارتفاع كان بين مجموعة اليوم العاشر ومجموعة اليوم الرابع عشر للنوع آكل الحشرات.

اتفقت نتائج دراستنا مع نتائج [6]، التي بينت أن تحصين الخفافيش بـ 25mg من الألبومين البقري أدى إلى تشكل نوعين من الأضداد IgM و IgA ومع دراسة [16] التي أكدت حدوث استجابة للضد IgG النوعي لفيروس Marburg (MARV) وبلغت ذروتها بحلول اليوم السابع.

بالمقارنة مع الاستجابة المناعية ضد فيروس داء الكلب عند الإنسان تبين ارتفاع قيم الأضداد النوعية IgM و IgG لفيروس داء الكلب عند الإنسان بعد أسبوعين من الإصابة الأولى بينما ارتفعت قيمة الضد IgM بشكل أسرع من IgA بعد الإصابة الثانية، بينما تأكد ارتفاع قيم الضدين IgM و IgG منذ اليوم العاشر في دراستنا [20].



الشكل (6) تغيرات متوسطات تراكيز الضد IgM لدى النوعين *Rousettus*

aegyptiacus و *Myotis myotis* خلال مراحل التجربة

تركيز الضد IgA:

تبين لنا من اختبار ANOVA عدم وجود فرق معنوي بين متوسطات تراكيز الضد IgA للمجموعات الثلاث خلال مراحل التجربة حيث ($P = 0.186 > 0.05$) عند النوع *Rousettus aegyptiacus* و ($P = 0.948 > 0.05$) للنوع *Myotis myotis*، اتفقت هذه النتيجة مع نتيجة [6] والتي لم تظهر تشكل أضداد من النوع IgA عند تحصين أنواع مختلفة من الخفافيش بـ 25mg من الألبومين البقري.

وعند إجراء تحليل التباين الثنائي Two way ANOVA من أجل دراسة تأثير اللقاح على كلا النوعين خلال مراحل التجربة تبين لنا عدم وجود فرق معنوي بين متوسطات

تراكيز الضد IgA للمجموعات الثلاث خلال مراحل التجربة حيث $P=0.186 >$
(0.05) عند النوع *Rousettus aegyptiacus* و $(P=0.948 > 0.05)$ للنوع *Myotis myotis*.

4. الاستنتاجات والتوصيات:

نستنتج من معطيات البحث ما يلي:

تعد هذه الدراسة الأولى في سورية والتي تناولت الناحية المناعية للخفافيش، كما أنها أول دراسة من نوعها لتحديد صلات القرى بين الأنواع.

عند تجريب النوعين آكل الفاكهة *Rousettus aegyptiacus* وآكل الحشرات *Myotis myotis* بملقاح داء الكلب الخامل:

I. تبين ارتفاع تراكيز الضدين IgG و IgM عند كلا النوعين ولكن عند النوع *Rousettus aegyptiacus* بشكل أكبر من النوع *Myotis myotis* وذلك بين مجموعتي اليوم العاشر والرابع عشر بعد التجريب.

II. بناءً على ذلك تم الاستنتاج أن نوعي الخفافيش المدروسة آكل الفاكهة *Rousettus aegyptiacus* وآكل الحشرات *Myotis myotis* يملكان الاستجابة المناعية ذاتها للقاح داء الكلب، الخامل مع فروقات فقط في تراكيز المتغيرات.

التوصيات:

- 1- التوسع في دراسة الناحية المناعية الطبيعية والخلوية والخلطية لدى الخفافيش لفهم آلية قدرتها على مقاومة العوامل الممرضة والفيروسات بشكل خاص.
- 2- دراسة أنواع الأضداد بشكل أوسع خاصة تحت صفوف الأضداد النوعية مثل IgG_1 , IgG_2 , IgG_3 , IgG_4 لأنها تعطي نتائج أدق.
- 3- إجراء دراسة البصمة الوراثية لأنواع الخفافيش السورية وتحديد المورثات المسؤولة عن المناعة لدى هذه الأنواع.

المراجع:

[1]. MIDDLETON, N & NICOLAOU, H. (2006). An Introduction to the bats of Cyprus. Echoes Ecology Ltd. Scotland.

[2]. WILSON, D.E. (2020). Bat. ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA.

Retrieved from: <https://www.britannica.com/animal/bat-mammal>.

[3]. إبراهيم، نهلة؛ شلفة، مها، (2008). التنوع الحيوي لخفاشيات الساحل

السوري وحمايتها، مجلة السائل العلمية المحكمة، جامعة السابع من أكتوبر، ليبيا،

.34-23 : (5),2

[4]. Zhou P, Tachedjian M, Wynne JW, Boyd V, Cui J, Smith I, Cowled C, Ng JH, Mok L, Michalski WP, Mendenhall IH. Contraction of the type I IFN locus and unusual constitutive expression of IFN- α in bats. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2016 Mar 8;113(10):2696-701.

[5]. Calisher CH, Childs JE, Field HE, Holmes KV, Schountz T. Bats: important reservoir hosts of emerging viruses. Clinical microbiology reviews. 2006 Jul;19(3):531-45.

[6]. PAKSUZ, S; PAKSUZ.P.E; OZKAN.B. (2009). WHITE BLOOD CELL (WBC) COUNT OF DIFFERENT BAT (CHIROPTERA) SPECIES, Trak ya Univ J Sci, 10(1), 55-59.

- [7]. RUPPRECHT, C. E., HANLON, C. A., & HEMACHUDHA, T. (2002). Rabies re-examined. The Lancet infectious diseases, 2(6), 327-343.
- [8]. HEMACHUDHA, T & PHUAPRADIT, P., (1997) Rabies. Curr Opin Neurol, 10: 260-67.
- [9]. FEKADU, M. (1993). Canine rabies. Onderstepoort J Vet Res. 60: 421-27.
- [10]. MCMURRAY, D. N. and GREER, D.L. (1979). Immune responses in bats following intranasal infection with *Histoplasma capsulatum*. Am. J. Trop. Med. 28, 1036.
- [11]. OELS, H. C., BRANUM, E. L., ZOLLMAN, P. E., and RKOWITZ, H.(1969). Antibodies to *Histoplasma capsulatum* in human and animal populations of southeastern Minnesota. Am. Rev. Resp. Dis. 99, 443.
- [12]. SEYMOUR, C., DICKERMAN, R. W., and MARTIN, M. S. (1978). Venezuelan encephalitis virus infection in neotropical bats // Experimental infections. Am. J. Trop. Med. Hyg. 27, 297.
- [13]. EGMOND, M., DAMEN, C. A., SPRIEL, A. B., VIDARSSON, G., GARDEREN, E., & WINKEL, J. G. (2001). IgA and the IgA Fc receptor. Trends in immunology, 22(4), 205-211.

- [14]. MCMURRAY, D. N., STROUD, J., MURPHY, J. J., CARLOMAGNO, M. A., & GREER, D. L. (1982). Role of immunoglobulin classes in experimental histoplasmosis in bats. *Developmental & Comparative Immunology*, 6(3), 557–567.
- [15]. SCHOUNTZ, T. (2014), Immunology of Bats and Their Viruses: Challenges and Opportunities, *Viruses*, 6(12), 4880–4901.
- [16]. SCHUH, A. J., AMMAN, B. R., SEALY, T. K., SPENGLER, J. R., NICHOL, S. T., & TOWNER, J. S. (2017). Egyptian rousette bats maintain long-term protective immunity against Marburg virus infection despite diminished antibody levels. *Scientific Reports*, 7(1), 1–7.
- [17]. TURMELLE, A. S; AMY S; ELLISON, J. A; Mendonça, M. T; McCracken, G. F. (2010). Histological assessment of cellular immune response to the phytohemagglutinin skin test in Brazilian free-tailed bats (Tadarida brasiliensis). *Journal of Comparative Physiology B*, 180.8: 1155–1164.
- [18]. COAKLEY, W. A. (1981). Handbook of automated analysis: Continuous flow technique. Marcel Dekker Incorporated, (179), Pages 1–58.

[19]. POURRUT, X., SOURIS, M., TOWNER, J. S., ROLLIN, P. E., NICHOL, S. T., GONZALEZ, J. P., & LEROY, E. (2009). Large serological survey showing cocirculation of Ebola and Marburg viruses in Gabonese bat populations, and a high seroprevalence of both viruses in Rousettus aegyptiacus. BMC infectious diseases, 9(1), 159.

[20]. BRINKMAN, D. M., JOL-VAN DER ZIJDE, C. M., TEN DAM, M. M., VOSSEN, J. M., OSTERHAUS, A. D. M. E., KROON, F. P., & VAN TOL, M. J. D. (2003). Vaccination with rabies to study the humoral and cellular immune response to a T-cell dependent neoantigen in man. Journal of clinical immunology, 23(6), 528-538.