

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 21

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

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

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

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

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

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة
11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام ورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننًا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
36-11	د.إلهام القاسم	التقنيات المعاصرة لتطوير واجهات المستخدم في تطبيقات الويب دراسة تحليلية لأدوات Front-End
52-37	أ. م. د. كنان جمال راعي	التقييم الهيدروكيميائي لمياه بحيرة سد 16 تشرين في حوض الساحل – سورية
78-53	سلمى القاضي د.حسام الدين قواص د.عقل رومية	تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجملة الأكسيد المختلط Al_2O_3/CdO المُحضّر بالطريقة الهدروحرارية
104-79	علي زهيري د.محمد غفر د.حسام الركاذ	تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحيا
127-105	مريم حاكمي د.إيمان الخوجة د.حمزة حاكمي	الحاقيات شبه المحلية بالنسبة إلى مثالي يميني

التقنيات المعاصرة لتطوير واجهات المستخدم في تطبيقات الويب دراسة تحليلية لأدوات *Front-End*

الباحثة: د. إلهام القاسم

ملخص

مع بداية التحول الرقمي الهائل، أصبحت واجهات المستخدم الأمامية (Front-End) حجر الأساس في تجربة المستخدم لتطبيقات الويب. أدى تعدد أطر العمل والمكتبات إلى صعوبة اختيار التقنية المناسبة، مما يستدعي إجراء دراسات مقارنة.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل ومناقشة أبرز تقنيات الواجهات الأمامية المعاصرة، مع إجراء مقارنة منهجية بين أطر العمل الرئيسية (React ، Angular ، Vue.js) من حيث الأداء، وسهولة التعلم، وكفاءة الذاكرة، ومجالات التطبيق.

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي المقارن، من خلال استعراض الدراسات السابقة وتحليل نتائجها لتقييم أداء الأطر بناءً على معايير محددة كسرعة المعالجة ، وزمن التفاعل ، واستهلاك الذاكرة .

و تجدر الإشارة هنا إلى ندرة الدراسات الأكاديمية أو البحثية العربية المتعمقة في هذا المجال، حيث إن معظم المصادر المتاحة باللغة العربية تدرج في إطار المقالات التعليمية أو المدونات التوعوية، مما يزيد من أهمية هذه الدراسة في سد جزء من هذه الفجوة

وقد كشفت النتائج عن تفوق Vue.js في سرعة المعالجة وكفاءة استخدام الذاكرة ، بينما أظهر React تفوقاً في زمن التفاعل، وكان أداء Angular مختلطاً ويميل ليكون أكثر ملاءمة للتطبيقات المؤسسية المعقدة على الرغم من استهلاكه الأعلى للموارد.

تخلص الدراسة إلى أنه لا يوجد إطار عمل "أفضل" بشكل مطلق، بل يعتمد الاختيار على متطلبات المشروع. كما تسلط الضوء على الاتجاهات المستقبلية التي ستشكل المجال، مثل دمج الذكاء

الاصطناعي، و WebAssembly، وواجهات المحادثة والواقع المعزز (AR/VR) ، والمكونات الخادمية (Server Components) ، مؤكدة على ضرورة مواكبة المطورين لهذه التطورات. الكلمات المفتاحية: React, Angular , Vue.js ، أطر عمل الواجهات الأمامية

Abstract

With the onset of the massive digital transformation, front-end user interfaces have become the cornerstone of the user experience for web applications. The proliferation of frameworks and libraries has complicated the selection of appropriate technology, necessitating comparative studies.

This study aims to analyze and discuss the most prominent contemporary front-end technologies, conducting a systematic comparison between the main frameworks (React, Angular, Vue.js) in terms of performance, ease of learning, memory efficiency, and application domains.

The study adopted a comparative analytical methodology by reviewing previous studies and analyzing their results to evaluate framework performance based on specific criteria such as processing speed, response time, and memory consumption. It is noteworthy to mention the scarcity of in-depth Arabic academic or research studies in this field, as most available sources in Arabic fall within the scope of instructional articles or awareness blogs, which heightens the importance of this study in bridging part of this gap.

The results revealed Vue.js's superiority in processing speed and memory usage efficiency, while React demonstrated an advantage in response time. Angular's performance was mixed, tending to be more suitable for complex enterprise applications despite its higher resource consumption.

The study concludes that there is no universally "best" framework; rather, the choice depends on project requirements. It also highlights future trends that will shape the field, such as the integration of artificial intelligence, WebAssembly, conversational interfaces and augmented reality (AR/VR), and Server Components, emphasizing the necessity for developers to keep pace with these advancements.

Keywords: Front-End Frameworks, React, Angular, Vue.js.

1. المقدمة:

في عالم تطوير الويب، تُعتبر أطر عمل Front-End أدوات أساسية لبناء واجهات مستخدم تفاعلية وسريعة. مع تعدد الخيارات المتاحة، يصبح اختيار الإطار المناسب أمراً بالغ الأهمية. في هذه المقالة سنتعرف على أشهرها: React (مكتبة من تطوير Facebook)، Angular (إطار عمل من تطوير Google)، Vue.js (إطار عمل مفتوح المصدر).

استعرضاً في هذا البحث تطور تقنيات واجهة المستخدم في الويب ومقارنتها، مع التركيز على الأدوات الحديثة لتحسين التفاعل والأداء وتجربة المستخدم.

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تحولاً رقمياً هائلاً غير من طريقة تفاعل الإنسان مع البيانات والخدمات. وفي قلب هذا التحول تقف تطبيقات الويب التي باتت تشكل نافذة التواصل بين المستخدمين والمنصات الرقمية. تلعب واجهة المستخدم الأمامية (Front-End) دوراً جوهرياً في تحسين تجربة الاستخدام، إذ تمثل الوجه المرئي والتفاعلي للمستخدم عند تصفحه للمواقع والتطبيقات.

2. هدف البحث:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التقنيات المعاصرة المستخدمة في بناء الواجهات الأمامية لتطبيقات الويب، واستكشاف أبرز الأدوات والممارسات التي ساهمت في تطورها، بالإضافة إلى إجراء مقارنات بين أحدث التقنيات، إلى جانب تسليط الضوء على الاتجاهات المستقبلية في هذا المجال.

3. الخلفية النظرية:

قبل التعرف على هذه التقنيات لابد من تسليط الضوء على بعض التعاريف والمصطلحات والمفاهيم الهامة المستخدمة في هذا المجال.

3.1. نشأة وتطور تقنيات الويب:

في بدايات الإنترنت، كانت صفحات الويب تُبنى باستخدام HTML فقط، مما جعلها محدودة من حيث الشكل والتفاعل. ثم ظهرت CSS لتحسين التصميم، ثم JavaScript لتوفير التفاعلية، وصولاً إلى أطر العمل الحديثة مثل React و Angular و Vue.

3.2. واجهة المستخدم الأمامية [11] Front-End:

وهي الجزء من تطبيق الويب الذي يتفاعل معه المستخدم مباشرة. وتشمل كل ما يظهر على الشاشة من نصوص، صور، أزرار، نماذج، والأنماط البصرية التي تنظم هذا المحتوى. تعتمد على تقنيات مثل: HTML, CSS, JavaScript

3.3. الواجهة الخلفية [11] Back-End :

هي الجزء المسؤول عن معالجة البيانات وتنفيذ العمليات المنطقية التي تحدث خلف الكواليس، مثل تخزين المعلومات في قواعد البيانات ومعالجة طلبات المستخدم. تعتمد على:

- لغات البرمجة: مثل Python, PHP, ASP, Node.js.
- قواعد البيانات: مثل MySQL, MongoDB, Oracle
- الخوادم (Servers): مثل Apache, Nginx.

يمكننا من خلال الجدول (1) عرض لأهم الصفات التي تميز كل من المفهومين السابقين:

الصفة	Back-End	Front-End
الوظيفة	معالجة البيانات وتخزينها	العرض المرئي والتفاعل مع المستخدم
اللغات	PHP ، Python ، Node.js ، Java,....	HTML ، CSS ، JavaScript
التفاعل	خلف الكواليس	مباشر مع المستخدم

الجدول (1): صفات الواجهات الأمامية والخلفية

4. مكتبات وأطر عمل JavaScript [12]:

هي مجموعات من الأكواد الجاهزة والمبنية مسبقاً، تُستخدم لتبسيط تطوير التطبيقات والمواقع الإلكترونية الديناميكية. تعمل هذه الأدوات على توفير وظائف مُجربة ومُحسنة، مما يقلل من الحاجة إلى كتابة الأكواد من الصفر وتسرع عملية التطوير. يمكن التمييز بين المفهومين:

4.1. المكتبات (Libraries) :

- هي مجموعات من الوظائف والأصناف البرمجية الجاهزة التي يمكن استدعاؤها حسب الحاجة لتنفيذ مهام محددة دون الحاجة لإعادة كتابة الكود .
- تُركّز على تنفيذ مهام محددة مثل معالجة DOM (كمكتبة **jQuery**) سيتم شرح هذا المفهوم ضمن ملحق A)) أو إدارة الحالة (مثل **Redux** ملحق A))
- تتبع أسلوباً تفاعلياً حيث يتحكم المطور في متى وكيف يتم استخدامها.

4.2. أطر العمل (Frameworks) :

- هو بنية برمجية متكاملة تحتوي على مجموعة من الأدوات والمكتبات التي تفرض نمطاً معيناً لتطوير التطبيقات (مثل MVC)، وتقوم باستدعاء كود المطور ضمن هيكلها الخاص.
- تُقدّم حلولاً شاملة للتوجيه (Routing) ، وإدارة الحالة (State Management) ، والتكامل مع الخدمات الخارجية.
- تبرز أهمية إطار العمل بشكل أساسي في كونه يتيح إمكانية إعادة استخدام التعليمات البرمجية بدلاً من إعادة كتابتها من جديد.

أخيراً يمكن القول أن الفرق الجوهرية: المكتبات تُستخدم لأداء مهام محددة داخل مشروع موجود، بينما أطر العمل تُحدد كيفية بناء المشروع ككل

من أهم أطر العمل React, Vue.js, Angular .

ملاحظة: React (يعتبر مكتبة وأحياناً إطار عمل)

نستعرض فيما يلي مقارنة للأطر السابقة، ومن ثم في الفقرة التي تليها عرض لأهم المفاهيم المستخدمة في بعضها.

4.2.1. مقارنة أطر العمل

تشير الدراسات المقارنة لتطبيقات الويب إلى أن Vue يتفوق على غيره في سرعة العرض. على سبيل المثال، أفاد Diniz–Junior (وآخرون 2022) [13] أن زمن معالجة React أبطأ بنسبة 758% و Angular أبطأ بنسبة 595% مقارنة مع Vue ، بينما لاحظ Lipski (وآخرون 2021) [15] أن Vue يقدم باستمرار سرعة عرض أفضل مقارنة بـ Angular أما من ناحية كفاءة الذاكرة، تشير العديد من الدراسات إلى أن Vue يستهلك ذاكرة أقل (أو يحقق حجم حزمة أصغر) من Angular ، الذي يظهر غالباً استخداماً أعلى للذاكرة؛ بينما أداء React في هذا الجانب معتدل لكن أقل توثيقاً.

فيما يخص زمن التفاعل (Time-to-Interactive) ، قاست إحدى الدراسات زمن التفاعل في React بـ 300 مللي ثانية، وأظهرت دراسة Diniz–Junior (وآخرون 2022) (أن Vue و Angular كانا أبطأ من React بنسبة 33% و 50% على التوالي. كما تشير بعض الدراسات إلى أن Angular يعاني من أوقات تحميل أو بدء تشغيل أطول، على الرغم من وجود تقرير واحد يشير إلى تحسن بنسبة 45% على كل من React و Vue في العمليات المعقدة. تدعم هذه النتائج بشكل مباشر أن Vue يقدم عادة سرعة عرض وكفاءة ذاكرة متفوقة، بينما قد يتيح React تفاعلية أسرع في بعض السيناريوهات، ويظهر Angular أداءً مختلطاً يميل إلى تفضيل العمليات المعقدة على حساب زيادة استخدام الذاكرة وأوقات التحميل.

يظهر الجدول (2) مقارنة بين أهم الأطر:

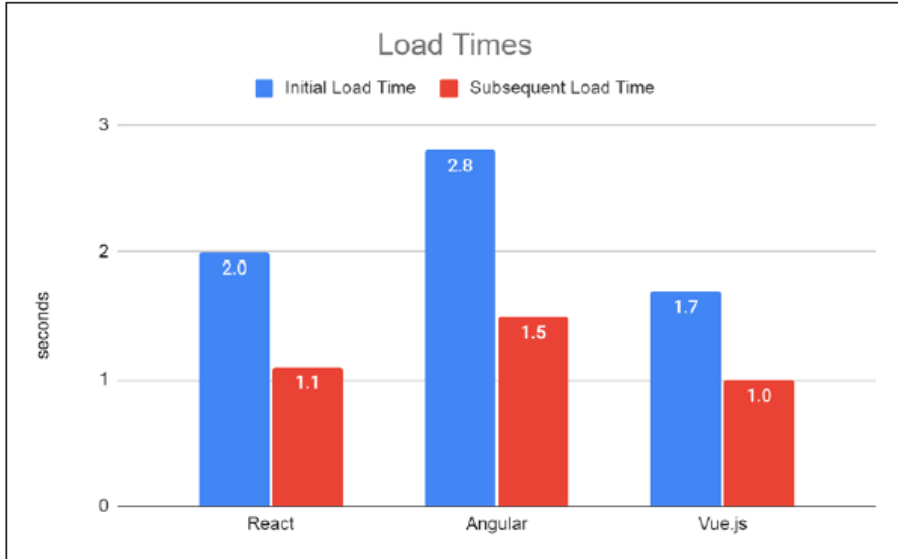
Angular	Vue	React	نوع المقارنة
إطار عمل	إطار عمل	مكتبة	نوع الأداة [12][1][2][9]
من تطوير Google	Evan Yoy	Meta(Facebook)	المطور [12][1][2]
TypeScript (ملحق A)	HTML ، JavaScript	JSX	طريقة كتابة الأكواد [12][1][2]
أداء جيد لكن مع أوقات تحميل أطول	أوقات عرض أسرع	أداء جيد بفضل الـ Virtual DOM (ملحق A)	سرعة العرض (Rendering Speed) [14]
أبطأ بـ 59% من Vue في زمن المعالجة	الأسرع في زمن المعالجة	أبطأ بـ 75% من Vue في زمن المعالجة	زمن المعالجة [13]
أعلى استهلاك للذاكرة أعلى استهلاك أعلى للمساحة على القرص	حجم الحزمة أقل بـ 54% من Angular استهلاك أقل للمساحة على القرص	حجم الحزمة أقل بـ 45% من Angular	استهلاك الذاكرة (Memory Usage) [13][15]
أبطأ من React بـ 50%	أبطأ من React بـ 33%	أفضل زمن تفاعل (300 مللي ثانية)	زمن التفاعل (Time- to-Interactive) [13]
-	بسيطة باستخدام Data و Vuex	متقدمة (Redux أو Context API)	إدارة الحالة [12][1][2]
جيد ويستخدم (Change Detection)	سريع	عالي جداً باستخدام Virtual DOM	الأداء [12][1][2]

Angular	Vue	React	نوع المقارنة
تطبيقات Enterprise الكبيرة والمعقدة	مناسب للمشاريع الصغيرة والكبيرة	للمشاريع الكبيرة	مكان الاستخدام [12][1][2]
منظومة رسمية قوية + مكتبات خارجية (مئات الحزم)، مثل: Angular ,Material ,NgRx ,PrimeNG ,Nebular Kendo UI	مئات المكتبات النشطة، مع نمو سريع Vue 3 خاصة بعد مثل: Vue Router ، Vuex ،Pinia ، Vuetify ،Quasar	آلاف المكتبات والحزم على npm (تقدّر بعشرات الآلاف)، مثل: ،React Router ,Axios ،Redux Styled- components React Hook Form	المكتبات المتوافقة
-	أكثر بساطة	أعلى قليلاً	مستوى التعقيد [12][1][2]
صعب التعلم	سهلة جداً	متوسطة	سهولة التعلم [12][1][2]
يوفر هيكلية صارمة (MVC) وأدوات مدمجة مثل Dependency Injection، مما يسهل التعديل في المشاريع الكبيرة، لكنه يتطلب خبرة أكبر من الفريق	يتميز ببساطة الكود وسهولة التعلم، مما يجعل التحديث أسهل خاصة للمشاريع الصغيرة والمتوسطة. لكن في المشاريع الضخمة قد يحتاج إلى تنظيم إضافي	يعتمد على مبدأ المكونات مما يجعل الكود قابلاً لإعادة الاستخدام وسهل التحديث	إمكانية التعديل [17]

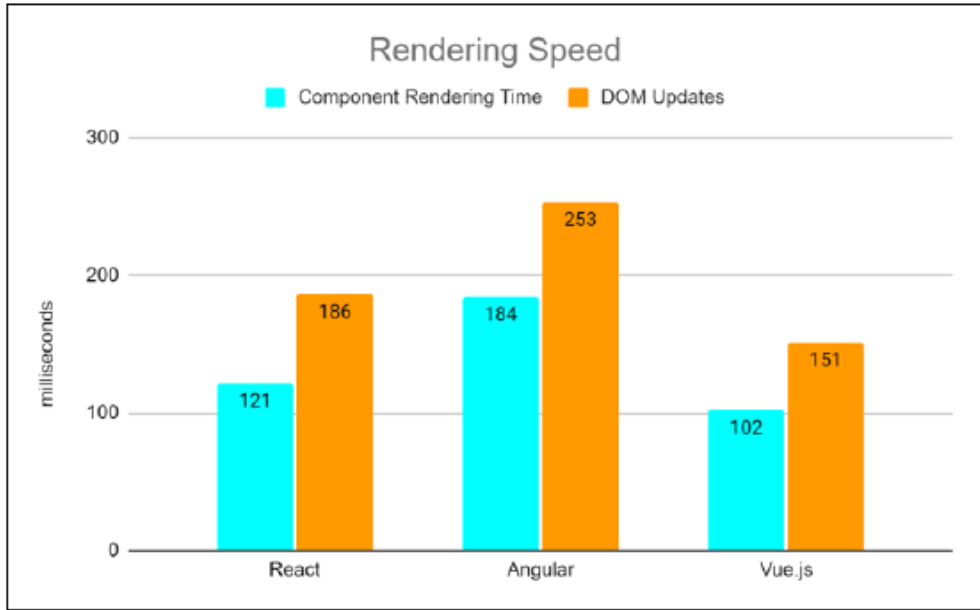
الجدول (2): مقارنة لأطر العمل

كما تظهر الأشكال (1,2,3,4) مخططات بيانية للمقارنة بين النماذج السابقة في أهم المقارنات

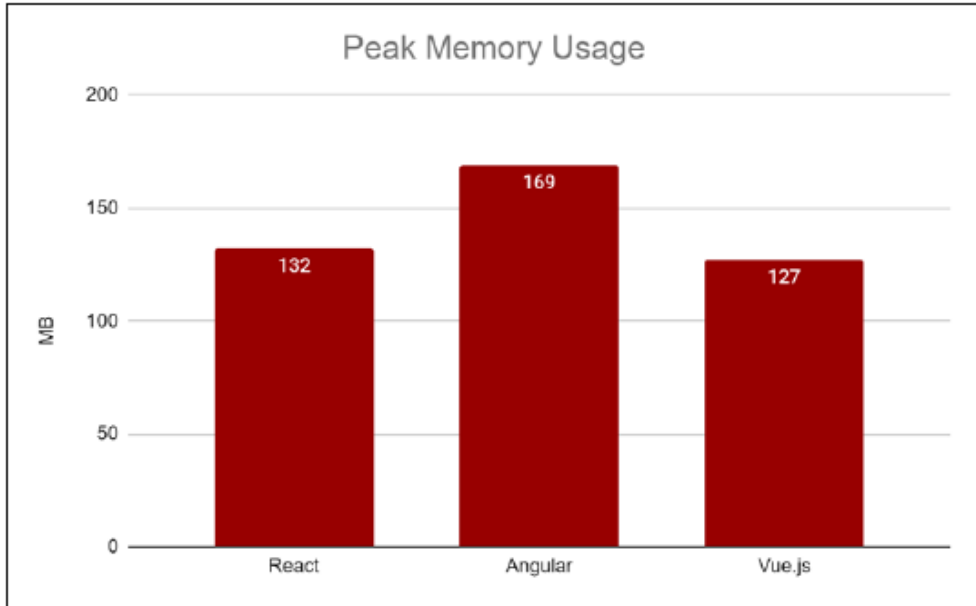
[14]



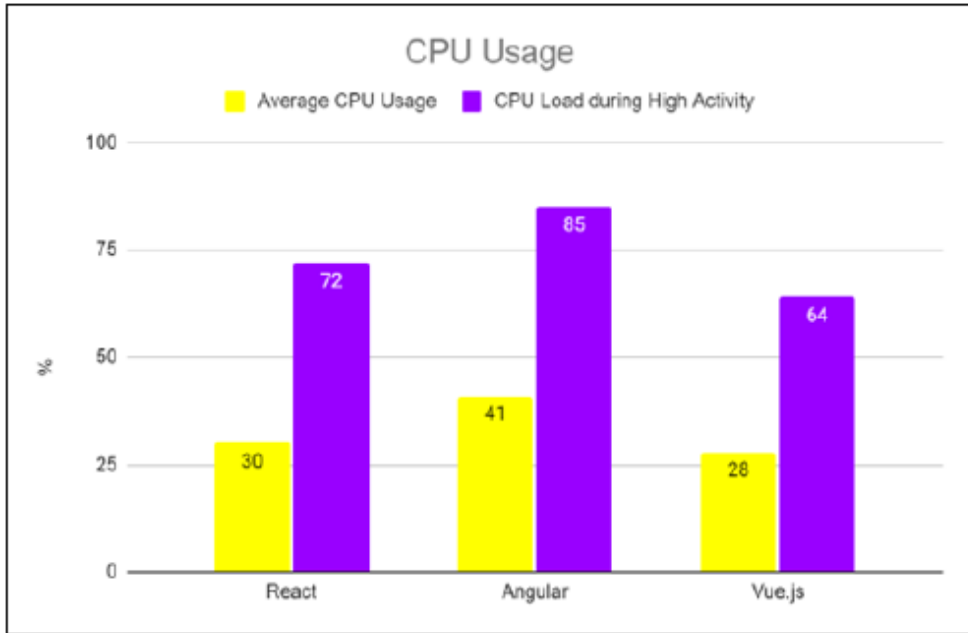
الشكل (1) Load Times



الشكل (2) Rendering Speed



الشكل (3) Peak Memory Usage



الشكل (4) CPU Usage

كذلك يمكن عرض مثال متشابه لبعض الأطر موضع الدراسة:

مثال عملي باستخدام React.js

ننشئ مكونًا يعرض عددًا يمكن زيادته بالنقر على زر ويُعاد عرض المكون تلقائيًا.

```
// JavaScript
import React, { useState } from 'react';
function Counter() {
  const [count, setCount] = useState(0);
  return (
    <div style={{ textAlign: 'center' }}>
      <h2>العدد الحالي: {count}</h2>
      <button onClick={() => setCount(count + 1)}>زيادة</button>
    </div>
  );
};
```

}

الشرح:

- useState لتخزين القيمة.
- كل مرة يُنقر الزر، تزداد القيمة ويُعاد عرض المكون تلقائيًا.
- يتطلب هذا وجود مشروع React باستخدام أدوات مثل Create React App أو Vite

باستخدام Vue:

```
//html
<div id="app">
  <h2>العدد الحالي: {{ count }}</h2>
  <button @click="count++">زيادة</button>
</div>

<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/vue@2"></script>
<script>
  new Vue({
    el: '#app',
    data: {
      count: 0
    }
  });
</script>
```

الشرح:

- البيانات موجودة داخل data
- التفاعل يتم عبر @click ويتم ربطه مباشرة بالبيانات باستخدام الربط التثائي.
- يمكن تشغيل هذا الكود مباشرة في ملف HTML دون إعداد مشروع معقد، مما يجعل Vue مثاليًا للتطبيقات الخفيفة.

```
<div id="app">
  <h2>{{ count }}</h2>
  <button @click="count++">زيادة</button>
```

```
</div>
<script>
  new Vue({ el: '#app', data: { count: 0 } });
</script>
```

باستخدام Angular

```
//TypeScript
// counter.component.ts
import { Component } from '@angular/core';

@Component({
  selector: 'app-counter',
  template: `
    <div>
      <h1>Counter: {{ count }}</h1>
      <button (click)="increment()">Increment</button>
    </div>
  `,
})
export class CounterComponent {
  count = 0;

  increment() {
    this.count++;
  }
}
```

الخصائص:

- يستخدم **TypeScript** بشكل افتراضي.
- يعتمد على **Decorators** مثل **@Component**
- **Template** منفصل عن المنطق (يمكن أن يكون في ملف html منفصل).

4.2.2. المفاهيم الرئيسية لأطر العمل:

نذكر فيما يلي بعض المفاهيم التي وردت في جدول (2) :

أولاً: المفاهيم الرئيسية في **React**:

- **المكونات (Components)**: كل جزء في الواجهة يُبنى كمكون مستقل مثل زر، مربع نص، قائمة، دالة (function)، صف (class)، ما يسهل إعادة الاستخدام.
- **الحالة (State)**: تخزين البيانات الخاصة بكل مكون، وتحديثها يؤدي لإعادة عرض المكون تلقائياً.
- **JSX**: صيغة خاصة تسمح بكتابة كود HTML داخل JavaScript

ثانياً: المفاهيم الرئيسية في **Vue**:

- **التوجيه الثنائي للبيانات (Two-Way Binding)**: يربط البيانات بين النموذج والواجهة بسهولة.
- **المكونات**: كما في React، يتم بناء الواجهة عبر مكونات قابلة لإعادة الاستخدام.
- **قالب HTML واضح**: يفصل بين منطق التطبيق والتصميم.

ثالثاً: الفرق بين **React** و **Vue** في بنية المكونات والتعامل معها:

من خلال الجدول (3) يمكن توضيح الفرق بينهما كمايلي:

العنصر	React	Vue
هيكل المكون	Class أو Function	كائن يحتوي على قوالب وبيانات
لغة القالب	JSX (دمج HTML داخل JavaScript)	Vue عادي + توجيهات HTML
التعامل مع البيانات	useState, props	data, props, computed
التفاعل مع الأحداث	onClick={...}	@click="..."
إدراج مكونات	<Component />	<component></component>

الجدول (3): الفرق بين React و Vue في بنية المكونات والتعامل معها

5. أدوات التطوير وإدارة المشاريع في Front-End

5.1. أدوات إدارة الحزم NPM و Yarn :

تسمح هذه الأدوات بإدارة المكونات الطرفية والتحديثات بسلاسة.

- **NPM (Node Package Manager)** [3]: يأتي مع Node.js ويُستخدم لتحميل وإدارة المكتبات والأطر (مثل React و Vue)
- **Yarn** بديل لـ NPM ويتميز بسرعة أكبر وإدارة أفضل للاعتمادات [6].

5.2. أدوات التهيئة والبناء Webpack و Babel :

- **Webpack** [7]: يجمع كل ملفات JavaScript ، CSS ، والصور في ملف واحد لتحسين الأداء.

○ يدعم التقسيم الديناميكي للصفحات.

○ يسمح بتحميل Lazy للعناصر حسب الحاجة (ملحق A)

- **Babel** [8]: محوّل JavaScript يُستخدم لتحويل الكود الحديث (ES6+) إلى صيغة متوافقة مع المتصفحات القديمة.

يبين المثال التالي كيفية تحويل التعليمات البرمجية باستخدام Babel

```
// ES6
```

```
const greet = name => Hello ${name}';
```

```
// بعد تحويل Babel
```

```
var greet = function(name) {
```

```
  return "Hello " + name;
```

```
};
```

5.3. التحكم في الإصدارات Git و GitHub :

- **Git**: أداة لتتبع التعديلات على الملفات وتسهيل العمل الجماعي.
- **GitHub**: منصة لاستضافة الأكواد ومشاركة المشاريع مع الآخرين .

6. التصميم المتجاوب: [16]

في ظل التنوع الهائل لأجهزة الوصول إلى الإنترنت، والتي تتراوح بين الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية والحواشيب المكتبية وأجهزة التلفاز الذكية، لم يعد تصميم موقع ويب بحجم ثابت يناسب جميع الشاشات مقبولاً.

استجابة لهذه التحديات، ظهر مفهوم "التصميم المتجاوب" (Responsive Web Design) الذي يُعرّف على أنه "نهج في تصميم وتطوير الويب يهدف إلى جعل صفحات الويب تُعرض وتُشغّل بشكل مثالي على مجموعة متنوعة من الأجهزة وحجم الشاشات".

6.1. مفهوم التصميم المتجاوب:

يشير هذا المفهوم إلى تصميم صفحات ويب **تتكيف تلقائياً** مع حجم الجهاز المستخدم، مهما كان نوعه (Mobile, Desktop...). الهدف هو توفير تقنية مثالية للمستخدم دون الحاجة إلى التمرير أو التكبير اليدوي.

6.2. التقنيات المستخدمة:

- **Media Queries**: تُستخدم لتطبيق أنماط CSS وفقاً لأبعاد الشاشة:

```
/* شاشة صغيرة مثل الهاتف */  
@media (max-width: 600px) {  
  body { background-color: lightblue; }  
}
```

يسمح هذا بتغيير التصميم مثل الخطوط أو توزيع العناصر بحسب حجم الشاشة.

6.3. الأطر المساعدة في التصميم المتجاوب:

- **Bootstrap**: إطار شهير يعتمد على نظام الشبكة **Grid System**، ويحتوي على مكونات جاهزة مثل الأزرار والقوائم التفاعلية.

```
//HTML  
<div class="container">
```

```
<div class="row">
  <div class="col-md-6">نصف الشاشة</div>
  <div class="col-md-6">نصف الشاشة الآخر</div>
</div>
</div>
```

- **Tailwind CSS**: نظام تصميم حديث يعتمد على الصفوف البرمجية الجاهزة (**Utility-first**)، ويتيح تخصيصاً واسعاً مع كود أقل.

```
<button class="bg-blue-500 text-white px-4 py-2 rounded">
  اضغط هنا
</button>
```

7. بعض من الاتجاهات المستقبلية في تقنيات **Front-End** :

7.1. الدمج بين الذكاء الاصطناعي وواجهات المستخدم

وذلك من خلال استخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتخصيص واجهة المستخدم بناءً على سلوك المستخدم وتفضيلاته.

أمثلة تطبيقية:

- أنظمة التوصية الذكية: مثل عرض منتجات بناءً على النشاط في الموقع.
- مساعدات صوتية مدمجة: تعالج اللغة الطبيعية لتقديم دعم فوري.
- أتمتة تصميم الواجهة: باستخدام أدوات تعتمد على AI لتوليد تخطيطات ديناميكية.

7.2. **WebAssembly** الأداء الحقيقي داخل المتصفح

WebAssembly : هو معيار جديد يتيح تشغيل لغات مثل C++ أو Rust داخل المتصفح بسرعة تقارب التطبيقات الأصلية [10].

الميزات:

- أداء عالي للألعاب والتطبيقات الرسومية.
- دمج التقنيات غير المدعومة أصلاً بالمتصفح.

التطبيقات المحتملة:

- تحرير الصور والفيديو داخل المتصفح.
- محاكاة أنظمة تعليمية أو علمية تفاعلية.

7.3. واجهات غير مرئية المحادثات وAR/VR:

واجهات محادثة:

- التحكم بالصوت عبر Web Speech API
- Chatbots داخل صفحات الويب تقدم خدمة مباشرة دون تدخل بشري.

واجهات الواقع المعزز والافتراضي:

- استخدام WebXR لبناء مشاهد ثلاثية الأبعاد في متصفحات حديثة.
- تفاعل المستخدم مع عناصر الواجهة في بيئة افتراضية.

7.4. التصميم الموجه بالبيانات Data-Driven UI

في المستقبل، لن يُبنى التصميم يدويًا بالكامل، بل يتكوّن ديناميكيًا من بيانات حية: من هذه التطبيقات نذكر:

- لوحات تحكم تتغير بناءً على نشاط المستخدم.
- تكيف المحتوى والخيارات تلقائيًا حسب السياق.

8. الخاتمة:

يتضح من خلال هذه الدراسة أن تقنيات **Front-End** ليست مجرد أدوات برمجية، بل منظومة متكاملة تؤثر بشكل مباشر على تجربة المستخدم، الأداء، وسهولة تطوير المشاريع.

أظهرت المقارنات أن **Vue.js** يتميز بالبساطة وسرعة المعالجة، بينما يوفر **React** مرونة كبيرة ودعمًا واسعًا من المجتمع، في حين أن **Angular** يظل الخيار الأنسب للتطبيقات المؤسسية المعقدة رغم استهلاكه العالي للموارد.

لا يوجد إطار عمل "أفضل" بشكل مطلق، بل يعتمد الاختيار على طبيعة المشروع، حجم الفريق، والموارد المتاحة. ومع ذلك، فإن الاتجاهات المستقبلية مثل **WebAssembly**، الذكاء

الاصطناعي، وواجهات الواقع المعزز/الافتراضي ستعيد تشكيل طريقة بناء واجهات المستخدم، مما يستدعي من المطورين مواكبة هذه التطورات باستمرار.

التوصيات

- للباحثين: توسيع الدراسات حول تأثير الذكاء الاصطناعي في تخصيص واجهات المستخدم ونفاعليتها.
- للمطورين: الاستثمار في تعلم أكثر من إطار عمل، مع التركيز على بناء تطبيقات متجاوبة وأمنة وسريعة الأداء.
- للمؤسسات التعليمية: إدراج مقررات حديثة في مناهج تطوير الويب تشمل WebAssembly، Server Components، وتقنيات حماية واجهة المستخدم.
- لأصحاب المشاريع: اختيار إطار العمل الأنسب بناءً على طبيعة المشروع، وليس وفقاً للشهرة فقط.
- للمستقبل: الاستعداد للتكامل مع تقنيات الصوت، الواقع المعزز، وواجهات غير تقليدية.

ملحق A

تعريف ومصطلحات:

نستعرض ضمن هذا الملحق شرح لبعض المصطلحات (مكتبات - لغات.. التي ذكرت ضمن المقالة:

1. مكتبة jQuery:

- هي مكتبة JavaScript شهيرة ظهرت قبل React ، وتستخدم لتبسيط التعامل مع DOM، الأحداث، والطلبات الشبكية.

مثال :

```
// html
<button id="btn">اضغط هنا</button>
```

```
<script src="https://code.jquery.com/jquery-3.6.0.min.js"></script>
<script>
  $('#btn').click(function() {
    alert('تم الضغط');
  });
</script>
```

.2 Redux:

- هي مكتبة جافا سكريبت لإدارة حالة التطبيقات (application state) بطريقة مركزية وقابلة للتنبؤ، خاصةً في التطبيقات الكبيرة والمعقدة. تعتمد على مفهوم "مصدر واحد للحقيقة" (single source of truth) حيث يتم تخزين حالة التطبيق بالكامل في كائن واحد يسمى "المخزن" (store) بدلاً من تخزينه في مكونات منفصلة، وذلك بهدف تسهيل تتبع التغييرات والوصول إلى الحالة من أي مكان في التطبيق.
- يتم تحديث الحالة فقط من خلال "الإجراءات" (actions) التي تصف التغييرات، والتي يتم معالجتها بواسطة "دوال الاختزال" (reducers)، وهي عبارة عن دوال نقية (pure functions) والتي تقوم بمعالجة الإجراءات وتحديث الحالة.
- Redux يهدف إلى جعل إدارة الحالة أكثر وضوحًا، قابلة للتصحيح، وقابلة للتوسع، وهو شائع الاستخدام مع إطارات العمل مثل React

.3 Virtual DOM [14]:

- هيكل بيانات خفيف في الذاكرة يمثل نسخة تجريدية (افتراضية) من شجرة ال DOM الحقيقية الموجودة في المتصفح، تُستخدم في أطر العمل البرمجية (مثل React و Vue) لتحديث واجهة المستخدم بكفاءة.
- عند حدوث تغيير في البيانات أو الحالة (state)، يُنشئ الإطار نسخة محدثة من Virtual DOM، ثم يقارن الاختلاف بين النسخة القديمة والنسخة الجديدة، ويحوّل فقط الفروقات الضرورية إلى تغييرات على ال DOM الحقيقي (عملية تُعرف بـ reconciliation). بهذا الأسلوب، يُقلل من عدد عمليات التحديث المكلفة على ال DOM الفعلي، مما يحسّن الأداء.

4. TypeScript: [5]

- لغة برمجة عالية المستوى تُعتبر مجموعة شاملة فوق JavaScript، فأبي كود JavaScript هو أيضاً صالح أن يكون كود TypeScript
- الهدف الأساسي منها هو اكتشاف الأخطاء في وقت التطوير (compile-time) بدلاً من وقت التشغيل (runtime)، مما يزيد من متانة الكود ويقلل من الأخطاء المنطقية.

5. التحميل المؤجل Lazy في تقنيات الويب: [8]

- **بدون Lazy:** عندما زيارة موقعاً إلكترونياً، يقوم المتصفح بتحميل جميع الأجزاء والموارد الخاصة بالصفحة مرة واحدة، حتى تلك التي لا تحتاج لرؤيتها فوراً أو قد لا تحتاجها أبداً (مثل صور في أسفل الصفحة، أو أقسام مخفية).
- **Lazy Loading:** هي تقنية ذكية حيث لا يتم تحميل المورد (مثل صورة، مقطع فيديو، أو حتى جزء من الكود) إلا في اللحظة التي يصبح فيها هذا المورد مطلوباً أو على وشك أن يظهر للمستخدم.

يطبق هذا المفهوم بشكل أساسي من خلال:

1. التقسيم الديناميكي للشفرة: (Dynamic Code Splitting) حيث يقسم Webpack الكود إلى عدة "حزم (Bundles)" أو قطع صغيرة بدلاً من ملف واحد ضخم.
2. التحميل عند الحاجة: الملفات أو المكونات الخاصة بقسم معين في الموقع (مثل صفحة "الإعدادات" أو "الملف الشخصي") لا يتم تحميلها مع الصفحة الرئيسية وإنما يتم تحميلها فقط عندما يقوم المستخدم بالضغط للانتقال إلى ذلك القسم.

مثال على ذلك:

في موقع تجارة إلكترونية: كود وصور صفحة "عربة التسوق" لا يتم تحميلها إلا عندما يضغط المستخدم على أيقونة العربة.

في تطبيق وسائل التواصل الاجتماعي: كود وصور قسم "الإشعارات" لا يتم تحميله إلا عندما يضغط المستخدم على جرس الإشعارات

- الفائدة من ذلك:

- تحسين أداء تحميل الصفحة الأولى: حيث يصبح حجم الملف الأولي الذي يجب تحميله أصغر بكثير.
- توفير في استهلاك البيانات: للمستخدمين الذين لا يتصفحون كل أقسام الموقع.
- استخدام أكثر كفاءة لموارد المتصفح والخادم

المراجع

1. Vue.js Official Docs – <https://vuejs.org>
2. React Official Docs – <https://reactjs.org>
3. <https://docs.npmjs.com/>
4. Node.js in Action (Cantelon, 2020)
5. <https://www.typescriptlang.org/>
6. classic.yarnpkg.com/docs
7. <https://webpack.js.org/>
8. <https://babeljs.io/docs>
9. <https://angular.dev/overview>
10. <https://webassembly.org/>
11. Full Stack Web Development: Master Front-End and Back-End Development Techniques Paperback – April 14, 2025
by Oliver Sutherland (Author)
12. Haverbeke, M. (2018). Eloquent JavaScript: A Modern Introduction to Programming (3rd ed.). No Starch Press
13. Diniz-Junior Raimundo N. V., Caio César L. Figueiredoy, Gilson De S.Russo, Marcos Roberto G. Bahiense-Junior, Arbex Mateus V. L., Lanier M. Dos Santos, R. F. Da Rocha, Renan R. Bezerra, and F. Giuntini. “Evaluating the Performance of Web Rendering Technologies Based on JavaScript: Angular, React, and Vue.” Latin American Computing Conference / Conferencia Latinoamericana En Informatica, 2022.

14. Mikita Piastou. “Comprehensive Performance and Scalability Assessment of Front-End Frameworks: React, Angular, and Vue.js.” World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences, 2023.
15. Piotr Lipski, Jarosław Kyć, and B. Pańczyk. “Comparative Analysis of the Angular 10 and Vue 3.0 Frameworks.” Journal of Computer Sciences Institute, 2021.
16. **Marcotte, E. (2010, May 25). *Responsive Web Design. A List Apart.***
Available at: <https://alistapart.com/article/responsive-web-design/>
17. <https://namastedev.com/blog/react-vs-vue-vs-angular-a-2025-comparison-9/>

التقييم الهيدروكيميائي لمياه بحيرة سد 16 تشرين في حوض الساحل –

سورية

أ. م. د. كنان جمال راعي *

ملخص

يهدف هذا البحث إلى تقييم الخصائص الهيدروكيميائية لمياه بحيرة سد 16 تشرين الواقعة في حوض الساحل شمال شرق محافظة اللاذقية في الجمهورية العربية السورية، من خلال تحليل 10/ عشر عينات مائية موزعة في كافة أنحاء منطقة البحث بحيث تشمل كافة الأوضاع الجيولوجية المنتشرة في أرجائها، إضافةً لتنوع الأنشطة البشرية (الزراعية، السياحية) فيها. جُمعت العينات المائية خلال فترتين زمنيتين تمثلان حالتَي الرطوبة والجفاف، وأجريت التحاليل الكيميائية لها لتحديد تراكيز الشوارد الرئيسية (البكربونات، السلفات، الكلور، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنيزيوم) فيها لفهم طبيعتها وتفسير مصادر ورودها، وتصنيف المياه بالاعتماد على برنامج تحليل هيدروكيميائي متخصص / AquaChem / ، إذ أُسقطت النتائج بعد معالجتها على عدّة مخططات /Schoeller ، Stiff ، Piper/ . أظهرت النتائج أنّ المياه تتصف بنمط بيكربونات - كلسي، وأنّ التأثير الجيولوجي للصخور الكربوناتية في المنطقة هو العامل الأهم في تحديد خصائص المياه وتركيبها الكيميائي. كما أشارت النتائج إلى تجانس نوعية المياه، وضرورة مراقبتها دورياً لضمان استدامتها في ظل التحديات الراهنة من تغيرات مناخية ونشاط بشري متزايد.

الكلمات المفتاحية: سد 16 تشرين، هيدروكيمياء، كاتيونات، أنيونات، AquaChem .

Hydrochemical assessment of lake 16 Tishreen Dam water in the coastal basin - Syria

* أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا – كلية العلوم – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.

Email: kinanraee@gmail.com

Dr. Kinan Jamal RAEE*

ABSTRACT

This study aims to evaluate the hydrochemical characteristics of the water in Lake 16 Tishreen Dam, located in the coastal basin northeast of Latakia Governorate in the Syrian Arab Republic. The analysis was based on ten water samples distributed across the study area to cover the various geological settings and the diversity of human activities (agricultural, touristic) present in the region.

Samples were collected during two different periods representing wet and dry conditions. Chemical analyses were conducted to determine the concentrations of major ions (bicarbonate, sulfate, chloride, sodium, potassium, calcium, and magnesium) to understand the nature of the water and identify the sources of these constituents. The classification of water types was performed using specialized hydrochemical analysis software (AquaChem), with the processed results plotted on several diagrams (Piper, Stiff, Schoeller).

The results showed that the water is characterized by a bicarbonate–calcium type. The geological influence of carbonate rocks in the region was found to be the most significant factor in determining the water properties and its chemical composition. The findings also indicated a homogeneity in water quality, emphasizing the need for regular monitoring to ensure sustainability amid current challenges such as climate change and increasing human activity.

Keywords: 16 Tishreen Dam, Hydrochemistry, Cations, Anions, AquaChem.

مقدمة:

تعد دراسة الخصائص الهيدروكيميائية للمياه من المواضيع الحيوية المهمة لفهم ومعرفة نوعية المياه وتحديد ملاءمتها للاستخدامات المختلفة، فهي تشكل القاعدة الأساس لتفسير الظروف

* Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Lattakia University, Lattakia, Syria. Email: kinanraee@gmail.com

الطبيعية لتشكل التركيب الكيميائي لتلك المياه. وتزداد أهمية هذه الدراسات في البيئات التي تتأثر بالعوامل الجيولوجية والهيدرولوجية والنشاطات البشرية.

تمثل بحيرة سد 16 تشرين خزاناً مائياً استراتيجياً يعتمد عليه في تغذية الأغراض الزراعية وبعض الاستخدامات المنزلية والسياحية في المنطقة، مما يجعلها تتأثر بشكل مباشر بالملوثات المختلفة التي يمكن أن ترد إليها وللوسط المحيط. ومن هنا تأتي أهمية تحليل مكوناتها الكيميائية وتفسير مصادرها وتغيراتها الموسمية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الكيميائية الرئيسة لمياه البحيرة من خلال متوسط النتائج لفترتين متباينتين من حيث الظروف المناخية (الرطوبة، الجفاف) لتكوين تصور علمي عن نوعية المياه واتجاهات تطورها.

يتم توضيح عوامل تشكل التركيب الكيميائي للمياه من خلال وضع سلسلة من الخرائط والمخططات الهيدروكيميائية، واستخدام الطرائق الرياضية والإحصائية على نطاق واسع. وقد جرت حول ذلك العديد من الدراسات والبحوث العلمية تمّ فيها إجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه واستخدام مخططات متنوعة بهدف تحديد طبيعة المياه حسب الشاردة المسيطرة ، 4 , 5 , 6 , 7 , 8 , 9 [1 , 2 , 3].

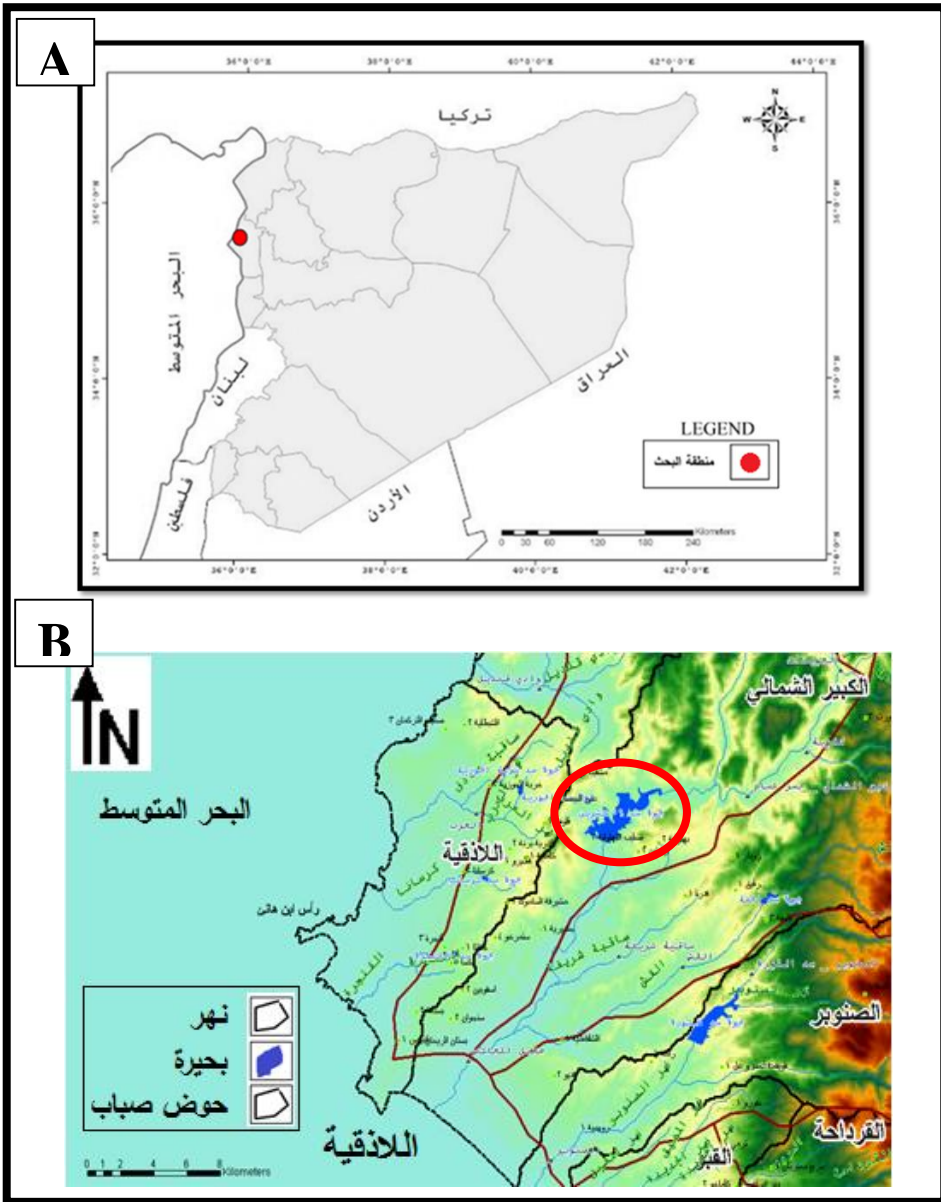
تقع بحيرة سد 16 تشرين ضمن حوض الساحل في الشمال الغربي من سورية، شمال شرق محافظة اللاذقية، ضمن الإحداثيات:

"N: 35° 37' 00" و "N: 35° 41' 00" ، "E: 36° 00' 00" و "E: 35° 54' 00" (الشكل (1)).

إنّ نهر الكبير الشمالي من الأنهار الدائمة وأكبرها من حيث الغزارة والطول، والبحيرة ناتجة عن تجميع مياه هذا النهر وعدة روافد محلية إضافة للهطولات المطرية التي تعد المصدر الرئيس لتغذية البحيرة.

تستخدم مياه البحيرة في الأعمال الزراعية (الري) وبعض الأنشطة السياحية والبشرية (تربية الأسماك).

يسود المنطقة بشكل عام مناخ البحر المتوسط، ويتميز بشتاء معتدل وماطر وصيف حار وجاف، ويؤثر بشكل مباشر على كمية ونوعية المياه في البحيرة.

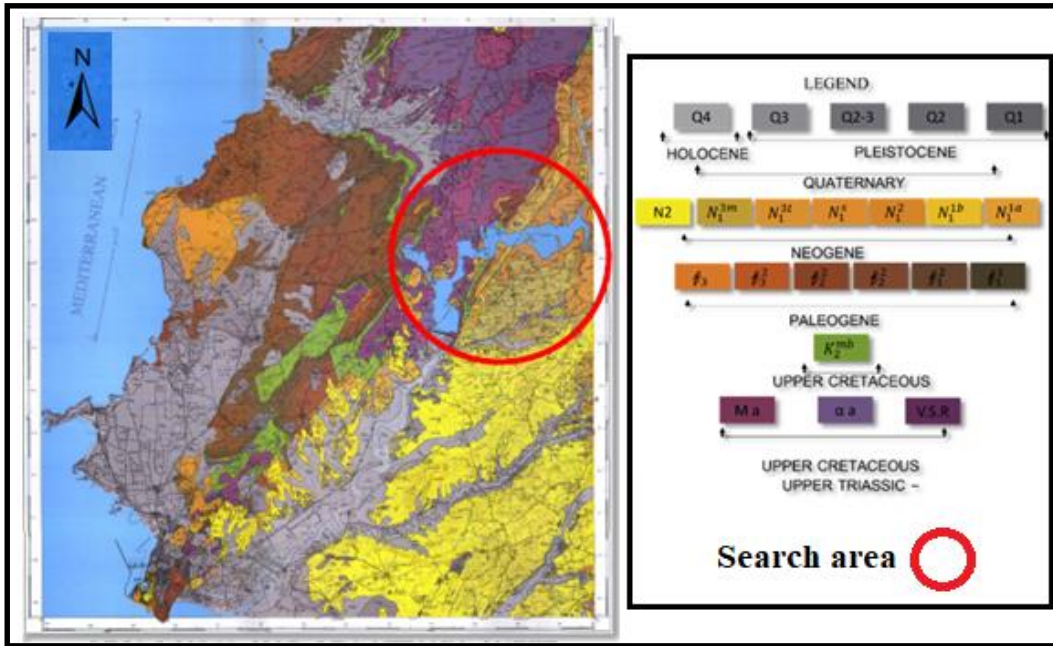


الشكل (1) A : موقع منطقة البحث بالنسبة للجمهورية العربية السورية

B : موقع منطقة البحث بالنسبة لمحافظة اللاذقية

يتميز الموقع ببنية جيولوجية معقدة، الشكل (2)، تؤدي دوراً مهماً في تشكل الجريانين السطحي والجوفي، حيث ينكشف ضمن المنطقة صخور تعود في أعمارها لأدوار جيولوجية متعددة من الترياسي وحتى الرباعي، وهي مؤلفة بشكل رئيس من الصخور الكربوناتية (الأحجار الكلسية، المارل، الدولوميت، الحوار) إضافةً لصخور متنوعة أخرى منها البركانية (الراديولايت، الطف، الصبات البازلتية) ومنها الأساسية (غابرو، دياباز) وفوق الأساسية (سرينتينية)، ومستويات من الكونغلوميرا مما يؤثر على نوعية المياه وتراكيبها الكيميائية [10, 11].

تشكل منطقة البحث منخفضاً بين كتلتين: الكتلة الشرقية لا تلاحظ فيها آثار فالقية، والكتلة الغربية تقطعها مجموعة من الفوالق الرئيسية والثانوية، وتنتشر في المنطقة حوامل مائية متعددة وتتدفق فيها الكثير من الينابيع لكن معظمها ضعيف التصريف [11].



الشكل (2) خارطة جيولوجية لرقعة اللاذقية بمقياس 1/50000، متضمنةً منطقة البحث [12]

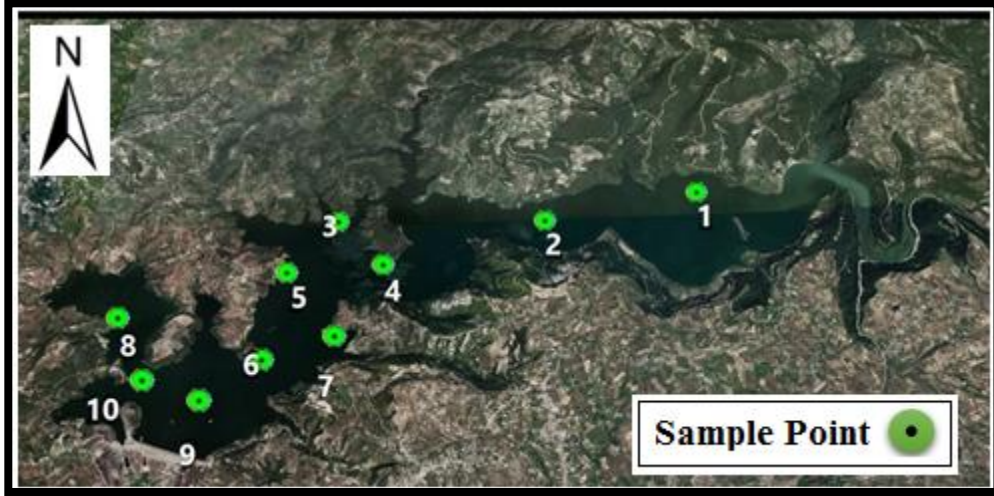
أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في كونه يسלט الضوء على الخصائص الهيدروكيميائية لبحيرة سد 16 تشرين والتي تعد مصدر مائي مهم للمنطقة الساحلية في سورية، وهي تؤدي دوراً أساسياً في دعم النشاطات الزراعية والسياحية. عدا عن أن التحولات المناخية والضغط البشري المتزايد على الموارد المائية في المنطقة يتطلب دراسات دقيقة لمتابعة التغيرات في نوعية المياه. يهدف البحث إلى تحديد الشوارد الرئيسة في مياه البحيرة، وتصنيف المياه اعتماداً على مخططات متنوعة (Schoeller ، Stiff ، Piper) باستخدام برنامج (AquaChem)، وتفسير التغيرات الهيدروكيميائية وربطها بالأوضاع الجيولوجية والمناخية والبشرية في المنطقة، وتقديم توصيات لإدارة مستدامة لمياه البحيرة.

مواد وطرائق البحث:

تمّ جمع 10 عينات مائية من بحيرة سد 16 تشرين من مواقع مختلفة تتميز بتباينها في الخصائص الجيولوجية، وتنوع النشاطات البشرية المحيطة بها، الشكل (3). وذلك خلال فترتين زمنيتين مميزتين من العام /2022/ الأولى: بتاريخ 26 شباط (فترة الرطوبة) والثانية بتاريخ 3 آب (فترة الجفاف).

وقد أجريت التحاليل الكيميائية للعينات في مخابر مديرية الموارد المائية في اللاذقية، ومخابر كلية العلوم بجامعة دمشق، مع الالتزام بأفضل الشروط المخبرية الممكنة. تمّ تحديد تراكيز الشوارد الرئيسة (الكاتيونات والأنيونات) والتي تشمل: (البيرونات، السلفات، الكلور، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنيزيوم). ولغايات التصنيف الهيدروكيميائي للمياه وفهم طبيعتها، استُخدم برنامج /AquaChem/ لتحليل النتائج وتفسيرها.



الشكل (3) مواقع العينات المائية في منطقة البحث

النتائج ومناقشتها:

ندرج جدولاً يبين النتائج المتوسطة التي تمّ الحصول عليها من تحليل العينات العشر خلال فترتي الرطوبة والجفاف، تمّ فيه إعادة حساب تلك النتائج من الشكل الوزني الأيوني (ppm) إلى الشكل المكافئ (epm)، والمكافئ النسبي (epm%)، الجدول (1):

نقطة الاعتي ان	Unit	الشوارد الموجبة (الكاتيونات)				الشوارد السالبة (الأنيونات)		
		Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
p1	ppm	14.0 0	2.5 6	29.30	15.24	236.37	59.50	34.0 5
	epm	0.60	0.0 6	1.46	1.25	3.87	1.23	0.95
	epm %	17.9 3	1.9 3	43.16	36.96	63.79	20.40	15.7 9
p2	ppm	16.0 3	3.0 3	37.16	16.10	259.25	57.50	35.5 2
	epm	0.69	0.0 7	1.85	1.32	4.25	1.19	1.00
	epm %	17.6 1	1.9 6	46.93	33.48	65.90	18.57	15.5 1
p3	ppm	17.1 6	3.0 8	47.80	14.83	202.06	54.00	35.3 1
	epm	0.74	0.0 7	2.39	1.22	3.31	1.12	0.99
	epm %	16.8 2	1.7 8	53.87	27.50	60.97	20.71	18.3 1
p4	ppm	10.6 8	2.3 6	31.60	14.87	228.75	59.50	33.0 0
	epm	0.46	0.0 6	1.58	1.20	3.75	1.23	0.92
	epm %	13.9 5	1.8 2	47.46	36.76	63.35	20.94	15.7 0
p5	ppm	19.1 1	4.0 6	58.40	15.09	228.75	59.50	36.4 1
	epm	0.83	0.1 0	2.92	1.24	3.75	1.23	1.02
	epm %	16.3 0	2.0 4	57.28	24.36	62.34	20.60	17.0 5
p6	ppm	6.32	1.3 5	57.40	16.25	183.00	58.50	30.8 5

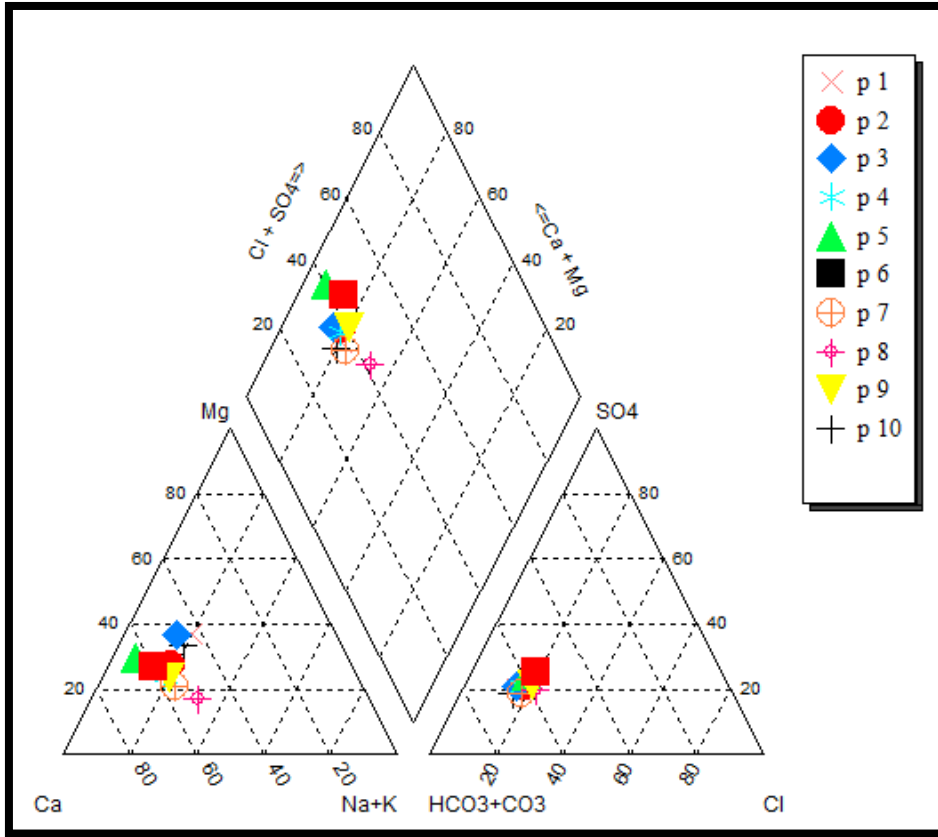
	epm	0.27	0.0 3	2.87	1.33	3.00	1.21	0.86
	epm %	6.08	0.7 6	63.53	29.60	58.96	23.95	17.0 8
p7	ppm	11.2 8	3.3 9	49.80	13.71	167.75	60.00	33.5 3
	epm	0.49	0.0 8	2.49	1.12	2.75	1.25	0.94
	epm %	11.6 8	2.0 7	59.34	26.89	55.61	25.28	19.1 0
p8	ppm	28.3 5	4.3 9	66.00	14.95	244.00	56.50	41.1 3
	epm	1.23	0.1 1	3.30	1.23	4.00	1.17	1.15
	epm %	20.9 7	1.9 1	56.16	20.94	63.13	18.57	18.2 8
p9	ppm	37.9 8	4.6 8	56.20	11.30	205.87	54.50	45.2 5
	epm	1.65	0.1 2	2.81	0.93	3.37	1.13	1.27
	epm %	29.9 6	2.1 7	50.98	16.87	58.33	19.62	22.0 3
p10	ppm	22.0 2	3.3 2	57.40	14.46	190.62	55.00	37.9 8
	epm	0.95	0.0 8	2.87	1.19	3.12	1.14	1.06
	epm %	18.7 6	1.6 6	56.24	23.32	58.51	21.45	20.0 3

الجدول (1) متوسطات نتائج التحاليل الكيميائية لعينات المياه المأخوذة في منطقة البحث

بهدف تصنيف المياه في منطقة البحث، تمّ تمثيل نتائج التحاليل الكيميائية للعينات المائية المأخوذة

على مخططات (Schoeller ، Stiff ، Piper) باستخدام برنامج (AquaChem).

مخطط " Piper " : يُمثّل التركيب الكيميائي للعينة المحلّلة بنقطتين تقع كل منهما في مثلث، وهي تشير إلى التراكيز النسبية لمختلف المكونات المنحلة في المياه، كما يمكن تمثيل التركيب الكيميائي بنقطة واحدة تقع في المعين تنتج عن تقاطع النقطتين السابقتين بإنشاء خطوط متوازية من نقطتي الكاتيونات، والأنيونات حيث يشير موقعها ضمن المعين إلى الخصائص الكيميائية العامة للمياه، وقد أسقطنا نتائج التحاليل لعينات المياه المأخوذة في منطقة البحث على المخطط، الشكل (4).



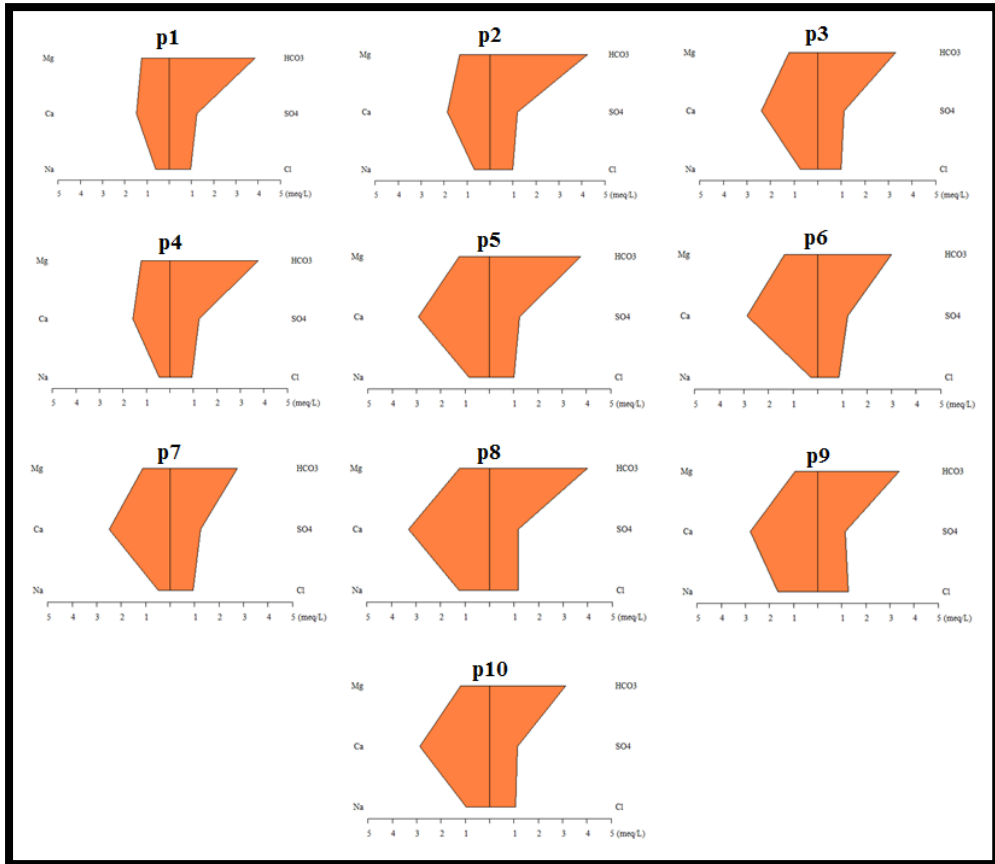
الشكل (4) توزيع الشوارد الرئيسية لعينات المياه المأخوذة في منطقة البحث حسب مخطط "

" Piper

يوضح مخطط " Piper " أنّ جميع النقاط الممثلة للعينات وقعت متقاربة بجانب بعضها البعض مما يدل على تجانس نوعية المياه إلى حدٍ كبير في منطقة البحث. حيث أنّ جميع العينات المأخوذة تقع في المثلث العلوي من المعين، وهي تتمتع بخواص ثانوية تسيطر فيها شوارد الكلوريد والسلفات، على شوارد الصوديوم والبوتاسيوم.

بالنسبة لتصنيف العينات المُختبرة وفقاً لتوزع نسب الأنيونات فيها، يمكن القول بأنَّ جميعها بيكربوناتية، أما وفقاً لتوزع نسب الكاتيونات فهي تحتوي نسبة عالية من الكالسيوم ومن ثمَّ يمكن تصنيف العينات بأنها **كلسية**. وهذا يشير إلى مياه ذات منشأ طبيعي ناتج عن انحلال الصخور الكربوناتية المنتشرة في المنطقة.

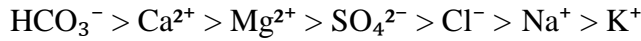
مخطط " Stiff " : يتكون هذا المخطط من مقياس لتحديد تراكيز كل من الكاتيونات والأنيونات [13]. وتسمى بالمخططات السداسية، الشكل (5).



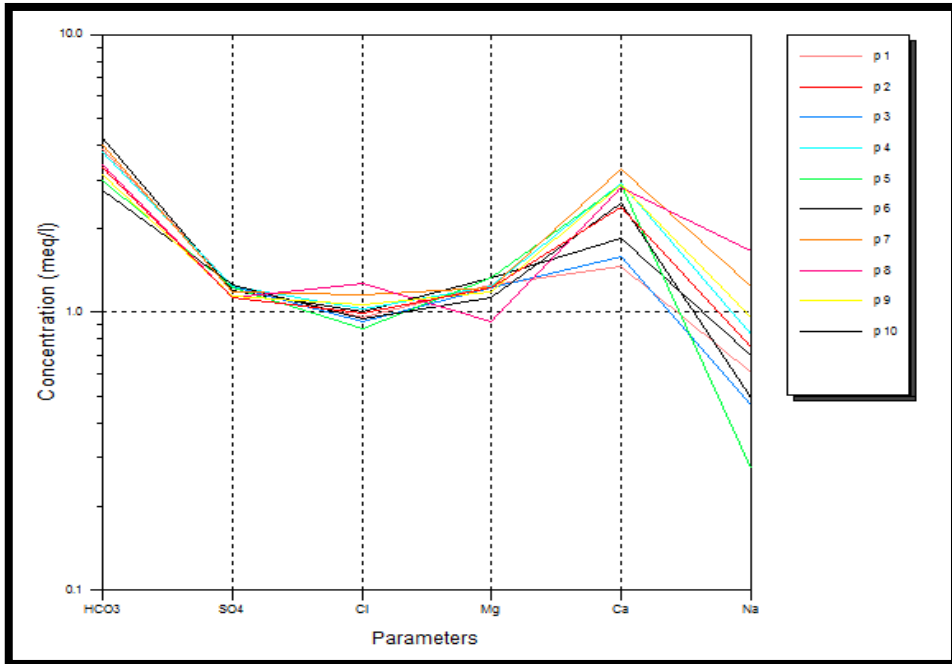
الشكل (5) مخطط " Stiff " لعينات المياه المُحلَّلة المختارة ضمن منطقة البحث

تظهر مخططات " Stiff " شكلاً متماثلاً إلى حد كبير يعبر عن سيادة شوارد البيكربونات في الأنيونات وشوارد الكالسيوم في الكاتيونات في جميع العينات، وهذا جاء متوافقاً مع نتائج مخطط " Piper " ، كما يلاحظ زيادة في عرض الجزء الخاص بالكاتيونات، ما يدل على تأثير مباشر للوسط الجيولوجي في منطقة البحث ومحيطها، والمتمثل بالصخور الكربوناتيّة (الكالسيت، الدولوميت، المارل، الجص).

مخطط " schoeller " : يوضح مخطط "Schoeller" الشكل (6)، الانحدار المتقارب للمنحنيات في معظم العينات، مع ترتيب مميز لتراكيز الشوارد على النحو الآتي:



وهذا النمط ينسجم مع الطبيعة الكربوناتيّة للمصادر الجيولوجية في منطقة البحث ومحيطها، كما يشير إلى قلة التأثيرات الصناعية أو البشرية الواضحة.



الشكل (6) مخطط " schoeller " لعينات المياه المُحلَّلة المختارة ضمن منطقة البحث

الاستنتاجات والتوصيات:

تتصف مياه بحيرة سد 16 تشرين عموماً بتركيب كيميائي طبيعي يعكس التفاعل مع الصخور الكربوناتيّة المحلية، وأنّ التغيرات الموسميّة في كيمياء المياه محدودة، ويمكننا من خلال تحليل النتائج استخلاص الآتي:

1. يسود المياه في جميع العينات نمط بيكربوناتى - كلسى.
2. تتأثر الخصائص الكيميائيّة للمياه بالعوامل الجيولوجية (التركيب الليتولوجي للصخور).
3. أظهرت المخططات الهيدروكيميائية المستخدمة فاعلية كبيرة في تصنيف المياه وفهم طبيعتها. ومنها نوصي بالآتي:

1. ضرورة إجراء مراقبة دورية لنوعية مياه البحيرة، خاصةً خلال فترة الجفاف.
2. تبني خطة إدارة مستدامة لحوض البحيرة تراعى فيها التغيرات الموسميّة والنشاط البشرى.
3. تعزيز الدراسات الهيدروجيولوجية المرتبطة بالتغذية الجوفية في محيط البحيرة.

References

1. ELKAMMAR M, MOHAMED A, 2003 - Hydrogeochemical studies of some selected groundwater wells from the northwestern part of the Aleppo Basin, Syria, Egyptian Journal of Geology, Vol. 47/1, P. 475-489.
2. ATWIA M, ABU-HELEIKA M, EL-HORANY M, 2013 - Hydrogeochemical and vertical electrical soundings for groundwater investigations, Burg El-Arab area, Northwestern Coast of Egypt. Journal of African Earth Sciences, Vol. 80, P. 8-20.
3. KAMATCHUENG B, and 11 authors, 2014 - Assessment of shallow groundwater in Lake Nyos catchment (Cameroon, Central-Africa): implication for hydrogeochemical controls and uses. Environmental Earth Sciences, Vol. 72, P. 3663-3678.
4. ALSANJARI A, ALQATTAN A, 2015 - Water Quality Assessment, and Suitability for Irrigation Purposes of Lesser Zab River, Northern Iraq. Iraq Journal of Sciences, Vol. 56, No. 3, P. 2187-2199.

5. DALELA Z, BOUDAOKHA A, ABDERRAHMANE B, LAHCEN B, 2017 - water quality Assessment for drinking and irrigation using major ions chemistry in the semiarid region: case of Djacer spring, Algeria. Asian Journal of Geosciences. Vol. 10, No. 1, P. 9-21.
6. ABD EL-GAWAD A, HELALY A, ABD EL-LATIF M, 2018 - Application of geoelectrical measurements for detecting the ground-water seepage in clay quarry at Helwan, southeastern Cairo, Egypt. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, Vol. 7, P. 377-389.
7. AWADH S, AL-AUWEIDY M, AL-YASERI A, 2019 - Hydrochemistry as a tool for interpreting brine origin and chemical equilibrium in oilfields: Zubair reservoir southern Iraq case study. Applied Water Science, Vol. 9, No. 3, P. 12.
8. RAEE K, 2022 - Determining the originating conditions for the formation of the geochemical pattern of groundwater in Lattakia Governorate basin. Tishreen University Journal of Research and Scientific Studies, Vol. 44, No. 3, P. 31-49.
9. SALLOUM S, RAEE K, M.MOHAMMEDM A, 2022 - Formation properties of the chemical composition of groundwater in Qandil Valley basin. Tishreen University Journal of Research and Scientific Studies, Vol. 44, No. 6.
10. PONIKAROV V, 1966 - The geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, scale 1:200 000. Ministry of Industry, Syrian Arab Republic.
11. ADJEMIAN J, KHATOUN A, 1999 - The Geological Map of Syria **Scale 1:50000** of **Latakia sheets** NI 36 - XVI - E – b. Ministry of Petroleum and Mineral Resources.
12. MAJD A, RAEE K, DARIN B, 2024 - Hydrochemical study of 16 Tishreen Lake area in Lattakia Governorate. Master's Thesis, Department of Geology, Faculty of Sciences, Tishreen University.

13. TAHAL T, 1999 - Hydraulics “Major ions in water”. Hydrology Project Training Module, new Delhi, India, P. 1-8.

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجُملة الأكسيد المختلط Al_2O_3/CdO المُحضّر بالطريقة الهدروحرارية

* سلمى القاضي ،** د. حسام الدين قواص،** د. عقل رومية.

الملخص

تم تحضير الأكسيد المختلط Al_2O_3/CdO بنسبة مولية ($Al_2O_3/CdO(1:0.25)$ ، وبالطريقة الهدروحرارية عند درجة الحرارة ($100^\circ C/7hrs$)، حيث جرى تقييم تأثير إضافة العامل الموجه سينتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد (CTAB) بثلاث نسب مولية ($0.1, 0.25, 0.5 mol$)، وقد أعطيت العينات الرمز $HC_xAl_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$ حيث يشير X إلى النسبة المولية للعامل الموجه (CTAB). أظهرت النتائج ارتفاع قيمة الحموضة السطحية الكلية من 0.14 ($0.30 mmol/g$) عند أعلى نسبة للعامل الموجه في العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$. ثم حملت هذه العينة بأيونات الكبريتات ($4, 7, 10 \%wt$)، وأعطيت العينات الرمز $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}-S(y\%)$ حيث y تمثل نسبة الكبريتات المحملة. ارتفعت الحموضة إلى ($0.66 mmol/g$) عند النسبة (4%) وبلغت قيمة عظمى ($0.87 mmol/g$) عند النسبة (7%) ، قبل أن تنخفض عند النسبة (10%).

الكلمات المفتاحية: الأكسيد المختلط $CdO-Al_2O_3$ ، حموضة، TPD ، CTAB.

*طالبة دكتوراه في كلية العلوم-قسم الكيمياء -جامعة اللاذقية-سورية :

Email: salmaalqadi7@gmail.com

**أ.د. -أستاذ-كلية العلوم- قسم الكيمياء- جامعة اللاذقية - اللاذقية- سورية

Effect of CTAB Ratio and Sulfate Loading on the Acidic Properties of Hydrothermally Prepared $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ Mixed Oxides

*Salma AlQadi ,**Dr. Husam Al-dien Kawass,**Dr. Akel Roumie.

Abstract

Mixed oxide $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ with a molar ratio of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ (1:0.25) was prepared by the hydrothermal method at 100 °C for 7 h. The effect of adding the structure-directing agent cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) was evaluated at three molar ratios (0.1, 0.25, and 0.5 mol). The samples were denoted as $\text{HCXAl}_2\text{O}_3/\text{CdO}(1:0.25)100$, where X represents the CTAB molar ratio. The results revealed an increase in total surface acidity from 0.14 to 0.30 mmol/g at the highest CTAB loading in sample $\text{HC0.5Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}(1:0.25)100$. This optimized sample was subsequently impregnated with sulfate ions at different loadings (4, 7, and 10 wt%), denoted as $\text{HC0.5Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}(1:0.25)100\text{-S}(y\%)$, where y represents the sulfate content. The surface acidity increased to (0.66 mmol/g) at (4%), reached a maximum of (0.87 mmol/g) at (7%), and then decreased at (10%) loading.

Key words: $\text{CdO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ System, Acidity, Tpd, CTAB.

* PhD student at chemical department, faculty of science, Latakia University, Syria

** Professor at chemical department , faculty of science, Latakia University,Syria. Department of Environmental Chemistry - Lattakia University -Syria.

1. مقدمة:

تلعب المواد المسامية دوراً حيوياً في التطبيقات الحديثة نظراً لخصائصها الفريدة، حيث تعتمد فعالية هذه المواد على عوامل متعددة تشمل التركيب الكيميائي، درجة حرارة التكليل، زمن التكليل، pH وسط الترسيب، وطريقة التحضير [1-7]. كما تلعب الشوائب والعيوب البلورية دوراً محورياً في تغيير الخصائص الكهربائية والبصرية لهذه المواد، مما يبرز أهمية التحكم الدقيق في عمليات التحضير لضمان الجودة المطلوبة.

شكل اكتشاف مواد مسامية ذات ترتيب منتظم ومساحة سطح نوعي عالية مكونة من مواد السيليكات المسامية اللاعضوية، خطوة محورية في هذا المجال، حيث طورت مواد سيليكاتية مسامية منتظمة ذات مساحة سطحية تصل إلى مئات الأمتار المربعة/غرام، وأبعاد مسامية منتظمة وذلك باستخدام المواد الفعالة سطحياً موجبة الشحنة كعامل موجه، وتمتاز هذه المواد بقدرتها على إدخال وظائف سطحية محددة وتحقيق ضبط دقيق لأبعاد المسام، مما جعلها ذات استخدام واسع في مجالات التحفيز بفضل خصائصها التركيبية المتميزة [8-10].

تستخدم المعادن الطبيعية على نطاق واسع عالمياً في عمليات معالجة المياه الصناعية وتنقية الملوثات العضوية وغير العضوية [11-14]، إلا أن فعاليتها غالباً ما تكون محدودة بسبب احتوائها على شوائب بنسب مرتفعة نتيجة ظروف تكوينها الطبيعي، مما يستلزم معالجتها أو تعديلها لتحسين كفاءتها في التطبيقات المختلفة.

اهتم الباحثون كثيراً بتشكيل جمل متعددة المكون نظراً لأهميتها وفعاليتها الحفزية، وتعتبر الأكاسيد المختلطة من أكثر هذه الجمل اهتماماً، حيث أظهرت حفازات الأكاسيد المختلطة فعالية وانتقائية عاليتين أكثر من الأكاسيد المكونة لها. تحضر الأكاسيد المختلطة بطرائق مختلفة منها المزج الميكانيكي لهلامات الهيدروكسيدات أو الترسيب المشترك أو المعالجة الهيدروحرارية [15-20].

اتجه كثير من الباحثين إلى تحسين الخصائص الفيزيائية والحمضية للمواد باستخدام معالجات مختلفة، أو باستخدام مواد فعالة سطحياً، كما تم استخراج مواد عالية الكفاءة ومسامية من مصادر

طبيعية مثل الطين والزيوليت، أو انطلاقاً من الألومينا والسيليكا، بهدف إنتاج مواد متقدمة ذات أداء محسّن [18, 21].

تؤدي الطريقة الهدروحرارية، خاصةً مع استخدام CTAB أو بولي إيثيلين غليكول كعوامل موجهة، إلى تحضير زيوليتات وأكاسيد مختلطة بنى ميزو مسامية ذات مساحات سطحية فائقة، وتوزع مسامي محسن، وتركيز أعلى من العيوب البلورية والمراكز الفعالة مقارنةً بالطرق التقليدية [22–24].

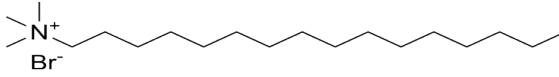
تُستخدم أكاسيد الألمنيوم والكادميوم في تطبيقات واسعة تشمل الحفز الكيميائي، والاختزال الكهروكيميائي لثاني أكسيد الكربون، وتحسين الخصائص البصرية والفيزيائية للمواد الزجاجية. وتتشترك هذه الأكاسيد في امتلاكها بنية بلورية مستقرة، ومساحة سطحية عالية، وإمكانية تعديلها بإضافات أو شوائب لزيادة النشاط التحفيزي وانتقائية التفاعل [25–27]. حيث تم تطوير وتحضير مواد ومحفزات قائمة على أكسيد الألمنيوم وأكسيد الكادميوم، منفردة أو في أنظمة متعددة المكونات، مع تعديلها بعناصر أو أيونات نشطة لتحسين الخصائص البنيوية والبصرية والحفزية. وتتشترك هذه الأكاسيد في امتلاكها بنية مستقرة ومساحة سطحية مناسبة وقابلية عالية للتعديل، مما يسهم في رفع الكفاءة والتحكم في النواتج في مختلف التطبيقات الصناعية والتحفيزية [28, 29].

تشير الدراسات الحديثة إلى أن استخدام عوامل موجهة مثل CTAB في تحضير الأكسيد المختلط Al_2O_3/CdO بطرائق مختلفة (كالترسيب المشترك أو الطريقة الهدروحرارية) يحسن الخصائص النسيجية مثل مساحة السطح النوعي أو البنية المسامية، كما يعدل الخصائص الحمضية للطور الناتج، مما يجعله واعداً في التطبيقات الحفزية [15–18].

سيتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد (CTAB):

يُعد مركب سيتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد، المعروف اختصاراً بـ CTAB، أحد المواد الفعالة سطحياً ذات الشحنة الموجبة، صيغته الجزيئية $C_{18}H_{37}BrN$ ، ويظهر الشكل 1 الصيغة الهيكلية. يتركب من كاتيون أمونيوم رباعي يحوي سلسلة ألكيلية طويلة مؤلفة من 16 ذرة كربون (السيتيل)، وثلاث مجموعات ميثيل مرتبطة بذرة نتروجين مركزية، إضافة إلى أنيون بروميد كمرافق، تتبع أهميته من فعاليته السطحية العالية، إذ يُعتبر من العوامل الخافضة للتوتر السطحي. هذه الخاصية تجعله قادراً على تنظيم وتوجيه نمو الجسيمات النانوية والتحكم في شكلها وحجمها،

خاصة في تحضير المواد النانوية مثل السيليكا المسامية وهيدروكسي أبانيت النانوي، حيث يلعب دوراً رئيسياً في تحديد البنية النهائية للمواد الناتجة [30–34].



الشكل 1 الصيغة الهيكلية لـ CTAB

2. أهمية البحث/ أهدافه وجديده:

تمتلك البنية الميزو مسامية أهمية كبيرة في العديد من المجالات لتمتعها بفعالية وانتقائية عاليتين في الكثير من التفاعلات الكيميائية الصناعية مثل التكسير والتكرير والهدرجة والأكسدة والبلمره... إلخ. لذلك انصب الاهتمام في تحضير جمل عدة من الأكاسيد المعدنية المختلطة عند شروط مختلفة حيث تلعب الحموضة دوراً أساسياً في تحفيز التفاعلات الحفزية السطحية [15].

تكم أهمية البحث في إغناء البنية النسيجية لجملة الأكسيد المختلط Al_2O_3/CdO التي تم تحضيرها بالطريقة الهدروحرارية في الدراسة [35]، وسيسهم هذا البحث في إلقاء الضوء من الناحية العلمية على دراسة تأثير تغير نسبة العامل الموجه على خصائص الحموضة السطحية عند تحضير جملة الأكسيد المختلط Al_2O_3/CdO بالطريقة الهدروحرارية عند درجة الحرارة 100 °C، ثم دراسة تأثير التحميل بالكبريتات على البنية المسامية لأهمية تأثير حموضة السطح على التفاعلات الحفزية.

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجملة الأكسيد المختلط

المُحضر بالطريقة الهدروحرارية Al_2O_3/CdO

3. طرائق البحث ومواده:

1.3. الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- فرن تجفيف كهربائي (0 – 250°C) ماركة HERAEUS وبدقة $\pm 2^\circ C$.
- مرمدة تكليس (0-1200°C) ماركة (CARBOLITE) دقة تحكمه بدرجة الحرارة $\pm 2^\circ C$.
- سخان مع خلط مغناطيسي هولندي الصنع نوع R-LABINCO موديل L-34.
- خلط ميكانيكي انكليزي الصنع نوع GOLLEN KAMP.
- جهاز pH من النوع CYPHER SCAN.
- ميزان إلكتروني عالي الدقة من ماركة Shimadzu بدقة ± 0.001 غرام.
- أوتوكلاف: مفاعل مصنوع من الكروم مبطن بمادة التفلون سعة 100ml.
- جهاز تحليل حراري تفاضلي ووزني LABSYSTEM – DTA – TG فرنسي الصنع إنتاج شركة SETARM يعمل في المجال $20-1000^\circ C$ وفي جو من الأرجون وباستخدام جفئات بلاتين Pt سعة 100ml.

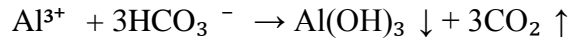
2.3. المواد المستخدمة:

- كبريتات الألمنيوم المائية $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ إنتاج BDH.
- كبريتات الكاديوم المائية $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ إنتاج MERCK.
- سيتيل ثلاثي ميتيل أمونيوم بروميد (CTAB) $C_{12}H_{25}BrN$ (Qualikems, $\geq 99\%$).
- بيكربونات الأمونيوم NH_4HCO_3 عالي النقاوة إنتاج (Sigma Aldrich).
- تري إيثيل أمين $C_6H_{15}N$ (ET₃N) (Scharlau, $\geq 99\%$).
- كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ (Qualikems).
- ماء مقطر.

3.3. التحضير:

تم تحضير عينات من جملة الأكسيد المختلط بنسبة مولية ثابتة ($Al_2O_3/CdO(1:0.25)$ ، حيث تم تحضير محاليل مشبعة بكميات مناسبة من كبريتات الألمنيوم وكبريتات الكاديوم وبعد

ترشيح المحلولين ومزجهما تمت إضافة العامل الموجه (CTAB) بنسب مولية مختلفة (0.1, 0.25, 0.5 mol)، بعد حلها بأقل كمية من الماء، ثم تمت إضافة العامل المرسب بيكربونات الأمونيوم بكمية مناسبة من محلول مشبع منه مع التحريك المستمر باستخدام قضيب زجاجي حتى المزج التام، وتشكل هلام من هيدروكسيد الألمنيوم وكربونات الكاديوم نتيجة للتفاعلات التالية:



ثُرك الهلام لمدة 24h ومن ثم وضعت العينات في أوتوكلاف مغلق الإحكام ومن ثم وضعهم في الفرن الكهربائي عند درجات حرارة 100°C لمدة 7 ساعات، ثم غُسل الراسب بكميات مناسبة من الماء المقطر حتى التخلص التام من أيونات SO_4^{2-} ، أعطيت العينات الرموز التالية: $\text{HC}_x\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}(1:0.25)_{100}$ حيث X تشير إلى النسبة المولية للعامل الموجه، أُجريت عملية التكليل النهائي عند 425°C لمدة ساعتين لتحويل المركبات إلى أكاسيد وفق التفاعلات التالية:



تحميل أيونات الكبريتات:

أخذت العينة $\text{HC}_{(0.5)}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}(1:0.25)_{100}$ بعد التكليل وتم تحميلها بأيونات الكبريتات بثلاث نسب مختلفة بطريقة النقع حيث كانت نسب الكبريتات المحملة (4, 7, 10) wt% وذلك بحل الكمية المناسبة من كبريتات الأمونيوم في أقل كمية ممكنة من الماء المقطر ثم إضافة هذا المحلول إلى كمية معينة من العينة لتحقيق نسبة التحميل المطلوبة مع التحريك المستمر لمدة 24 ساعة ثم جففت بالهواء الطلق لمدة 24 ساعة أخرى ثم كلست عند الدرجة

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجملة الأكسيد المختلط

المُحضر بالطريقة الهدروحرارية Al_2O_3/CdO

425°C لمدة ساعتين ودعيت هذه العينات بـ $(S(y\%))_{(0.5M)} Al_2O_3/CdO(1:0.25)$ حيث تشير y إلى نسبة الكبريتات المحملة.

4.3. توصيف العينات

أ. أنجز التحليل الحراري التفاضلي (DTA) Thermal Differential Analysis (DTA) والوزني الحراري (TG) Thermal Gravimetry (TG) للعينات المعدلة بـ CTAB بنسب مختلفة باستخدام جهاز التحليل الحراري التفاضلي TG-DTA، وذلك في جو من الأرغون في المجال 20-900°C وبمعدل تسخين 10°/min حيث تم تحميل كمية دقيقة من كل عينة (عادةً 10-15 mg) في أوعية من البلاتين لكل تجربة. سجلت منحنيات DTA التحولات الماصة والناشرة للحرارة، بينما سجلت منحنيات TG التغيرات في الوزن المرتبطة بعمليات التحلل الحراري.

ب. حددت الخصائص الحمضية للعينات بطريقة المجر الحراري المبرمج TPD (Temperature Programmed Desorption) وذلك باستخدام ترائي ميثيل أمين TEA كأساس، حيث نعتت العينات بالأساس مدة 24 ساعة مع التحريك المستمر، بعد التشريب حددت المنحنيات التفاضلية الحرارية لعينات TPD وذلك لتحديد كمية المواقع الحمضية المتوسطة والمواقع الحمضية القوية، تم تعيين كمية الفاقد الوزني من خلال منحنيات TG ضمن المجال 50-650°C وبمعدل تسخين 10°/min.

تم تقدير توزع قوة المواقع الحمضية كما يأتي:

المواقع الحمضية المتوسطة: 290-450°C

المواقع الحمضية القوية: 450-610°C

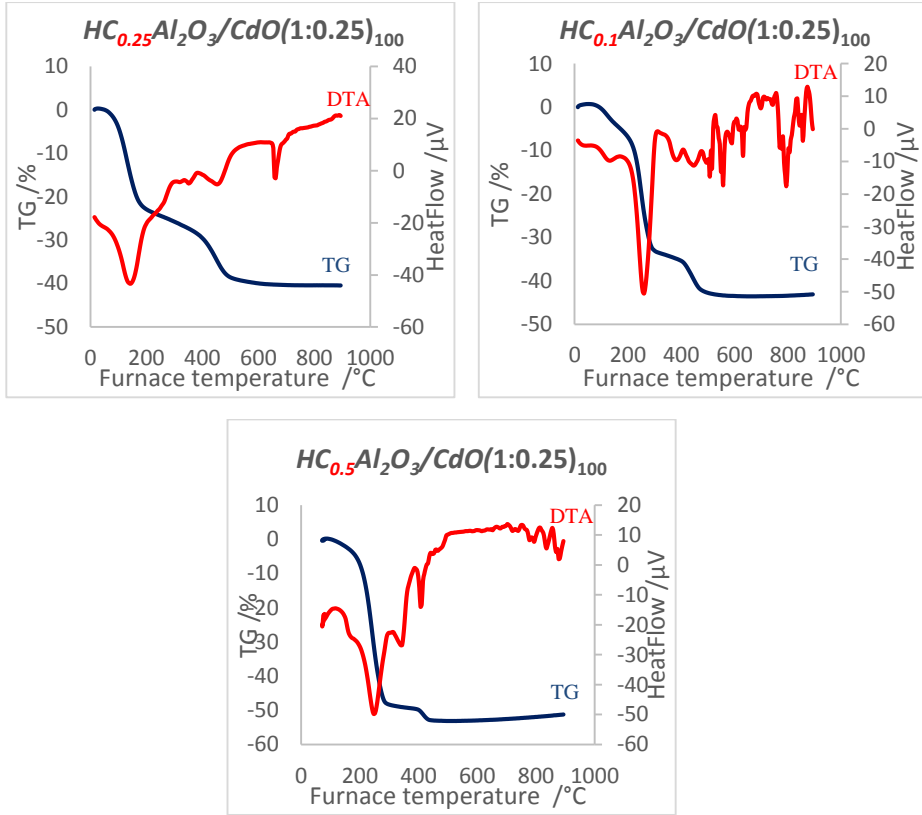
ملاحظة: لم يتم قياس المواقع الحمضية الضعيفة في هذه الدراسة بسبب مساهمتها الضئيلة.

4. النتائج والمناقشة:

1.4. تأثير CTAB على الاستقرار الحراري والخصائص الفيزيوكيميائية للعينات:

يبين الشكل (2) منحنيات TG-DTA للعينات المدروسة قبل التحميل بالكبريتات وغير

المكلسة:



الشكل (2) يبين منحنيات TG-DTA للعينات المدروسة غير المكلسة

في الشكل (2)، تُظهر منحنيات DTA للعينات غير المحملة قبل التكليل ثلاث تأثيرات

حرارية رئيسية:

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجملة الأكسيد المختلط

المُحضر بالطريقة الهدروحرارية Al_2O_3/CdO

1. 50-150°C: فقدان كتلة طفيف (2.2-17.5%) نتيجة فقد الماء الممتز فيزيائياً.
 2. 150-350°C: فقدان كتلة أكبر (9.8-46.95%) نتيجة التحلل الحراري لبقايا بيكرونات الأمونيوم واحتراق CTAB.
 3. 350-450°C: فقدان نهائي محدود (4.0-11.3%) نتيجة فقد الماء الممتز كيميائياً وتحول الهيدروكسيدات إلى أكاسيد.
- بلغ إجمالي الفقدان (40.42-51.26%)، ما يوضح تأثير زيادة تركيز CTAB على بنية العينات.
- تُظهر العينات أيضاً تحولات طورية ضمن 600-850°C، مصحوبة بقمم ناشرة للحرارة دون فقد إضافي للوزن، مما يعكس الاستقرار البنيوي والحراري للحفازات.
- في ما يأتي خصائص البنية النسيجية (تحليل BET) للعينات المحضرة في الدراسة السابقة [35].

الجدول (1) خصائص البنية النسيجية للعينات المحضرة بالدراسة السابقة [35]:

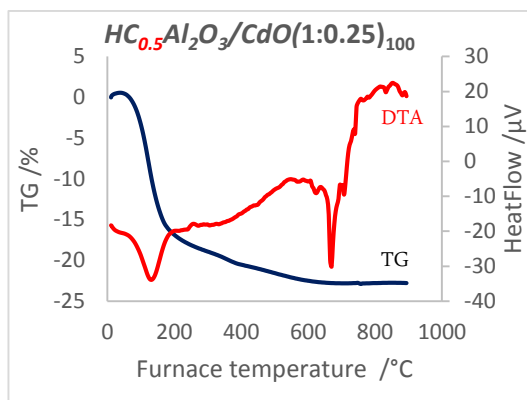
العينة	S_{BET} g/m ²	V_o ml/g	V_{meso} ml/g	V_m ml/g	\bar{r} (nm)	E_o kJ/mol
1 $HC_{0.1}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$	322	0.091	0.121	0.080	1.9	12
2 $HC_{0.25}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$	288	0.107	0.242	0.104	2.4	13
3 $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$	289	0.105	0.335	0.104	3.1	15

تشير الزيادة التدريجية في كل من نصف قطر المسام (1.9-3.1 nm) ومساحة السطح (223-289 g/m²) من العينة 1 إلى 3 إلى دور CTAB في تطوير البنية المسامية، مما يجعل العينة رقم 3 الداعم الأمثل لتحميل الكبريتات.

يوضح الشكل (3) منحنى DTA للعينة المثلى $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$ بعد التكليل:

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجلمة الأوكسيد المختلط

المُحضر بالطريقة الهدروحرارية Al_2O_3/CdO



الشكل (3) يبين منحنيات TG-DTA للعينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$

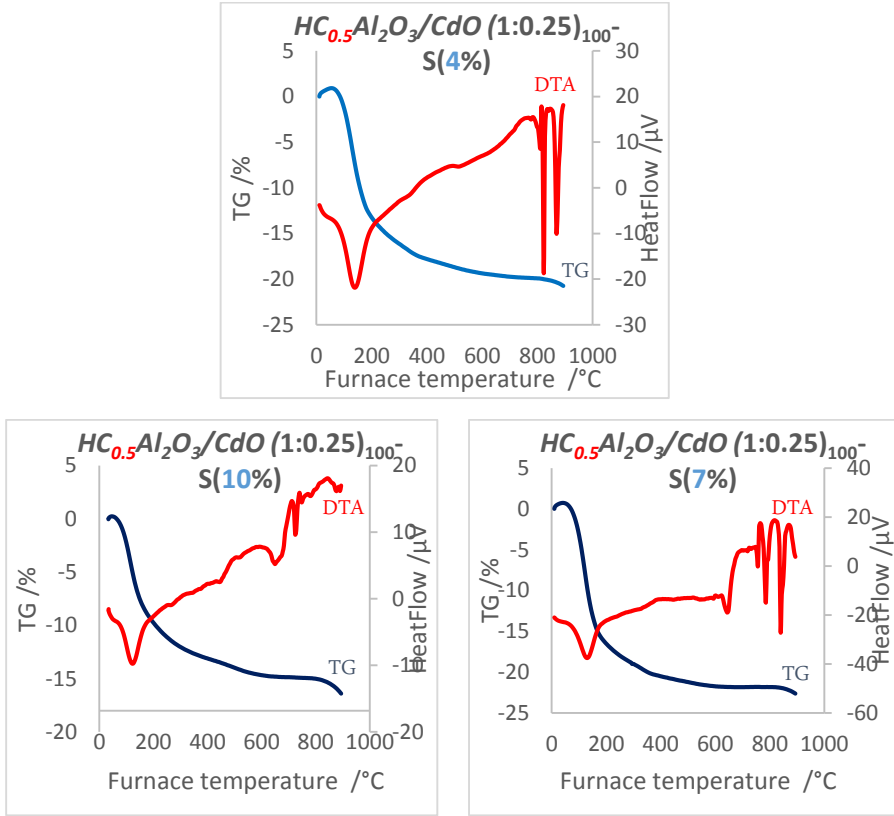
المكلسة

يُلاحظ من الشكل (3) اختفاء القمم في المجال ($150-350^\circ C$)، مما يؤكد الإزالة الكاملة لبقايا بيكربونات الأمونيوم والعامل الموجه CTAB. كما اختفت القمم الناتجة عن فقد الماء الممتز كيميائيًا والتحول المصاحب للهيدروكسيديت المختلطة إلى بنى أكاسيد مختلطة في المجال ($350-500^\circ C$)، مما يدل على أن زمن التكليل ودرجة الحرارة ($425^\circ C$) كانا كافيين لإجراء التحول المطلوب.

بينما بقي التحول الطوري المصاحب لثبات الفقد الوزني في المجال ($600-850^\circ C$) ظاهرًا في منحنيات TG-DTA للعينات المكلسة، نظرًا لأن التكليل تم عند درجة حرارة أقل من درجة هذا التحول.

تتوافق هذه النتائج مع بيانات BET السابقة المبينة بالجدول (1)، حيث أظهرت العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$ أعلى مساحة سطحية وحجم مسام، وهو ما يفسر الاستقرار الحراري الملاحظ بعد إزالة المواد العضوية، ويؤكد تكوين شبكة مسامية منظمة ومستقرة بعد التكليل.

2.4. تأثير التحميل بالكبريتات على العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$ بعد التكلّيس: يبين الشكل (4) منحنيات TG-DTA للعينة المكلسة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}$ المحملة بالكبريتات بنسب مختلفة :



الشكل (4) يبين منحنيات TG-DTA للعينات المحملة بالكبريتات المكلسة

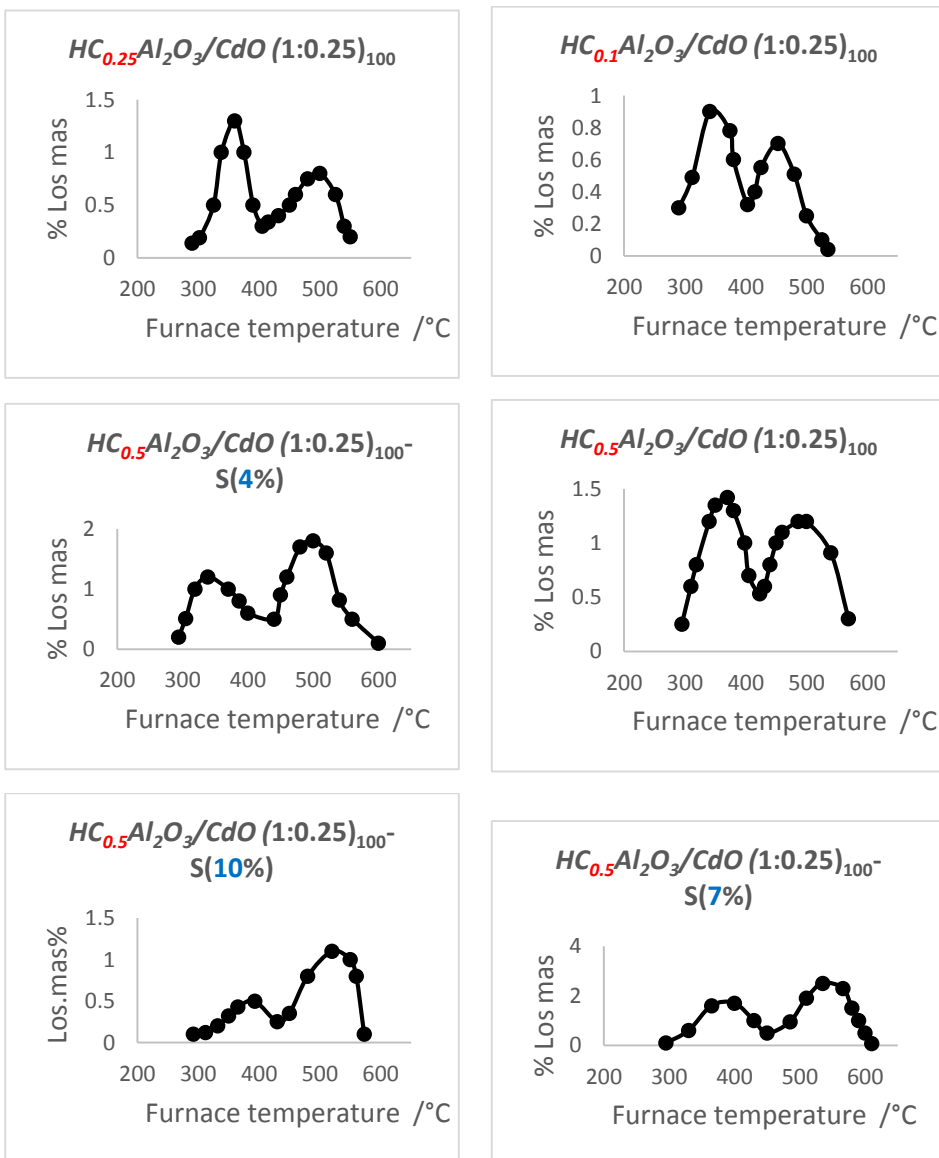
يُظهر الشكل (4) أن البنية المسامية مستقرة، وأن المواد العضوية أُزيلت بالكامل. كما تشير النتائج إلى أن التحولات الحرارية عند درجات الحرارة العالية لا تؤثر على المسامية أو البنية.

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجملة الأكسيد المختلط

المُحضر بالطريقة الهدروحرارية Al_2O_3/CdO

3.4. الخصائص حمض-أساس السطحية:

يبين الشكل (5) منحنيات TPD للعينات المدروسة باستخدام TEA كأساس:



الشكل (5) يبين منحنيات الفاقد الوزني للعينات المدروسة

وبإهمال قوى امتزاز TEA الفيزيائية (امتزاز فيزيائي في المجال $100-200^{\circ}\text{C}$) يلاحظ وجود قمتين الأولى في المجال الحراري ($290-450^{\circ}\text{C}$) وهي تمثل امتزاز TEA على المواقع الحمضية المتوسطة وقمة أخرى في المجال ($450-610^{\circ}\text{C}$) يمكن اعتبارها عائدة لامتزاز TEA على المواقع الحمضية القوية.

ومن أجل تحديد مقدار الحموضة السطحية للعينات المدروسة قورنت نتائج تحليل الفاقد الوزني الحراري للعينات المكلسة قبل النقع بـ TEA مع نتائج تحليل الفاقد الوزني الحراري للعينات المكلسة الموافقة بعد التحميل بـ TEA وحسبت من أجل ذلك المقادير الآتية:

W: وزن العينة المدروسة بالميلي غرام.

X: وزن TEA الممتز على المراكز الحمضية المتوسطة بالميلي غرام.

Y: وزن TEA الممتز على المراكز الحمضية القوية بالميلي غرام.

W': وزن الأكسيد الحقيقي بطرح كمية TEA الممتزة عليه $W' = W - (X + Y)$.

X': وزن TEA الممتز على المراكز الحمضية المتوسطة بالميلي غرام نسبةً إلى 1g أكسيد مشترك.

Y': وزن TEA الممتز على المراكز الحمضية القوية بالميلي غرام نسبةً إلى 1g أكسيد مشترك.

n₁: عدد ميلي مولات TEA الممتزة على المراكز الحمضية المتوسطة نسبةً إلى 1g أكسيد مشترك.

n₂: عدد ميلي مولات TEA الممتزة على المراكز الحمضية القوية نسبةً إلى 1g أكسيد مشترك.

Z₁%: النسبة المئوية للحموضة السطحية المتوسطة نسبةً للحموضة الكلية.

Z₂%: النسبة المئوية للحموضة السطحية القوية نسبةً للحموضة الكلية.

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجملة الأكسيد المختلط

Al_2O_3/CdO المحض بالطريقة الهدروحرارية

يبين الجدول (2) تحليل بيانات TPD لتحديد الحموضة السطحية المتوسطة والحموضة السطحية القوية حيث كشف تحليل TPD-TEA أن التحميل بالكبريتات على أكاسيد Al_2O_3/CdO المعدلة بـ CTAB يؤدي إلى تعديل قوة وتوزيع المواقع الحمضية. حيث بينت النتائج وجود نوعين رئيسيين من المواقع:

مواقع لويس متوسطة القوة مرتبطة بأيونات Al^{3+}

مواقع برونشنتد قوية ناتجة عن انتشار مجموعات الكبريتات، والتي تعمل على استقطاب روابط OH^- السطحية.

أثبتت العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100-S}(7\%)$ أنها الأفضل، حيث سجلت أعلى كثافة للمواقع الحمضية القوية (0.54 mmol/g) أي بزيادة قدرها 5.4 مرة مقارنة بالعينة غير المحملة بالكبريتات. كما أظهرت نسبة مثالية بين مواقع برونشنتد/لويس بلغت 1.64، وهو ما يعكس توازنًا جيدًا بين البنية المسامية والاستقرار الحراري وتوزيع الكبريتات.

أما العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100-S}(10\%)$ فقد فقدت حوالي (54%)، من حموضتها الكلية نتيجة تجمع الكبريتات داخل المسام [36].

كما لعب CTAB دورًا أساسيًا، فهو لم يوجه فقط تشكيل المسام المنظمة والمستقرة حراريًا، بل ساعد أيضًا على التوزيع المتجانس لمجموعات الكبريتات أثناء التكليس، وهو ما أدى إلى تحسين الأداء الحامضي [37].

وبذلك يمكن اعتبار العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100-S}(7\%)$ الأكثر كفاءة، إذ جمعت بين حموضة عالية، مسامية محفوظة، وتوزيع جيد للكبريتات، مما ينعكس إيجابيًا على الأداء التحفيزي في التفاعلات المستقبلية، رغم أن الدراسة الحالية اقتصر على تقييم الحموضة ولم تتضمن قياس النشاط التحفيزي الفعلي.

الجدول (2) يبين تحليل بيانات TPD لتحديد الحموضة السطحية المتوسطة والقوية:

العينة	W m.g	X m.g	Y m.g	W' m.g	X' m.g	Y' m.g	n ₁ m.mol/g	n ₂ m.mol/g	الحموضة الكلية m.mol/g	Z ₁ %	Z ₂ %
1	48.42	0.43	0.24	47.75	9.01	5.06	0.09	0.05	0.14	64	36
2	51.63	0.9	0.33	50.4	17.86	6.55	0.18	0.06	0.24	75	25
3	80	1.6	0.752	77.65	20.61	9.68	0.2	0.1	0.3	66	33
4	60	1.47	2.25	56.28	26	40	0.26	0.4	0.66	40	60
5	53.19	1.62	2.68	48.89	33.14	54.82	0.33	0.54	0.87	38	62
6	60.19	0.6	1.75	57.84	10.37	30.26	0.1	0.3	0.4	25	75

ملاحظة: لتوضيح أرقام العينات:

1= $\text{HC}_{0.1}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ (1:0.25)₁₀₀
(1:0.25)₁₀₀-S(4%)4= $\text{HC}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ 2= $\text{HC}_{0.25}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ (1:0.25)₁₀₀
(1:0.25)₁₀₀-S(7%)5= $\text{HC}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ 3= $\text{HC}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ (1:0.25)₁₀₀
(1:0.25)₁₀₀-S(10%)6= $\text{HC}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CdO}$

5. الاستنتاجات:

- أظهرت العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}-S(7\%)$ خصائص مميزة، حيث امتلكت كثافة مرتفعة للمواقع البروتونية (0.54 mmol/g) مع نسبة برونشتد/لويس = 1.64، مما يجعلها مثالية للتحفيز ثنائي الوظيفة. كما حافظت على مساحة سطحية عالية بلغت ($277 \text{ m}^2/\text{g}$)، مع مسام منتظمة بقطر (2.1 nm)،
- عند تجاوز تحميل النسبة (7%) وزناً من الكبريتات (العينة $HC_{0.5}Al_2O_3/CdO(1:0.25)_{100}-S(7\%)$) يؤدي إلى انسداد المسام وتناقص كثافة المواقع الحمضية بنسبة (54%) نتيجة فرط التحميل.
- العامل الموجه CTAB يضمن التوزع المتجانس للكبريتات أثناء التكليل، بالإضافة إلى دوره الأساسي في تشكيل المسام المنتظمة والمستقرة حرارياً.
- أظهر التحليل أن التعاون بين المواقع البروتونية (SO_4^{2-}) ومواقع لويس (Al^{3+}/Cd^{2+}) يعزز الحموضة السطحية.

التوصيات:

- استكمال توصيف الأكاسيد المختلطة المحضرة وذلك بتعيين الصيغة الإجمالية للأكسيد المختلط باستخدام دراسة وتحليل X-Ray.
- تعيين نوع المراكز الحمضية (مراكز برونشتد - لويس) بإجراء تحليل IR لعينات الأكسيد المختلط.
- اختبار الفعالية الحفزية للعينات المختلفة باختبارها على تفاعلات حفزية مرجعية من أجل ضبط شدة وفعالية التفاعل الحفزي.
- إجراء دراسة أكثر تفصيلاً لشروط تحضير جملة الأكسيد المختلط وذلك باختبار عدة شروط أخرى بحثاً عن الشروط التي قد تؤدي إلى تحسين كل من المساحة السطحية النوعية والحموضة السطحية والفعالية الحفزية.

6. المراجع:

[1] MANZANO, M; VALLET- REGÍ, M. (2020) Mesoporous Silica Nanoparticles for Drug Delivery, Adv Funct Materials, 30, 1902634.

[2], WECKHUYSEN, BM; YU, J. (2015) Recent advances in zeolite chemistry and catalysis, Chemical Society Reviews, 44, 7022–7024.

[3], VISCONTI, CG. (2012) Alumina: A Key-Component of Structured Catalysts for Process Intensification, Transactions of the Indian Ceramic Society, 71, 123–136.

[4]. RAHEB, I; ALRAKAD, H; GHANDOUR, A. (2022) Preparation of the mesoporous structure of MCM-41 and the effect of some factors on the properties of the tissue structure, Latakia University Journal - Basic Sciences Series, 44, 103–114.

راهب، إبراهيم؛ الرقاد، حسام؛ غندور، أيهم. (2022) تحضير البنية الميزومسامية لـ MCM-41 وتأثير بعض العوامل في خواص البنية النسيجية، مجلة جامعة اللاذقية- سلسلة العلوم الأساسية، 44(2)، 103–114.

[5]. ROUMIE, A; KAWASS, HA-D; ALQADI, S. (2016) Determination of ideal conditions to preparation of system Al_2O_3/CdO and study the texture properties, Latakia Univ Res J Basic Sci Ser, 38(1).

رومية، عقل؛ قواص، حسام الدين؛ القاضي، سلمى. (2016) تعيين الشروط المثلى لتحضير الجملة Al_2O_3/CdO ودراسة خواص البنية النسيجية. مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، مجلد(38)، عدد(1).

[6]. ALAYA, MN; YOUSSEF, AM; ROUMIE, A, et al. (2014) Physico-chemical properties of $CdO-Al_2O_3$ catalysts. I – Structural characteristics, Arabian Journal of Chemistry, 7, 722–731.

[7]. ALRAKKAD, H. (2023) Preparation and Characterization of high surface area material from natural Syrian zeolite TS-7, Latakia University Journal - Basic Sciences Series, 45, 43–52.

الركاد، حسام. (2023) تحضير وتوصيف السيليكا المسامية ذات سطح نوعي كبير انطلاقاً من الزيوليت الطبيعي السوري TS-7، مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية -سلسلة العلوم الأساسية، 45، 43-52.

[8]. NEVEN, KM; MUGE, SY. (2017) Synthesis of functionalized MCM-41 mesoporous silica, In: Proceedings of CBU International Conference on Innovations in Science and Education; 2017 Mar 22-24.

[9]. LAI, JY; NGU, LH; TWAIQ, F. (2018) Template recycling and reuse in MCM-41 synthesis: statistical study, Journal of Applied Science & Process Engineering , 5, 213–226.

[10]. HACHEMAOUI, M; MOLINA, CB; BELVER, C, et al. (2021) Metal-loaded mesoporous MCM-41 for the catalytic wet peroxide oxidation (CWPO) of acetaminophen, Catalysts , 11, 219.

[11]. VELARDE, L; NABAVI, MS; ESCALERA, E, et al. (2023) Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review, Chemosphere , 328, 138508.

[12]. TASIĆ, Ž; BOGDANOVIĆ, GD; ANTONIJEVIĆ, MM. (2019) Application of natural zeolite in wastewater treatment: A review, Journal of Mining and Metallurgy A: Mining , 55, 67–79.

[13]. KAUSAR, A; IQBAL, M; JAVED, A, et al. (2018) Dyes adsorption using clay and modified clay: A review, Journal of Molecular Liquids , 256, 395–407.

[14]. MULU, E; M'ARIMI, MM; RAMKAT, RC. (2021) A review of recent developments in application of low cost natural materials in purification and upgrade of biogas, Renewable and Sustainable Energy Reviews , 145, 111081.

[15]. ROUMIE, A; KAWASS, HA; AL-QADI, S. (2021) Determination of the Specific Surface Acidity of Al_2O_3 / CdO System by TPD Method using Pyridine as a Base, Latakia University Journal - Basic Sciences Series , 39, <https://journal.latakia->

univ.edu.sy/index.php/bassnc/article/view/4010 (accessed 14 September 2025).

رومية، عقل؛ قواص، حسام الدين؛ القاضي، سلمى. (2017) تحديد الحموضة السطحية النوعية للجملة Al_2O_3/CdO باستخدام طريقة TPD باعتماد البيريدين كأساس، مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، مجلد(39)، عدد(5).

[16]. ALQADI, S; ROUMIE, A; KAWASS, HA. (2025) Effect of different preparation methods (dry and wet at $100^{\circ}C$, hydrothermal at different temperatures) on the properties of the textile structure of the mixed oxide group Al_2O_3 / CdO , Latakia University Journal - Basic Sciences Series, 46, 103–114.

رومية، عقل؛ قواص، حسام الدين؛ القاضي، سلمى. (2025) تأثير طرائق التحضير المختلفة (الجافة و الرطبة عند درجة الحرارة $100^{\circ}C$ ، والهيدروحرارية عند درجات حرارة مختلفة) على خواص البنية النسيجية لجملة الأكسيد المشترك Al_2O_3/CdO ، مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، 46، 103–114.

[17]. ROUMIE, A; KAWASS, H; ALQADI, S. (2025) Study the effect of the guiding agent (CTAB) Cetyl trimethyl ammonium bromide on the structural properties of the $Al_2 O_3 /CdO$ mixed oxide prepared by hydrothermal treatment at temperatures (70, 100 and 130), Latakia Univ Res J Basic Sci Ser, 47(2).

رومية، عقل؛ قواص، حسام الدين؛ القاضي، سلمى. (2025) تأثير العامل الموجه سينتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد (CTAB) على خواص البنية النسيجية لجملة الأكسيد المشترك Al_2O_3/CdO المحضر بطريقة المعالجة الهيدروحرارية عند درجات حرارة (70، 100 و 130)، مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، المجلد(47)، العدد(2).

[18]. ALAYA, M; ROUMIE, A; GRGE, R. (2006) Some Physico-chemical properties of the mixed oxide $Al_2 O_3 /CdO$. 3-The structure

prepared by mechanical mixing, Aleppo Univ Res J Basic Sci Ser, 51, 51–68.

علايا، محمد نصوح؛ رومية، عقل؛ جرجي، ريمون. (2006) بعض الخصائص الفيزيوكيميائية لجملة الأكسيد المشترك Al_2O_3 / CdO . 3- المحضر بطريقة المزج الميكانيكي، مجلة جامعة حلب - سلسلة العلوم الأساسية، 51، 51-68.

[19]. RAHEB, I; ALAHMAD, Y; ALJURDAH, M. (2024) Preparation of nano-zinc oxide and the effect of some added factors on its structure in the photodegradation of antibiotics (amoxicillin). Homs University Journal, 46(14).

راهب، إبراهيم؛ الأحمد، يوسف؛ الجرده، ميسم. (2024) تحضير وتوصيف أكسيد الزنك النانوي المعدل وتأثيره في عملية التفكيك الضوئي للصاد الحيوي أموكسيسيلين، مجلة جامعة حمص - سلسلة العلوم الأساسية، 46(14).

[20]. AL-ZOUBI, A; SAAD AL-DIN, N A; MORAD, H. (2025). Preparation of **NiMn2O4** ceramic compound and study of its structural properties. Homs University Journal, 47(10).

الزعبى، عبلة؛ سعد الدين، ناصر؛ مراد، هدى. (2025) تحضير المركب السيراميكي **NiMn2O4** ودراسة خصائصه البنيوية، مجلة جامعة حمص - سلسلة العلوم الأساسية، 47(10).

[21]. YADAV, V; RANI, M; KUMAR, L, et al. (2022) Effect of Surface Modification of Natural Zeolite on Ammonium Ion Removal from Water Using Batch Study: an Overview, Water Air Soil Pollut, 233, 465.

[22]. ALMORSHIDI, R; RAHEB, I; KAWASSE, HA. (2023) Effect of the hydrothermal treatment and amount of structure directing agent on the surface properties for SBA-15 mesostructure, Latakia University Journal - Basic Sciences Series, 45, 143–155.

راهب، إبراهيم؛ قواص، حسام الدين؛ المرشدي، ريم. (2022) تأثير درجة حرارة المعالجة الهيدروحرارية وكمية العامل الموجه في الخواص السطحية للبنية الميزومسامية، مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، 45، 143-155.

[23]. SHAHIN, D; KAWASS, HA; SULIMAN, S. (2024) Preparation and study of the common oxide system Al_2O_3/Fe_2O_3 and the effect of the directing agent (polyethylene glycol) on the properties of the tissue structure, Latakia University Journal - Basic Sciences Series, 46, 93-103.

قواص، حسام الدين؛ سليمان، سميرة؛ شاهين، دعاء. تحضير ودراسة جملة الأكسيد المشترك Al_2O_3/Fe_2O_3 وتأثير العامل الموجه بولي إيثيلين غليكول على خواص البنية النسيجية، مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، 46، 93-103.

[24]. RAHEB, I; ALRAKAD, H; GHANDOUR, A. (2023) The influence of alumina ratio on the properties of the Al-MCM-41 mesoporous structure, Latakia Univ Res J Basic Sci Ser, 45(6).

راهب، إبراهيم؛ الرقاد، حسام؛ غندور، أيهم. (2023) تأثير نسبة الألومينا على خواص البنية الميزومسامية Al-MCM-41، مجلة جامعة اللاذقية للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، 45(6).

[25]. ALY, KA; ABO-MOSALLAM, HA; MAHDY, EA, et al. (2025) Implications of CdO/ Al_2O_3 substitution on the structural, optical, and mechanical properties of barium borate glasses for opto-mechanical applications, Ceramics International, (accessed 19 September 2025).

[26]. ZAHHAF, O; D'AMBROGIO, G; LE, M-Q, et al. (2021) Dielectrophoretic alignment of $Al_2O_3/PDMS$ composites: Enhancement of thermal and dielectric properties through structural sedimentation analysis, Materials & Design, 211, 110134.

- [27]. RAJESHAM, S; CHANDRA SEKHAR, K; SHAREEFUDDIN, MD, et al. (2022) Synthesis, physical, optical and structural studies of B2O3-CdO-Al2O3-PbF2 glasses modified with MoO3 ions, Opt Quant Electron, 54, 470.
- [28]. CHAVDA, S; LIMBASIYA, N; VAMJA, P, et al. (2022) Studies on optical and electrical properties of CdO/Al2O3 composites, J Sol-Gel Sci Technol, 104, 169–177.
- [29]. WANG, X; HE, Z-H; CAO, H-H, et al. (2025) Chlorine tailored CdOxCl_y/Al2O3 for syngas formation in electrochemical CO2 reduction, Catalysis Science & Technology, 15, 1082–1089.
- [30]. BIELAWSKA, M; CHODZIŃSKA, A; JAŃCZUK, B, et al. (2013) Determination of CTAB CMC in mixed water+ short-chain alcohol solvent by surface tension, conductivity, density and viscosity measurements, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 424, 81–88.
- [31]. BHATTARAI, A; SHRIVASTAV, G; ADHIKARI, CN. (2014) Study of critical micelle concentration of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) in pure water in presence and absence of magnesium sulphate and sodium sulphate by measuring conductivity meter, Bibechana, 11, 123–127.
- [32]. BHATTARAI, A. (2019) Micellization behavior of cetyltrimethylammonium bromide in the absence and presence of sodium polystyrene sulfonate in water and methanol-water mixture: A conductivity approach, Journal of Molecular Liquids, 292, 111352.
- [33]. HAJIMIRZAEI, S; CHANSAI, S; HARDACRE, C, et al. (2019) Effects of surfactant on morphology, chemical properties and catalytic activity of hydroxyapatite, Journal of Solid State Chemistry, 276, 345–351.
- [34]. JAYAKODI, S; SHANMUGAM, R; PANDIAN, E. (2025) Controlling pore size during the synthesis of hydroxyapatite nanoparticles using CTAB by the sol–gel hydrothermal method and their biological

activities, ResearchGate . Epub ahead of print 9 August 2025. DOI: 10.1515/ntrev-2024-0123.

[35]. ROUMIE, A; KAWASS, H; ALQADI, S. (2025) Effect of CTAB Ratio and Sulfate Loading on the Acidic Properties of Hydrothermally Prepared Al_2O_3/CdO Mixed Oxides, Tartous University Journal for Research and Scientific Studies-Basic Sciences , 9(2).

رومية، عقل؛ قواص، حسام الدين؛ القاضي، سلمى. (2025) تأثير نسبة العامل الموجه سينيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد (CTAB) وتأثير التحميل بالكبريتات بنسب مختلفة على خواص البنية النسيجية لجملة الأكسيد المشترك Al_2O_3/CdO المحضر بالطريقة الهيدروحرارية، مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الأساسية، 9(2).

[36]. LEE, HJ; KANG, D-C; KIM, E-J, et al. (2022) Production of H₂-free carbon monoxide from formic acid dehydration: the catalytic role of acid sites in sulfated zirconia, Nanomaterials , 12, 3036.

[37]. YUE, MB; XUE, T; JIAO, WQ, et al. (2011) CTAB-directed synthesis of mesoporous γ -alumina promoted by hydroxy carboxylate: The interplay of tartrate and CTAB. Solid State Sciences. 1;13(2):409-16.

تأثير نسبة (CTAB) والتحميل بالكبريتات على الخصائص الحمضية لجملة الأكسيد المختلط
المُحضر بالطريقة الهدروحرارية Al_2O_3/CdO

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحياً

* علي زهيري، ** د. محمد غفر، *** د. حسام الركاد

المخلص

في هذه الدراسة، تم تحضير جسيمات نانوية من هيدروكسي أباتيت باستخدام خام الفوسفات السوري، باستخدام تقنية الذوبان وإعادة الترسيب بوجود المادة الفعالة سطحياً سيتيل تتراميتيل أمونيوم برميد CTAB. أكدت نتائج التوصيف باستخدام تقنيات XRD و FTIR و SEM و BET و EDX. نجاح تحضير مادة ذات بنية بلورية نقية ومساحة سطحية عالية بلغت 94 م²/غ، مع تكون جسيمات نانوية متجمعة بأبعاد أقل من 100 نانومتر، أظهر التحليل العنصري نسبة ذرية مرتفعة للكالسيوم إلى الفوسفور (2.3) مما يشير إلى حدوث استبدال أيوني في الشبكة البلورية. تثبتت هذه النتائج جدوى استخدام الخام المحلي في إنتاج هيدروكسي أباتيت نانوي ذي خصائص جيدة.

الكلمات المفتاحية: خام الفوسفات السوري، هيدروكسي أباتيت، مواد نانوية، المجهر الإلكتروني الماسح، المساحة السطحية.

*طالب دكتوراه في المعهد العالي لبحوث البيئة-قسم الكيمياء البيئية-جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً)-سورية :

Email: ali.zhairy@gmail.com

ali.zhairy@latakia-univ.edu.sy

**أستاذ مساعد-المعهد العالي لبحوث البيئة - قسم الكيمياء البيئية-جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً)-سورية

***مدرس -كلية العلوم- قسم الكيمياء- جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً)- سورية

Preparation and characterization of nano-sized hydroxyapatite from Syrian phosphate ore with CTAB as a surfactant

*Ali Zhairy ,**DR. Muhammad Ghafar, ***DR. Hussam Alrakkad, **

Abstract

In this study, nanohydroxyapatite particles were synthesized using Syrian phosphate ore through a dissolution–reprecipitation technique in the presence of the surfactant cetyltrimethylammonium bromide (CTAB). Characterization results obtained by XRD, FTIR, SEM, BET, and EDX analyses confirmed the successful preparation of a material with a pure crystalline structure and a high specific surface area of 94 m²/g. The particles were found to be agglomerated nanostructures with sizes below 100 nm. Elemental analysis revealed a high calcium-to-phosphorus atomic ratio (2.3), indicating ionic substitution within the crystal lattice. These findings demonstrate the feasibility of utilizing local phosphate ore to produce nanohydroxyapatite with favorable structural and surface properties.

Key words: Syrian phosphate ore, hydroxyapatite, nanomaterials, scanning electron microscopy (SEM), surface area.

* PhD student - Department of Environmental Chemistry - Higher Institute for Environmental Research - Lattakia University –Syria

** Associate Professor - Higher Institute for Environmental Research - Department of Environmental Chemistry - Lattakia University -Syria.

*** Assistant Professor - Faculty of science -Department of Chemistry – Lattakia University – Syria.

1. مقدمة:

تُعرّف الجسيمات النانوية بأنها جسيمات صلبة أو مشتتات جسيمية يتراوح حجمها بين 10 و 100 نانومتر [1]. من بين العديد من المواد النانوية المعروفة، يحظى الهيدروكسي أباتيت $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ باهتمام علمي كبير نظراً لخصائصه المميزة مثل الثبات الكيميائي العالي والنشاط الحيوي الممتاز بالإضافة إلى إمكانية تعديله لتلبية متطلبات تطبيقية متنوعة. ونتيجةً لذلك، فقد استُخدم على نطاق واسع في العديد من التطبيقات، بما في ذلك المواد الخزفية الحيوية وهندسة أنسجة العظام ومعالجة التلوث البيئي والتحفيز الضوئي والتحفيز غير المتجانس والتطبيقات الطبية وتخزين الطاقة [2-10].

تُشرت العديد من الدراسات حول طرائق تحضير هيدروكسي الأباتيت، مثل الترسيب المشترك وتقنية الـ Sol-Gel والطريقة السيراميكية والطريقة الهيدروحرارية وطريقة التحضير باستخدام مستخلصات نباتية [11-15]. وتركز معظم هذه الدراسات على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمساحيق المحضرة من مصادر تجارية شائعة كالأكاسيد أو الأملاح المعدنية. تعتمد طرائق التحضير الكيميائية التقليدية للهيدروكسي أباتيت على أملاح تجارية كمصادر للكالسيوم والفسفور. إلا أنها تعد مكلفة نظراً لاعتمادها على مواد أولية مستوردة. ومن هنا ظهرت الحاجة إلى إيجاد بدائل طبيعية متوفرة وبتكلفة أقل. وقد تناولت بعض الدراسات تحضير الهيدروكسي أباتيت من مصادر طبيعية، ويُعتبر خام الفوسفات من أهم هذه المصادر [16-18].

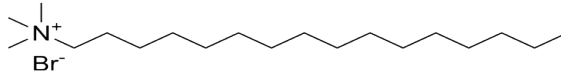
وتُعدّ خامات الفوسفات في سورية من أهم الثروات الباطنية الاستراتيجية بعد النفط، إذ يبلغ إنتاج البلاد منها سنوياً نحو 2.5 مليون طن من الخام الفوسفاتي القابل للتصدير. ويُخصّص جزء من هذا الإنتاج لتصنيع الأسمدة الفوسفاتية محلياً، بينما يُصدّر الجزء المتبقي. وتُعدّ مناجم الشرقية وخنيفيس من أبرز المواقع المستثمرة حالياً في هذا المجال [19].

سيتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد (CTAB):

يُعد مركب سيتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد، المعروف اختصاراً بـ CTAB، من المواد الفعالة سطحياً ذات الشحنة الموجبة، ويتميز بصيغته الجزيئية $C_{19}H_{42}BrN$ وكتلته المولية التي تبلغ حوالي 364.46 غرام/مول ويظهر الشكل 1 الصيغة الهيكلية. يظهر هذا المركب في الحالة

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحية

الفيزيائية كمادة صلبة بلورية بيضاء ذات قوام شمعي، وهو قابل للذوبان في الماء وبعض المذيبات العضوية مثل الميثانول والإيثانول. يتألف مركب CTAB من كاتيون أمونيوم رباعي يحوي سلسلة ألكيلية طويلة مؤلفة من 16 ذرة كربون (السيثيل)، وثلاث مجموعات ميثيل مرتبطة بذرة النيتروجين المركزية، إضافة إلى أنيون بروميد كمرافق، تتبع أهمية CTAB من فعاليته السطحية العالية، إذ يُعتبر من العوامل الخافضة للتوتر السطحي، ويشكل ميثلات في المحاليل المائية عند بلوغه التركيز الحرج لتكوين الميثيلات (CMC)، والذي يتراوح عادة بين 0.9 إلى 1.0 ملي مول/لتر. هذه الخاصية تجعله قادراً على تنظيم وتوجيه نمو الجسيمات النانوية والتحكم في شكلها وحجمها، خاصة في تحضير المواد النانوية مثل السيليكا المسامية وهيدروكسي أباتيت النانوي، حيث يلعب دوراً رئيسياً في تحديد البنية النهائية للمواد الناتجة [20-24].



الشكل 1 الصيغة الهيكلية لـ CTAB

2. هدف البحث :

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تطوير طريقة مبتكرة لتحضير هيدروكسي الأباتيت تكون منخفضة التكلفة وصديقة للبيئة، وذلك باستخدام موارد معدنية متوفرة محلياً وباستخدام مركب CTAB كمادة فعالة سطحياً لتقليل تكاليف الحبيبات وتعزز تشتتها. وقد أُنجرت عملية التحضير عند درجة حرارة الغرفة من خلال الاعتماد على آلية انحلال-ترسيب باستخدام خام الفوسفات السوري كمصدر أولي. وتمتاز هذه الطريقة بانخفاض الحاجة للمواد الكيميائية، وإمكانية التوسع

فيها باستخدام مواد خام متوفرة بكثرة، مما يضيف عليها ميزة اقتصادية هامة. كما يهدف البحث إلى دراسة الخصائص الرئيسية (البلورية، والمورفولوجية، والتركيبية) لهيدروكسي الأباتيت النانوي المُحصَّر وفق مبادئ الكيمياء الخضراء، لاستخدامه في تطبيقات عملية متنوعة.

3. أهمية البحث:

تتمركز أهمية البحث في تطوير طريقة لتحضير هيدروكسي الأباتيت بأبعاد نانوية باستخدام خام الفوسفات السوري مصدراً طبيعياً للفوسفات والكالسيوم، وذلك بطريقة الذوبان وإعادة الترسيب في شروط آمنة بيئياً و ملائمةً اقتصادياً باستخدام المادة الفعالة سطحياً سيتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم برميد CTAB.

4. طرائق البحث ومواده:

1.4. الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- ميزان إلكتروني عالي الدقة من ماركة Shimadzu بدقة ± 0.001 غرام.
- خلاط مغناطيسي من ماركة Yellowline.
- جهاز قياس الأس الهيدروجيني (pH meter) من نوع Metrohm.
- فرن تجفيف كهربائي بدرجة حرارة تتراوح من 0 إلى 250 °م من ماركة Nuve Fn400.
- مرمدة كهربائية (فرن تكليس) بدرجة حرارة تصل حتى 1100 °م من ماركة Lenton.

2.4. المواد المستخدمة:

الفوسفات الخام:

تم الحصول على عينات من الفوسفات الطبيعي من الشركة العامة للفوسفات من منجم خنيفيس في محافظة حمص، وقد زُودت العينات بشهادة تحليل كيميائي من قبل الشركة المذكورة، تضمنت النسب المئوية للمكونات الرئيسية كما موضح في الجدول (1).

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحياً

الجدول (1) النسب المئوية لمكونات الفوسفات (الشركة العامة للفوسفات)

المكون	P ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	F	Cl	CO ₂	H ₂ O
النسبة المئوية	33.26	52	6	0.12	0.1	0.65	2.61	0.039	7.17	7.4

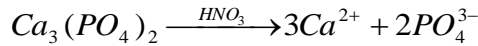
كما تم استخدام المواد الكيميائية التالية:

حمض الازوت (65%) ماءات الأمونيوم (25%)، إيثانول (95%)، ماء مقطر، CTAB.

3.4. تحضير هيدروكسي الأباتيت النانوي:

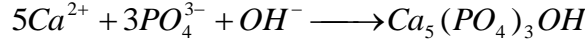
تم تحضير هيدروكسي الأباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري باستخدام طريقة الإذابة وإعادة الترسيب مع تعديلات على الطرائق الموصوفة سابقاً [25-27] (تتضمن التعديلات زيادة زمن انحلال الفوسفات الخام، وزيادة عدد مرات غسل المنتج النهائي مع تغيير نسبة الكحول والماء في محلول الغسل). كما هو موضح في الشكل 2، بدأت العملية بإذابة 50 غراماً من مسحوق خام الفوسفات المطحون في لتر واحد من محلول حمض الازوت بتركيز 0.5 مول/لتر، والذي تم تحضيره بإضافة 35 مل من حمض الازوت المركز (بتركيز 65%) إلى الماء المقطر، وتمديد الحجم إلى ليتر واحد. بلغت قيمة الحموضة فيه حوالي pH=0.3. بعد ذلك، تم تحريك المزيج باستخدام محرك مغناطيسي لمدة 6 ساعات عند درجة حرارة الغرفة حتى ارتفعت قيمة pH إلى حوالي 2 نتيجة الانحلال التام، ثم فصلت الشوائب غير الذائبة (وأهمها السيلكا والطين) بالابانة والترشيح.

ويمكن التعبير عن انحلال مكونات الفوسفات بالمعادلة التالية:



بعد الترشيح، تمت إضافة سيتيل ثلاثي ميثيل أمونيوم بروميد (CTAB) بتركيز 1mMol/L ثم بعد ذلك أضيف محلول هيدروكسيد الأمونيوم بتركيز 25% تدريجياً وتحت تحريك مستمر حتى

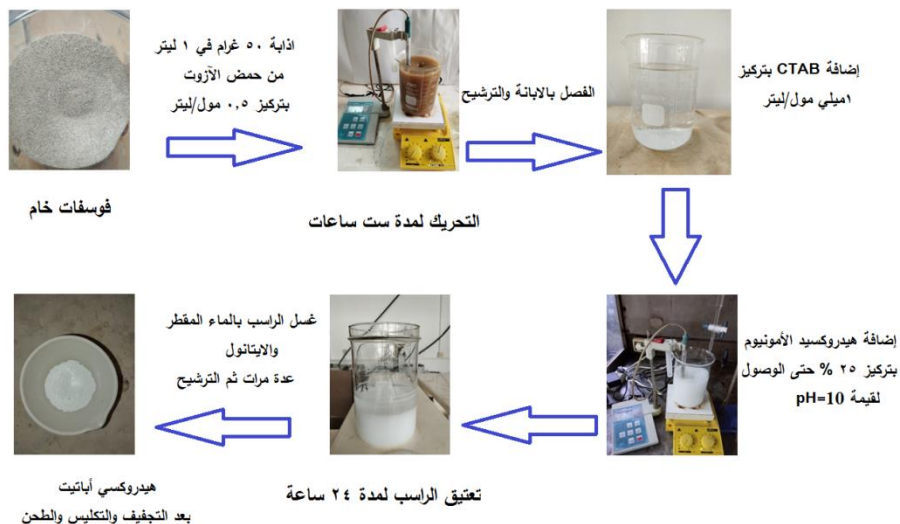
وصلت قيمة pH إلى 10، وهي القيمة المثلى لتبلور هيدروكسي أباتيت. وقد تم الحرص على عدم انخفاض قيمة pH دون هذا الحد لتفادي تشكُّل أطوار أخرى من فوسفات الكالسيوم [28]. ويعبر عن تشكُّل هيدروكسي الأباتيت بالمعادلة التالية [29]:



بعد ذلك عُنق الراسب الأبيض الناتج في درجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة، ثم تمت عملية الابانة والترشيح، تلاها الغسل الجيد بالماء المقطر وخليط بنسبة 1:1 من الماء والإيثانول (95%) لإزالة بقايا CTAB و الأمونيوم غير المتفاعل.

بعد الغسل، جُفِّف الراسب عند درجة حرارة 105 °م لمدة 24 ساعة لإزالة الرطوبة، ثم تم تكليسَه في فرن عند درجة حرارة 800 °م. وقد تم رفع درجة الحرارة بمعدل 10 °م/دقيقة حتى الوصول إلى 800 °م، ثم تثبيت الحرارة لمدة 3 ساعات لضمان اكتمال تبلور هيدروكسي أباتيت بشكله النهائي بأبعاد نانوية [30] بالإضافة إلى أنه عند هذه الحرارة تحترق كل المكونات العضوية الناتجة عن بقايا CTAB وتتبخر.

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحية



الشكل 2 مخطط تحضير هيدروكسي أباتيت النانوي

4.4. توصيف العينات:

تم توصيف العينات باستخدام تقانات XRD، FTIR، BET، SEM-EDX

-يعد انعراج الأشعة السينية XRD يعد من أكثر الطرائق شهرة في التوصيف البنوي للمواد المسامية والصلبة عموماً، وذلك لأن الأطوال الموجية للأشعة السينية هي من مرتبة المسافة بين الجسيمات في الشبكة البلورية، فهي تعطي ميزه أو بصمة تعرف بزوايا الحيود والمسافات بين مستويات الذرات في البنية البلورية وهو من أفضل الطرائق المتوفرة للكيميائيين الذين يتعاملون مع المواد، إذ أنه يحدد حالة التركيب البلوري والأطوار المكونة للمادة الكلية، حُللت العينات من أجل توصيف الأطوار البلورية باستخدام جهاز قياس انعراج الأشعة السينية بطريقة المسحوق Powder X ray Diffraction (XRD, Stoe stadi p, Germany) (هيئة الطاقة الذرية السورية)، تم توليد الأشعة باستخدام مصعد من النحاس بطول موجة $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ضمن مجال لزاوية الانعراج $(2\theta=10^{\circ}-90^{\circ})$. كما تم تفسير الطيف الناتج عن التحليل باستخدام البرنامج الحاسوبي High Score Plus.

- تعتبر مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR من أشهر الطرائق استخداماً لتحديد هوية المركبات العضوية وغير العضوية، وهي تستخدم عادة لمعرفة المجموعات الوظيفية في الجزيء، حيث تمتص هذه المجموعات ترددات معينة من الضوء في منطقة الأشعة تحت الحمراء. استخدم جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء تحويل فورييه (Fourier-transform infrared FTIR spectroscopy) من ماركة (FTIR, Nicolet 6700 FT-IR spectrometer, USA) (هيئة الطاقة الذرية السورية) باستخدام أقراص KBr كمادة مرجعية في المجال ($400-4000 \text{ cm}^{-1}$) لتحديد ماهية الزمر الوظيفية الموجودة في العينات الثلاث، تم تحضير العينة للقياس بمزج (1mg) من مسحوق العينة مع (200 mg) من مادة KBr، ثم كُبس المزيج باستخدام مكبس هيدروليكي لتشكيل أقراص شفافة.

- كما حُللت العينة مورفولوجياً باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM scanning electron Microscope) من نوع (VEGAI Xmu -TESCAN, Czech Republic) (هيئة الطاقة الذرية السورية)، حيث أن وظيفته الأساسية هي دراسة شكل وسطح العينة (المورفولوجيا) بدقة عالية، مما ينتج عنه صور مجهرية

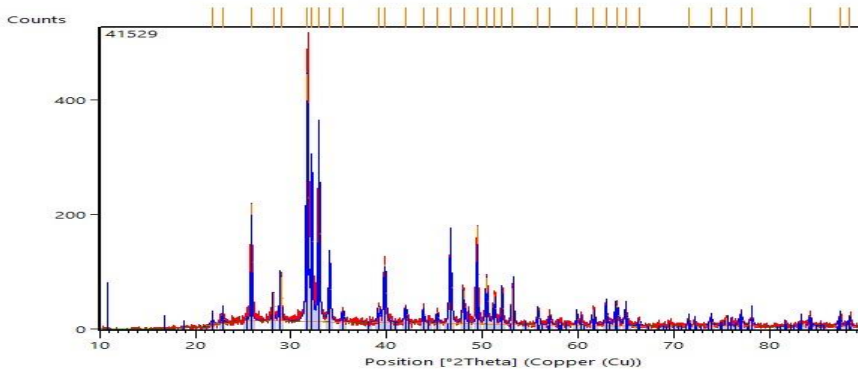
- كما تم إجراء التحليل العنصري للعينة باستخدام مطيافية حيود الأشعة السينية للطاقة من نوع (EDX, AMETEK, USA) في هيئة الطاقة الذرية السورية.

- تم قياس امتزاز وانزياح غاز النيتروجين عند درجة حرارة ثابتة (77K) تقريباً (-196°C) (وهي درجة غليان النيتروجين السائل) لدراسة خواص المسام والسطح. بدأت العملية بقياس منحنى الامتزاز من الضغط النسبي $0.046 (P/P_0)$ حتى 0.993 ، ثم أُتبع بقياس منحنى الانزياح من $P/P_0 = 0.993$ إلى 0.054 . استُخدمت بيانات منحنى الامتزاز في المجال المناسب (بين $P/P_0 = 0.05$ و 0.30) لحساب المساحة السطحية النوعية للعينة باستخدام معادلة BET، وذلك باستخدام جهاز تحليل مساحة السطح وحجم المسام (Surface Area and Pore Size Analyzer usa) من نوع (Quantachrome NOVA 2000e) (هيئة الطاقة الذرية السورية).

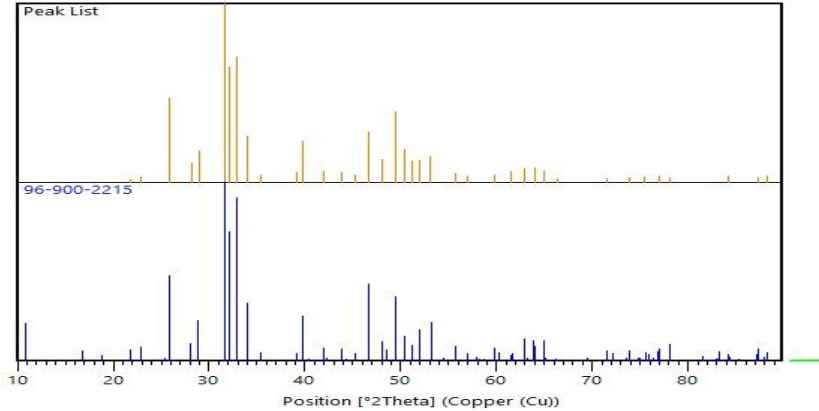
5. النتائج والمناقشة:

1.5. انعراج الأشعة السينية (XRD):

تُظهر مخططات انعراج الأشعة السينية (XRD) لعينة هيدروكسي أباتيت كما هو موضح في الشكل 3 تطابقاً واضحاً مع مخططات انعراج الأشعة السينية لهيدروكسي هيدروكسي أباتيت المرجعية وفقاً لقاعدة البيانات المضمنة في البرنامج الحاسوبي High Score Plus الشكل 4 ، مما يؤكد تكوين الطور البلوري الصحيح لهيدروكسي الأباتيت. وقد لوحظت القمة الأكثر شدة عند زاوية $2\theta \approx 32^\circ$ ، والتي تعود إلى الانعكاس من المستوى البلوري (211)، مشيرة إلى وجود اتجاه مفضل لنمو البلورات على طول هذا المحور. بالإضافة إلى ذلك، ظهرت مجموعة من القمم المميزة عند الزوايا $26^\circ \approx 20^\circ$ ، 33° ، و 34° ، والتي تنسب إلى المستويات البلورية (002)، (300)، و (202) على التوالي كما تظهر قمم واضحة أخرى عند زوايا 40° و 46.5° و 49.5° و 53° تعزى إلى المستويات البلورية (310)، (222)، (213)، و (004) على التوالي. تمثل هذه القمم بصمة نمطية تؤكد البنية البلورية السداسية المميزة لهيدروكسي أباتيت [31-33]. يشير هذا التوزيع المنتظم للقمم إلى درجة عالية من التبلور، مما يدل على نجاح عملية التحضير في إنتاج مادة نقية وذات انتظام بلوري جيد.



الشكل 3 طيف XRD الخاص بعينة هيدروكسي أباتيت



الشكل 4 مقارنة طيف العينة مع الطيف المرجعي باستخدام البرنامج الحاسوبي High Score Plus

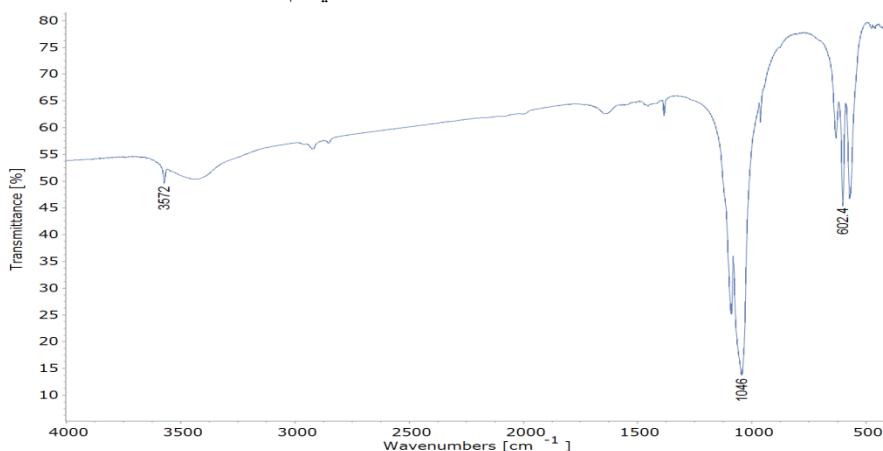
2.5. طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR):

تُعرض أطياف FTIR كما هو مبين في الشكل 5 والجدول (2)، حيث تُظهر الأطياف نطاقات اهتزازية مميزة تعود إلى المجموعات الوظيفية الرئيسية في البنية الكيميائية للعينة. يمكن ملاحظة ظهور نطاقات اهتزازية تعود لمجموعة الفوسفات (PO_4^{3-}) عند الأعداد الموجية 602-572، 960-979، و1020-1085 $سم^{-1}$ ، بالإضافة إلى نطاق مميز لمجموعة الهيدروكسيل (OH^-) عند 631 $سم^{-1}$ ، وقمة امتصاص حادة عند $3572Cm^{-1}$ تُعزى إلى امتطاط مجموعة الهيدروكسيل (O-H) الموجودة في هيكل هيدروكسي الأباتيت، وقمة امتصاص عريضة عند $3572Cm^{-1}$ تُعزى إلى امتطاط مجموعة الهيدروكسيل (O-H) العائدة لجزيئات الماء الممتزة على سطح المادة.

بالإضافة لقمة ضعيفة عند $1635Cm^{-1}$ تُعزى إلى انحناء مجموعة الهيدروكسيل (O-H) العائدة لجزيئات الماء الممتزة [32-35]، مما يؤكد وجود الرطوبة السطحية وهي سمات طيفية مميزة لأباتيت فوسفات الكالسيوم. يتوافق هذا الطيف مع ما ورد في الدراسات السابقة [3، 14]، مما يدعم صحة تكوين طور هيدروكسي الأباتيت في المادة المحضرة. جدير بالذكر أنه لم تظهر عصابات

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحيا

امتصاص خاصة بأي زمرة عضوية خاصة بمركب CTAB ويعزى ذلك إلى أن عملية التكليل عند الدرجة 800°C أدت إلى تفكك المركب بالكامل وبالتالي لم تظهر الروابط الخاصة به.



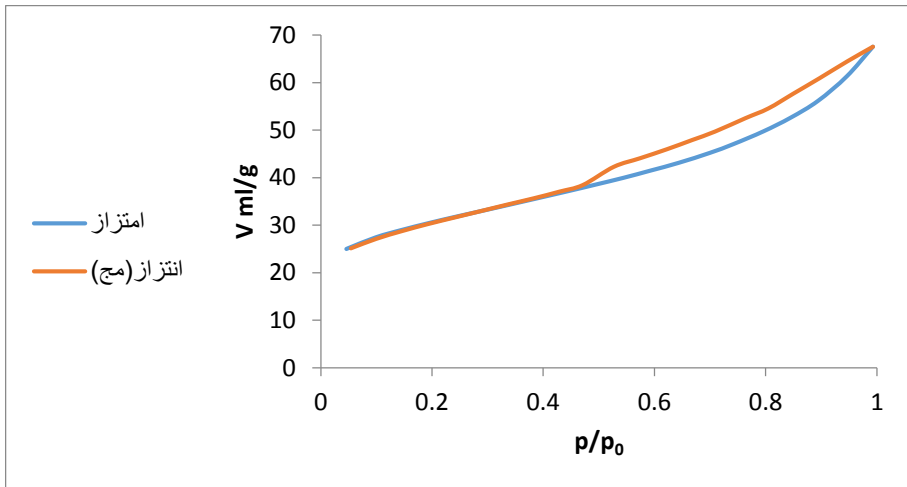
الشكل 5 طيف FTIR لهيدروكسي أباتيت المحضر

جدول 2 الأعداد الموجية الموافقة للزمر الوظيفية الخاصة بهيدروكسي أباتيت المحضر

العدد الموجي (cm^{-1})	الزمرة الوظيفية
3572	امتطاط ($-\text{OH}$)
3445	امتطاط OH (H_2O)
1635	انحناء OH (H_2O)
1085	اهتزاز غير متمائل ($\text{P}-\text{O}$)
1046	اهتزاز غير متمائل ($\text{P}-\text{O}$)
963	اهتزاز متمائل ($\text{P}-\text{O}$)
631	اهتزاز ($-\text{OH}$)
602,572	انحناء ($\text{O}-\text{P}-\text{O}$)

3.5. المسامية والسطح النوعي:

يبين الشكل 6 منحنى امتزاز وانزياح الأزوت على سطح العينة عند درجة حرارة ثابتة (77K) تقريبا (-196°C) (وهي درجة غليان النيتروجين السائل) على سطح العينة، حيث ينتمي المنحنى إلى النوع الرابع (Type IV) وفقاً لتصنيف IUPAC. يتميز هذا النمط بوجود حلقة هستيريزيس (Hysteresis loop) بين منحنى الامتزاز والانزياح، والتي تُعزى إلى ظاهرة التكتاف الشعري داخل المسام ذات الأبعاد النانوية. ومن خلال شكل حلقة هستيريزيس، يمكن استنتاج أن المسام السائدة في البنية هي من النوع الشقوقي، كما أشارت إليه الدراسات المرجعية [36,37].



الشكل 6 منحنى امتزاز غاز الأزوت على هيدروكسي الأباتيت

تم تطبيق معادلة BET الموضحة لتحديد الخصائص السطحية للعينة:

$$\frac{X}{V(1-X)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C-X}{V_m C} X$$

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحية

حيث تعتمد العلاقة على الحجم الممتز (V) عند ضغط نسبي معيّن ($x=P/P_0$)، وسعة الطبقة الأحادية (V_m)، و C ثابت (BET). وعند رسم $x/V(1-x)$ بدلالة x في مجال الضغط النسبي $0.04 \leq x \leq 0.40$ سيعطي خطأ مستقيماً تقاطعه يساوي $i=1/C.V_m$ وميله يساوي $m=C.V_m.C$ ومنهما يمكن حساب كل من C و V_m بسهولة حيث يكون:

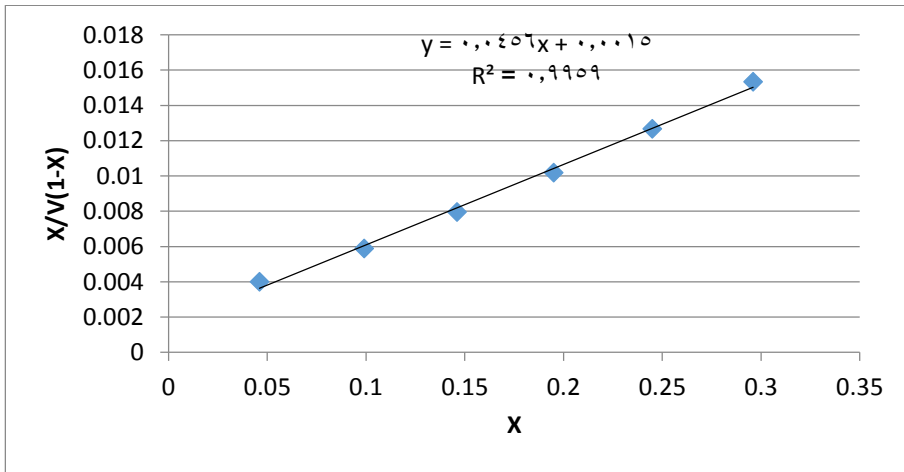
$$V_m=1/(m+i) \quad , \quad C= (m/i)+1$$

. بعد تحديد V_m ، تُحسب المساحة السطحية النوعية (SBET) باستخدام العلاقة التالية:

$$S_{m^2/g} = \frac{V_m}{22414} N_A A_m 10^{-20}$$

حيث تمثل N_A عدد أفوكادرو (6.022×10^{23}) و A_m سطح مقطع الجزئية الممتزة (A^2) و 22414 الحجم المولي لأي غاز عند الشروط النظامية (STP) بوحدة cm^3/mol .

من أجل امتزاز النتروجين عند الدرجة 77K تكون $A_m=16.27 A^{\circ 2}$ ، تصبح بالشكل التالي:
 $S_{BET}(m^2/g)=4.37V_m(cm^3STP/g)$



الشكل 7 رسومات BET الخطية

وبعد رسم العلاقة في الشكل 7 وإجراء الحسابات تبين أن السطح النوعي للعينه المحضرة يساوي $94\text{m}^2/\text{g}$ وهي قيمة مقارنة للسطح النوعي لهيدروكسي أباتيت النانوي.

كما حدد حجم المسام الدقيق باستخدام طريقة دوبينين-رادوشكيفتش DR، وذلك بتطبيق العلاقة:

$$\log v = \log v_0 - D \left(\log \frac{p_0}{p} \right)^2$$

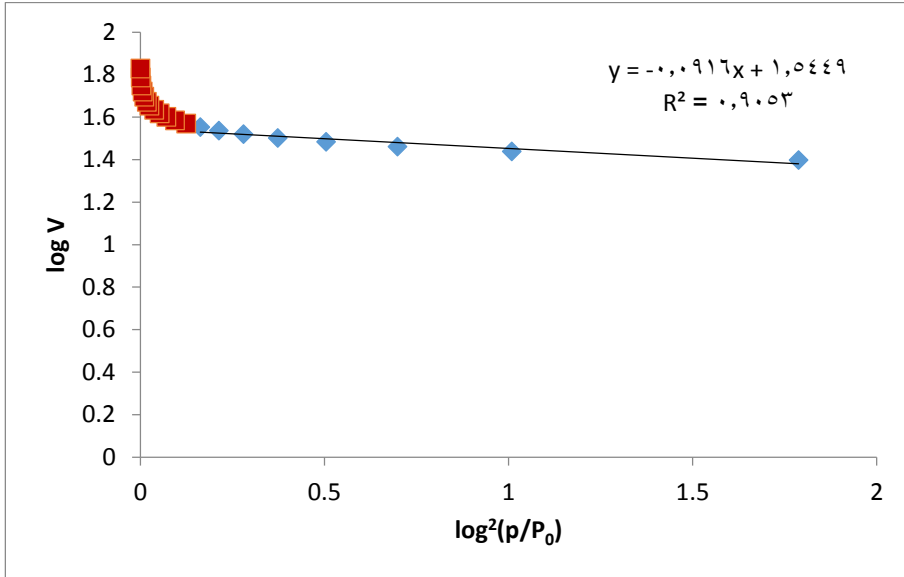
حيث V_0 حجم المسام الدقيقة بوحدة ml/g.

V الحجم الممتز عند الضغط النسبي P/P_0 بوحدة ml/g

D : ثابت مرتبط بطاقة الامتزاز (ثابت دوبينين)

تم تحديد حجم المسام الدقيق من خلال تقاطع الجزء الخطي لمنحني الامتزاز مع المحور العمودي الشكل 8 وبلغت القيمة V_0 حوالي 0.05 مل/غ ، وهو ما يشير إلى النسبة العالية من المسام الدقيقة في العينة، حيث بلغت حوالي 51% من الحجم الكلي للمسام، والذي يقدر بـ 0.1 مل/غ.

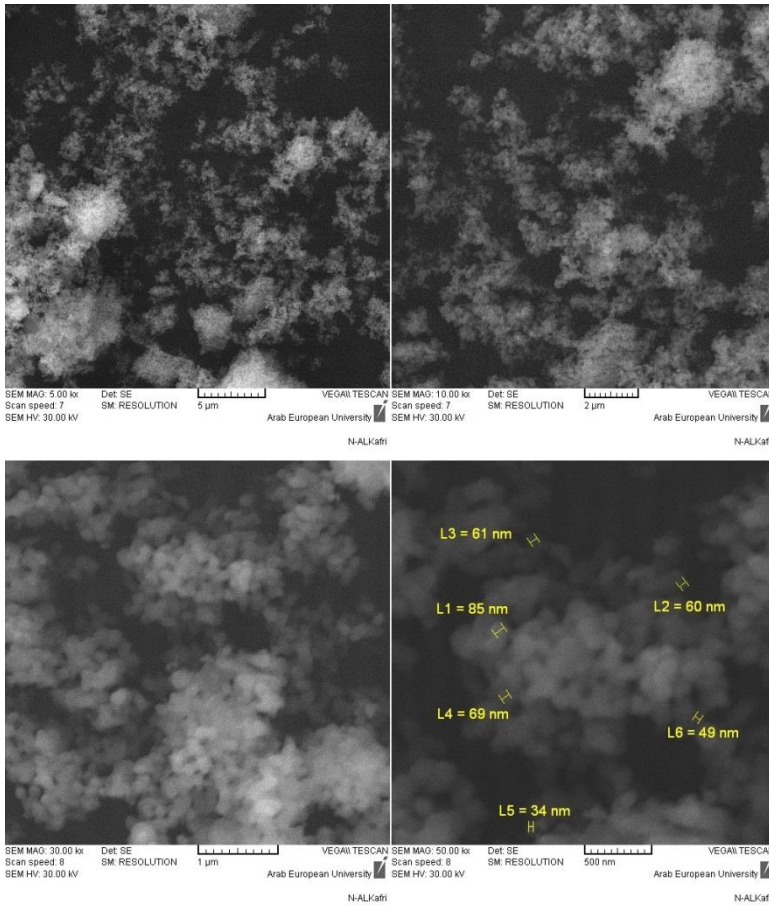
تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحية



الشكل 8 علاقة DR

4.5. تحليل صور المجهر الإلكتروني الماسح SEM-EDX:

من أجل إجراء تحليل دقيق لمورفولوجيا وبنية جسيمات النانو-هيدروكسي أباتيت المُحضَّرة، تم استخدام تقنية المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بمستويات تكبير مختلفة. وكما هو موضح في الشكل 9، تُظهر الصور أن جسيمات هيدروكسي أباتيت تتكون من تكتلات ذات بنية مسامية تشبه شكل القرنبيط، مكونة من حبيبات نانوية أولية يقل حجمها عن 100 نانومتر. تتميز هذه الحبيبات بأسطح ملساء نسبياً، مع وجود مسامية واضحة بين التجمعات الجسيمية.

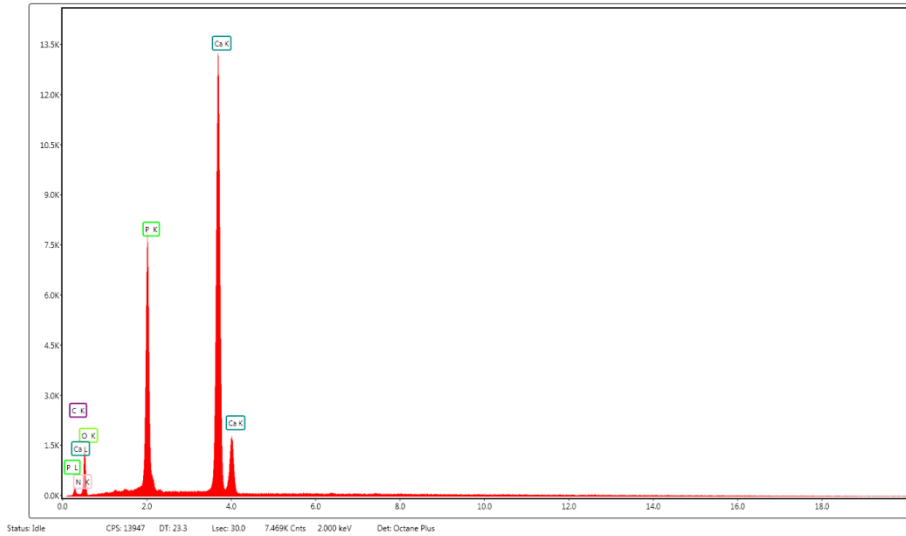


الشكل 9 صور SEM لهيدروكسي أباتيت النانوي

تُعد هذه البنية المسامية والنانوية ذات أهمية خاصة في التطبيقات الطبية الحيوية، مثل توصيل الأدوية وهندسة أنسجة العظام، حيث إنها تساهم في زيادة المساحة السطحية النوعية، وتعزيز كفاءة الامتزاز، وتحسين أداء. كما يتوافق هذا النمط المورفولوجي مع ما ورد في الدراسات السابقة حول جسيمات هيدروكسي أباتيت النانوية المُحصَّرة باستخدام تقنيات الترسيب الكيميائي الرطب [38,39].

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحيا

لدم الدراسة المورفولوجية، تم إجراء التحليل العنصري للجسيمات النانوية المحضرة باستخدام مطيافية الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX). كما هو موضح في الشكل 10، أظهر طيف EDX وجود ذروات حادة تمثل عناصر الأكسجين (O) والفوسفور (P) والكالسيوم (Ca) كعناصر رئيسية مما يؤكد نجاح تخليق طور فوسفات الكالسيوم، بالإضافة إلى تراكيز قليلة من الكربون (C) والنتروجين (N) ناتجة عن بقايا من مركب CTAB المستخدم في عملية التحضير.



الشكل 10 تحليل EDX لهيدروكسي أباتيت

أظهر التحليل الكمي لطيف EDX أن التركيب العنصري للعينة يتكون من 53.13% وزن من الكالسيوم، و17.56% من الفوسفور، و26.01% من الأكسجين مع وجود كميات ضئيلة من الكربون 0.21%، و النتروجين 3.08% ناتجة عن بقايا غير متطايره من مركب CTAB.

ومن خلال الصيغة الكيميائية لهيدروكسي أباتيت $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ تكون النسبة الذرية المثالية للكالسيوم إلى الفوسفور (Ca/P) حوالي 1.67 [34,37].

ومع ذلك، فإن النسبة الذرية التجريبية Ca/P التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة بلغت 2.3، مما يشير إلى وجود فائض نسبي في محتوى الكالسيوم. يمكن تفسير هذا الانحراف بعدة احتمالات،

من بينها الاستبدال الأيوني الجزئي في الشبكة البلورية، كاستبدال أيونات الفوسفات (PO_4^{3-}) بأيونات الكربونات (CO_3^{2-}) مما يؤدي إلى تحرر أيونات كالسيوم إضافية في البنية، أو وجود أطوار غير متبلورة من فوسفات الكالسيوم، أو عدم اكتمال إدماج مجموعات الفوسفات في الشبكة البلورية أثناء عملية التحضير مما يؤدي إلى بقاء فائض من أيونات الكالسيوم خارج البنية البلورية الرئيسية [3].

تتوافق هذه النتائج مع ما أظهره تحليل انعراج الأشعة السينية (XRD)، والذي أكد وجود طور نقي وعالي التبلور من هيدروكسي أباتيت بعد التكليل عند $800^\circ C$. كما لم تُلاحظ أي أطوار ثانوية حاملة للكالسيوم، مثل CaO أو β -TCP، في نمط الانعراج، مما يدل على أن فائض الكالسيوم قد تم دمجها إما ضمن بنية الأباتيت البلورية أو بقي في مناطق غير متبلورة من المادة.

من خلال مقارنة النتائج مع دراسات أخرى وجد أن خصائص العينات المحضرة متوافقة مع القيم المرجعية من حيث البنية والشكل وحجم الجسيمات. إلا أن السطح النوعي كان أعلى بشكل ملحوظ عند استخدام CTAB مقارنة بالعينات المرجعية بدون CTAB. ويُعزى ذلك إلى دور CTAB في الحد من التكتل وتشكيل جسيمات أصغر، مما يزيد من المساحة السطحية المتاحة للتفاعل ويحسن الخصائص التطبيقية لهيدروكسي أباتيت النانوي [10,24].

6. الاستنتاجات:

- أثبتت الدراسة إمكانية تصنيع جسيمات نانوية عالية النقاء من هيدروكسي أباتيت باستخدام خام الفوسفات السوري، وبوجود مادة فعالة سطحياً CTAB مما يوفر مصدرًا اقتصاديًا ومستدامًا للكالسيوم والفوسفات.
- نجاح تحضير هيدروكسي أباتيت نانوي عالي النقاوة إذ أثبتت تحاليل حيود الأشعة السينية (XRD) تشكل طور هيدروكسي أباتيت نقي وعالي التبلور، مع ظهور جميع القمم المميزة للبنية البلورية السداسية، خاصة عند الزوايا 26° (المستوى 002)، 32° و 34° ، (المستويات 211، 112، 300)، مما يدل على نجاح عملية التحضير.

تحضير وتوصيف هيدروكسي أباتيت بأبعاد نانوية من خام الفوسفات السوري بوجود CTAB كمادة فعالة سطحية

- أظهرت طريقة الذوبان والترسيب المستخدمة مزايا واضحة مقارنة بالطرق الكيميائية الرطبة التقليدية، بما في ذلك تقليل استهلاك المواد الكيميائية، العمل في ظروف محيطة، والاستغناء عن المذيبات العضوية.
- تم إنتاج مواد نانوية ، تتمتع بخصائص هيكلية محسنة كما تم تأكيده بواسطة تقنيات التحليل الهيكلي والسطحي SEM، FTIR، XRD، BET وEDX.
- عزز استخدام المادة الفعالة سطحية CTAB خصائص السطح، مما يجعلها ملائمة لتطبيقات متنوعة.

7.التوصيات:

- استخدام تقنيات توصيف متقدمة مثل (TEM) لدراسة البنية الداخلية للجسيمات النانوية.
- دراسة تأثير تراكيز مختلفة من المادة الفعالة سطحية (CTAB) على الخواص الفيزيائية للمنتج النهائي.
- تحسين ظروف التكليل (درجة الحرارة، زمن التثبيت، معدل رفع الحرارة) لتحسين الخصائص البلورية
- تصنيع جسيمات الهيدروكسي أباتيت النانوية بوجود مواد فعالة سطحية مختلفة ومقارنة خصائص السطح بتغير نوع المادة.
- تقييم فعالية الجسيمات النانوية في إزالة ملوثات صناعية مختلفة ودراسة إمكانيات إعادة استخدامها بشكل متكرر .
- تطوير مركبات هيدروكسي أباتيت نانوية مطورة بالمواد النشطة لتعزيز التطبيقات الطبية الحيوية، مثل إعادة بناء العظام وتحسين نظم توصيل الدواء.

8. المراجع:

- (1) El-Khawaga AM, Zidan A, Abd El-Mageed AI. Preparation methods of different nanomaterials for various potential applications: A review. *Journal of Molecular Structure*. 2023 Jun 5;1281:135148.
- (2) Coşkun E, Grivel JC. Synthesis strategies for core-shell and hollow-core hydroxyapatite particles and their applications. *Ceramics International*. 2024 Oct 15;50(20):38851-9.
- (3) Galotta A, Agostinacchio F, Motta A, Dire S, Sglavo VM. Mechanochemical synthesis and cold sintering of mussel shell-derived hydroxyapatite nano-powders for bone tissue regeneration. *Journal of the European Ceramic Society*. 2023 Feb 1;43(2):639-47.
- (4) Wang H, Bai T, Yusoff M, Khairuddin NA, A'srai AI, Razali MH. Development of nano hydroxyapatite loaded gellan gum nanocomposite scaffold for the regeneration of bone tissue affected by osteosarcoma. *Results in Chemistry*. 2025 May 1;15:102208.
- (5) Peng SY, Lin YW, Lee WH, Lin YY, Hung MJ, Lin KL. Removal of Cu²⁺ from wastewater using eco-hydroxyapatite synthesized from marble sludge. *Materials Chemistry and Physics*. 2023 Jan 1;293:126854.
- (6) Méndez-Lozano N, Apátiga-Castro M, Pérez-Ramírez EE, de la Luz-Asunción M, Soto KM, Manzano-Ramírez A, de Jesús Ruíz-Baltazar Á. Efficient degradation of methylene blue using titanium-substituted hydroxyapatite for water purification. *Results in Chemistry*. 2025 May 1;15:102197.
- (7) Novianti DP, Rashifari M, Ramadhan MR, Widiyowati II, Salsabila PK, Waardhani AW, Permana MD, Noviyanti AR, Budiman YP. Homocoupling reaction of p-tolylboronic acid with palladium-hydroxyapatite composite from chicken eggshell as the catalyst. *Results in Chemistry*. 2025 Apr 23:102297.

- (8) Daryan SH, Javadpour J, Khavandi A. Synthesis and drug release study of ciprofloxacin loaded hierarchical hydroxyapatite mesoporous microspheres. *Results in Chemistry*. 2025 Mar 1;14:102123.
- (9) Hammal A, Al-Duihi HA, Alchab L. Preparation of nano hydroxyapatite loaded with syrian inula extract against dental caries. *Materials Chemistry and Physics*. 2024 Nov 1;327:129872.
- (10) Safari-Gezaz M, Mirzaei-Saatlo M, Asghari E, Parhizkar M. The incorporation of cobalt ions into hydroxyapatite nanostructure for a novel range of electrochemical energy storage applications. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2024 Sep 1;192:112118.
- (11) Tautkus S, Ishikawa K, Ramanauskas R, Kareiva A. Zinc and chromium co-doped calcium hydroxyapatite: Sol-gel synthesis, characterization, behaviour in simulated body fluid and phase transformations. *Journal of Solid State Chemistry*. 2020 Apr 1;284:121202.
- (12) Sharma S, Goyal P. Synthesis, characterization and in-vitro study of hydroxyapatite, silver substituted hydroxyapatite and iron substituted hydroxyapatite for bone tissue engineering applications. *Results in Chemistry*. 2025;15:102167.
- (13) Bulina NV, Vinokurova OB, Eremina NV, Prosanov IY, Khusnutdinov VR, Chaikina MV. Features of solid-phase mechanochemical synthesis of hydroxyapatite doped by copper and zinc ions. *Journal of Solid State Chemistry*. 2021 Apr 1;296:121973.
- (14) Lin YW, Peng SY, Lin KL. Hydrothermal synthesis of environmentally-friendly hydroxyapatite using recycled waste for efficient Cd²⁺ removal from aqueous solutions. *Materials Chemistry and Physics*. 2025 Apr 1;334:130407.
- (15) Shakerimoghaddam, A., Majeed, H.J., Hashim, A.J., Abed, M.J., Jasim, L.S. and Salavati-Niasari, M., 2025. Green synthesis and characterization of NiO/Hydroxyapatite nanocomposites in the presence of peppermint extract and investigation of their antibacterial

- activities against *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Results in Chemistry*, 13, p.101947.
- (16) Pu'Ad NM, Koshy P, Abdullah HZ, Idris MI, Lee TC. Syntheses of hydroxyapatite from natural sources. *Heliyon*. 2019 May 1;5(5).
- (17) Alashi S, Alkhouri I, Alghoraibi I, Kochaji N, Houry A, Karkoutly M. Evaluating various properties of nanohydroxyapatite synthesized from eggshells and dual-doped with Si^{4+} and Zn^{2+} : An in vitro study. *Heliyon*. 2024 Aug 30;10(16).
- (18) Bensalah H, Bekheet MF, Younssi SA, Ouammou M, Gurlo A. Hydrothermal synthesis of nanocrystalline hydroxyapatite from phosphogypsum waste. *Journal of environmental chemical engineering*. 2018 Feb 1;6(1):1347-52.
- (19) Alradwan SS, Shahoud A, Mohsen R. Petrographical and chemical study of phosphate deposits exposed in Al-Sawwaneh area, Southern Palmyra Chain. *Journal of Al-Baath University*. 2024;46(4):125-148.
- (20) Bielawska M, Chodzińska A, Jańczuk B, Zdziennicka A. Determination of CTAB CMC in mixed water+ short-chain alcohol solvent by surface tension, conductivity, density and viscosity measurements. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2013 May 5;424:81-8.
- (21) Bhattarai A, Shrivastav G, Adhikari CN. Study of critical micelle concentration of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) in pure water in presence and absence of magnesium sulphate and sodium sulphate by measuring conductivity meter. *Bibechana*. 2014 May 10;11:123-7.
- (22) Bhattarai A. Micellization behavior of cetyltrimethylammonium bromide in the absence and presence of sodium polystyrene sulfonate in water and methanol-water mixture: A conductivity approach. *Journal of Molecular Liquids*. 2019 Oct 15;292:111352.

- (23) Jayakodi S, Shanmugam R, Pandian E, Govindasamy M, Asiri JM, Yadav KK, Ryeol Choi J. Controlling pore size during the synthesis of hydroxyapatite nanoparticles using CTAB by the sol–gel hydrothermal method and their biological activities. *Nanotechnology Reviews*. 2024 Dec 17;13(1):20240123.
- (24) Hajimirzaee S, Chansai S, Hardacre C, Banks CE, Doyle AM. Effects of surfactant on morphology, chemical properties and catalytic activity of hydroxyapatite. *Journal of Solid State Chemistry*. 2019 Aug 1;276:345-51.
- (25) Rhaiti H, Laghzizil A, Saoiabi A, El Asri S, Lahlil K, Gacoin T. Surface properties of porous hydroxyapatite derived from natural phosphate. *Materials Chemistry and Physics*. 2012 Oct 15;136(2-3):1022-6.
- (26) El Asri S, Laghzizil A, Saoiabi A, Alaoui A, El Abassi K, M'hamdi R, Coradin T. A novel process for the fabrication of nanoporous apatites from Moroccan phosphate rock. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2009 Oct 20;350(1-3):73-8.
- (27) Brahim S, Ressler A, Boumchedda K, Hamidouche M, Kenzour A, Djafar R, Antunović M, Bauer L, Hvizdoš P, Ivanković H. Preparation and characterization of biocomposites based on chitosan and biomimetic hydroxyapatite derived from natural phosphate rocks. *Materials chemistry and physics*. 2022 Jan 15;276:125421.
- (28) Głąb M, Kudłacik-Kramarczyk S, Drabczyk A, Kordyka A, Godzierz M, Wróbel PS, Tomala A, Tylińczak B, Sobczak-Kupiec A. Evaluation of the impact of pH of the reaction mixture, type of the stirring, and the reagents' concentration in the wet precipitation method on physicochemical properties of hydroxyapatite so as to enhance its biomedical application potential. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2022 Dec;110(12):2649-66.

- (29) Ito H, Oaki Y, Imai H. Selective synthesis of various nanoscale morphologies of hydroxyapatite via an intermediate phase. *Crystal Growth and Design*. 2008 Mar 5;8(3):1055-9.
- (30) Hossain MS, Mahmud M, Sultana S, Bin Mobarak M, Islam MS, Ahmed S. Coupled effect of particle size of the source materials and calcination temperature on the direct synthesis of hydroxyapatite. *Royal Society Open Science*. 2021 Sep 8;8(9):210684.
- (31) Abdian N, Etminanfar M, Sheykhosslami SO, Hamishehkar H, Khalil-Allafi J. Preparation and characterization of chitosan/hydroxyapatite scaffolds containing mesoporous SiO₂-HA for drug delivery applications. *Materials Chemistry and Physics*. 2023 Jun 1;301:127672.
- (32) Alahnoori A, Badrossamay M, Foroozmehr E. Characterization of hydroxyapatite powders and selective laser sintering of its composite with polyamide. *Materials Chemistry and Physics*. 2023 Feb 15;296:127316.
- (33) Irwansyah FS, Amal AI, Hadisantoso EP, Noviyanti AR, Eddy DR, Risdiana R. New insight on the role of banana plant (*Musa acuminata* Cavendish) template in low-temperature synthesis of hydroxyapatite. *Results in Chemistry*. 2025 Jan 1;13:101932.
- (34) Jiang J, Long Y, Hu X, Hu J, Zhu M, Zhou S. A facile microwave-assisted synthesis of mesoporous hydroxyapatite as an efficient adsorbent for Pb²⁺ adsorption. *Journal of Solid State Chemistry*. 2020 Sep 1;289:121491.
- (35) Fowler BO. Infrared studies of apatites. I. Vibrational assignments for calcium, strontium, and barium hydroxyapatites utilizing isotopic substitution. *Inorganic chemistry*. 1974 Jan 1;13(1):194-207.
- (36) Zhang Y, Shao D, Yan J, Jia X, Li Y, Yu P, Zhang T. The pore size distribution and its relationship with shale gas capacity in organic-

rich mudstone of Wufeng-Longmaxi Formations, Sichuan Basin, China. Journal of Natural Gas Geoscience. 2016 Jun 1;1(3):213-20.

(37) Memon A, Li A, Memon BS, Muther T, Han W, Kashif M, Tahir MU, Akbar I. Gas adsorption and controlling factors of shale: review, application, comparison and challenges. Natural Resources Research. 2021 Feb;30(1):827-48.

(38) Jayakrishnan JP, Sekhar GC, Jose S, Sumathi S. Polyvinyl alcohol/tri-metal doped hydroxyapatite composites for bone tissue engineering applications. Materials Chemistry and Physics. 2025 Jul 15;339:130705.

(39) Foroutan R, Mohammadzadeh A, Javanbakht S, Mohammadi R, Ghorbani M. Alginate/magnetic hydroxyapatite bio-nanocomposite hydrogel bead as a pH-responsive oral drug carrier for potential colon cancer therapy. Results in Chemistry. 2025 May 1;15:102177.

المقالات شبه المحلية بالنسبة إلى مثالي يميني

إيمان الخوجة¹

حمزة حاكمي²

مريم حاكمي³

الملخص

تعد الحلقة المحلية، واحدة من أهم الحلقات في صف الحلقات التي أساس جاكبسون لها لايساوي الصفر. لأجل ذلك درسنا في هذه الورقة العلمية تعميماً للحلقة المحلية تحت اسم الحلقة شبه المحلية بالنسبة إلى مثالي يميني. حيث نقول عن حلقة ما R إنها شبه محلية بالنسبة إلى المثالي اليميني $P \neq R$ إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ إما العنصر a أو العنصر $1-a$ يكون قابلاً للقلب جزئياً في R بالنسبة إلى المثالي اليميني P . وقد تبين لنا أن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة R شبه محلية بالنسبة إلى المثالي اليميني $P \neq R$ ، إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ إما Ra أو $R(1-a)$ يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ وأن $e \notin P$. إضافة لذلك، تكون الحلقة R شبه محلية بالنسبة إلى المثالي اليميني $P \neq R$ عندما فقط عندما لأجل أي مثالين يساريين A, B للحلقة R يحققان $R = A + B$ ، إما A أو B يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ وأن $e \notin P$.

إضافة لذلك، درسنا العلاقة بين الحلقة R وحلقة المصفوفات فوق R ، حيث أثبتنا أن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة R شبه محلية هو أن تكون حلقة المصفوفات القطرية من المرتبة الثانية $D_2(R)$ ، شبه محلية بالنسبة لمثاليين يمينيين P_0 و Q_0 معرفين مسبقاً.

الكلمات المفتاحية. العنصر الجامد، العنصر القابل للقلب جزئياً، الحلقة المحلية وشبه المحلية. العنصر P -جامد، العنصر P -القابل للقلب جزئياً، الحلقات P -شبه المحلية.

¹ أستاذ مساعد في قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة حمص.

² أستاذ في قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة حمص.

³ طالب دراسات عليا في قسم الرياضيات كلية العلوم جامعة حمص.

الحلقات شبه المحلية بالنسبة إلى مثالي يميني

رقم التصنيف العالمي للعام 2020: 16E40, 16E70, 16D40, 16D50, 16U99.

Quasi-Local Rings Relative to Right Ideal

Eaman Al-Khouja¹ Hamza Hakmi² Maryam Bassam Hakmi³

Abstract

The local ring is considered one of the most important rings in the class of rings which has a nonzero Jacobson radical. For that we study in this scientific paper a generalization for the local ring, called a quasi-local ring relative to right ideal. Where we call a ring R is a quasi-local ring relative to right ideal $P \neq R$ of a ring R , if for every element $a \in R$ either a or $1 - a$ is a partially invertible element relative to P in R . We show that the necessary and sufficient condition to be that a ring R is quasi-local relative to right ideal $P \neq R$ of R , if and only if for every element $a \in R$ either a or $1 - a$ contains an P -idempotent element $e \in R$, $e \notin P$.

In addition to that, we proved that the ring R is quasi-local relative to right ideal $P \neq R$ of R , if and only if for every two left ideals A, B of a ring R such that $R = A + B$, either A or B contains an P -idempotent element $e \in R$, $e \notin P$.

Furthermore, we study the relationship between the ring R and the ring of matrices ring over R . Where, we proved that the necessary and sufficient condition to be that a ring R is quasi-local, if the ring of 2×2 diagonal matrices $D_2(R)$ over R is quasi-local relative to some right ideals P_0, Q_0 of $D_2(R)$.

Key Words: Idempotent and partially invertible elements, Local, Quasi-local and P -Quasi-local ring, P -idempotent, P -partially invertible.

2020 Mathematical Subject

Classification: 16E40, 16E70, 16D40, 16D50, 16U99 .

¹ Assistant Professor, Department of Mathematics Homs University.

² Professor, Department of Mathematics Homs University.

³ Department of Mathematics Homs University.

المقدمة.

إن صف الحلقات يمكن تجزئته إلى صفتين غير متقاطعين، الأول هو صف الحلقات التي أساس جاكبسون له يساوي الصفر، ومن أهم عناصر هذا الصف الحلقات البسيطة ونصف البسيطة. أما الصف الثاني، هو صف الحلقات التي أساس جاكبسون لا يساوي الصفر، ومن أهم عناصر هذا الصف الحلقات المحلية والأرتينية. لما كان للحلقة المحلية أهمية كبيرة في نظرية الحلقات، فقد ظهر لها الكثير من التعاميم. حيث نقول عن حلقة ما إنها محلية إذا حوت مثالياً أعظماً واحداً فقط. ينتج من هذا التعريف أن كل عنصر a من حلقة محلية R إما أن يكون قابلاً للقلب في R أو أن العنصر $1-a$ يكون قابلاً للقلب في R ، وبالتالي لأجل كل عنصر a من حلقة محلية R يحقق إما $aR \cong R$ أو $(1-a)R \cong R$ ، وبالتالي فإن هذه الحلقة تحوي بداخلها نسخاً كثيرة عنها. فضلاً عن ذلك إن هذه الحلقة لا تحوي حدوداً مباشرة تختلف عن R والصفر. لأجل ذلك درسنا في هذه الورقة العلمية تعميماً للحلقة المحلية تحت اسم الحلقة شبه المحلية بالنسبة إلى مثالي يميني. حيث نقول عن حلقة ما R إنها شبه محلية بالنسبة إلى المثالي اليميني $P \neq R$ إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ إما العنصر a أو العنصر $1-a$ يكون قابلاً للقلب جزئياً في R بالنسبة إلى المثالي اليميني P . وقد تبين لنا أن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة R شبه محلية بالنسبة إلى المثالي اليميني $P \neq R$ ، إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ إما Ra أو $R(1-a)$ يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ وأن $e \notin P$. إضافة لذلك، تكون الحلقة R شبه محلية بالنسبة إلى المثالي اليميني $P \neq R$ عندما فقط وعندما لأجل أي مثاليين يساريين A, B للحلقة R يحققان $R = A + B$ ، إما A أو B يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ وأن $e \notin P$. إضافة لذلك، درسنا العلاقة بين الحلقة R وحلقة المصفوفات فوق R ، حيث أثبتنا أن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة R شبه محلية هو أن تكون حلقة المصفوفات القطرية من المرتبة الثانية $D_2(R)$ ، شبه محلية بالنسبة لمثاليين يمينيين P_0 و Q_0 محددتين مسبقاً. وأثبتنا أيضاً، أن الشرط اللازم والكافي كي تكون الحلقة R شبه محلية هو أن تكون حلقة المصفوفات المثلثية العليا (السفلى) من المرتبة الثانية، شبه محلية بالنسبة لمثاليين يمينيين P و Q معرفين مسبقاً.

الهدف من البحث.

لما كانت الحلقة المحلية تحتل أهمية كبيرة في نظرية الحلقات، نظراً لأنها تحتوي مثالياً أعظماً واحداً فقط، حيث إنها تأتي في المرتبة الأولى من حيث الأهمية في نظرية الحلقات، وذلك في صف الحلقات التي أساس جاكسون لها لا يساوي الصفر. ونظراً لهذه الأهمية تم في [6] دراسة الحلقات r -النظيفة بالنسبة إلى مثالي يميني كتعميم لهذه الحلقة، وفي هذه الورقة العلمية سندرس تعميماً جديداً لهذه الحلقة تحت اسم الحلقات P -شبه المحلية، وذلك لإعطاء وصف جديد لهذه الحلقة.

1 - الدراسة المرجعية.

جميع الحلقات R التي سندرسها هي حلقات واحدة فيها $1 \neq 0$.

تعريف 1-1. 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 كان كل عنصر من الحلقة R هو عنصر منتظم، [4].

تعريف 1-2. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر $e \in R$ إنه جامد إذا كان $e^2 = e$ ، ونقول عن العنصر الجامد $e \in R$ إنه مركزي إذا كان $eR = Re$ ، [1].

تعريف 1-3. لتكن R حلقة. نقول عن العنصر المغاير للصفر $a \in R$ إنه قابل للقلب جزئياً في R ، إذا وجد عنصر $b \in R$ $b \neq 0$ يحقق $b = bab$ ، ونقول عن الحلقة R إنها شبه منتظمة إذا كان كل عنصر مغاير للصفر هو قابل للقلب جزئياً في R ، [5].

تعريف 1-4. نقول عن الحلقة R إنها محلية إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ ، إما a أو $1 - a$ قابل للقلب في R ، [7].

تعريف 1-5. نقول عن الحلقة R إنها شبه محلية إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ ، إما a أو $1-a$ قابل للقلب جزئياً في R .

تعريف 1-6. لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . نقول عن العنصر $e \in R$ إنه جامد بالنسبة إلى المثالي اليميني P ، أو اختصاراً P -جامد إذا حقق الشروط $e^2 - e \in P$ وأن $eP \subseteq P$ [2].
الدراسة البحثية.

2 - العناصر P - القابلة للقلب جزئياً.

تعريف 2-1.

لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . نقول عن العنصر $a \in R$ إنه قابل للقلب جزئياً في R بالنسبة إلى المثالي اليميني P ، أو اختصاراً P -قابل للقلب جزئياً، إذا وجد عنصر $b \in R$ بحيث إن $b \notin P$ ويحقق أن $bab - b \in P$ وأن $baP \subseteq P$.

ينتج من التعريف مباشرة أنه لأجل $P = 0$ فإن مفهومي العناصر القابلة للقلب جزئياً والعناصر P -القابلة للقلب جزئياً، يتطابقان.

اعتماداً على التعريف السابق يمكننا صياغة التمهيدية الآتية:

تمهيدية 2-2.

لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . كل من العنصرين $1, -1 \in R$ هو عنصر قابل للقلب جزئياً في R بالنسبة لأي مثالي يميني $P \neq R$ للحلقة R .
البرهان.

لما كان $0 \in P$ ، فإنه لأجل $a = b = 1$ نجد $a = b = 1 \in P$ وأن $1P \subseteq P$. أيضاً لأجل $a = b = -1$ نجد أن:

$$(-1)(-1)(-1) - (-1) = -1 + 1 = 0 \in P$$

وأن $P \subseteq (-1)(-1)P$. فضلاً عن ذلك، لما كان $1, -1 \notin P$ ينتج أن كلا من العنصرين $1, -1 \in R$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

تمهيدية 2-3.

لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . لأجل أي عنصرين $a, b \in R$ القضيتان الآتيتان صحيحتان:

1 - إذا كان الجداء ab هو P -قابل للقلب جزئياً في R ، عندئذ يكون العنصر b هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

2 - إذا وجد عدد صحيح موجب n بحيث يكون a^n هو P -قابل للقلب جزئياً في R ، عندئذ العنصر a هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

البرهان.

1 - لنفرض أن الجداء $ab \in R$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر $x \in R$ بحيث إن $x \notin P$ ويحقق $x(ab)P \subseteq P$ ، $x(ab)x - x \in P$ ، ومنه نجد أن $x(ab)x - x = p_0$ حيث $p_0 \in P$ وبالتالي يكون:

$$(xa)bP = x(ab)P \subseteq P \text{ و } (xa)b(xa) - xa = p_0a \in PR \subseteq P$$

فضلاً عن ذلك، إن $xa \in R$ وإن $xa \notin P$ ، لأنه إذا كان $xa \in P$ ، نجد أن:

$$x = (xa)bx - p_0 \in PR + P \subseteq P$$

وهذا غير ممكن. مما سبق نجد أن العنصر b هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

2 - لنفرض أنه يوجد عدد صحيح $n > 0$ بحيث a^n هو P -قابل للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر $y \in R$ بحيث إن $y \notin P$ ويحقق $ya^n P \subseteq P$ ، $ya^n y - y \in P$ ، ومنه فإن $ya^n y - y = p_1$ حيث $p_1 \in P$ ، وبالتالي فإن:

$$(ya^{n-1})a(ya^{n-1}) - ya^{n-1} = p_1 a^{n-1} \in PR \subseteq P$$

وأن $(ya^{n-1})aP = ya^n P \subseteq P$ ، كما أن ، $ya^{n-1} \notin P$ ، لأنه إذا كان $ya^{n-1} \in P$ نجد أن $y = ya^n y - p_1 = (ya^{n-1})ay - p_1 \in PR + P \subseteq P$ وهذا غير ممكن. مما سبق نجد أن العنصر a هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

تمهيدية 2-4.

لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . القضايا الآتية صحيحة:

- 1 - كل عنصر قابل للقلب من اليسار في R هو عنصر P -قابل للقلب جزئياً في R .
- 2 - كل عنصر قابل للقلب في R هو عنصر P -قابل للقلب جزئياً في R .
- 3 - كل عنصر P -جامد $e \in R$ بحيث $e \notin P$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

البرهان.

- 1 - ليكن $a \in R$ عنصر قابل للقلب من اليسار في R ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ ، بحيث إن $ba = 1$ ومنه فإن $bab - b = 0 \in P$ وأن $baP \subseteq P$ فضلاً عن ذلك، $b \notin P$ ، لأنه إذا كان $b \in P$ نجد أن $1 = ba \in PR \subseteq P$ ، ومنه فإن $P = R$ وهذا غير ممكن. مما سبق نجد أن العنصر $a \in R$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R .
- 2 - ينتج مباشرة من (1).

- 3 - ليكن $e \in R$ عنصراً P -جامداً بحيث $e \notin P$ ، عندئذ $e^2 - e \in P$ وأن $eP \subseteq P$ ، ومنه فإن $e^2 = e + p_0$ حيث $p_0 \in P$ ، وأن:

$$\begin{aligned} e \cdot e \cdot e - e &= e^2 \cdot e - e = (e + p_0)e - e = e^2 + p_0e - e = \\ &= e + p_0 + p_0e - e = p_0(1 + e) \in PR \subseteq P \end{aligned}$$

- وأن $e^2P \subseteq eP \subseteq P$ وهذا يبين أن العنصر e هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

3 - الحقائق P -شبه المحلية.

تعريف 3-1.

لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . نقول عن الحلقة R إنها شبه محلية بالنسبة إلى المثالي اليميني P ، أو اختصاراً P -شبه محلية، إذا كان لأجل كل عنصر $a \in R$ ، إما a أو $1-a$ هو عنصر P -قابل للقلب جزئياً في R .

ينتج من التعريف مباشرة، أنه لأجل $P=0$ فإن مفهومي الحلقات شبه المحلية والحلقات P -شبه المحلية يتطابقان.

لنورد الآن عدداً من الشروط اللازمة والكافية كي تكون حلقة ما شبه محلية بالنسبة إلى مثالي يميني:

ميرهنه 2-3.

لتكن R حلقة و $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R هي P -شبه محلية.

2 - لأجل كل عنصر $a \in R$ ، إما Ra أو $R(1-a)$ يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ وأن $e \notin P$.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R هي P -شبه محلية، وليكن $a \in R$ ، عندئذ حسب الفرض إما a أو $1-a$ هو عنصر P -قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر a هو P -قابل للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر $b \in R$ بحيث $b \notin P$ ويحقق أن $baP \subseteq P$ ، $bab-b \in P$ ، ومنه فإن $bab=b+p_0$ حيث $p_0 \in P$. لنضع $e=ba$ ، فنجد أن $e \in R$ ، وأن:

$$e^2 - e = baba - ba = (bab - b)a \in PR \subseteq P$$

$$eP = baP \subseteq P$$

وهذا يبين أن e عنصر P -جامد في R وأن $e=ba \in Ra$ ، فضلاً عن ذلك، إن $e \notin P$ ، لأنه إذا كان $e \in P$ نجد أن:

$$b = bab - p_0 = eb - p_0 \in PR + P \subseteq P$$

وهذا غير ممكن، ومنه فإن $e \notin P$.

- إذا كان العنصر $1-a$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد $d \in R$ بحيث $d \notin P$ ويحقق $d(1-a)P \subseteq P$ ، $d(1-a)d - d \in P$ ، ومنه فإن:

$$d(1-a)d = d + p_1$$

حيث $p_1 \in P$. لنضع $g = d(1-a)$ ، فنجد أن $g \in R$ ، وأن:

$$g^2 - g = d(1-a)d(1-a) - d(1-a) = [d(1-a)d - d](1-a) \in PR \subseteq P$$

$$gP = d(1-a)P \subseteq P$$

وهذا يبين أن g عنصر P -جامد في R وأن $g = d(1-a) \in R(1-a)$. فضلاً عن ذلك، $g \notin P$ ، لأنه إذا كان $g \in P$ ، نجد أن:

$$d = d(1-a)d - p_1 = gd - p_1 \in PR + P \subseteq P$$

وهذا غير ممكن، ومنه فإن $g \notin P$.

(2) \Leftarrow (1). ليكن $a \in R$ ، عندئذ حسب الفرض إما Ra أو $R(1-a)$ يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ بحيث $e \notin P$. ليكن $e \in R$ عنصر P -جامد بحيث $e \notin P$ ، عندئذ $e^2 - e \in P$ ، $eP \subseteq P$ ، ومنه يوجد عنصر $p_0 \in P$ بحيث إن $e^2 = e + p_0$.

- إذا كان $e \in Ra$ ، عندئذ يوجد عنصر $b \in R$ بحيث إن $e = ba$ وإن $b \notin P$ ، لأنه إذا كان $b \in P$ نجد أن $e = ba \in PR \subseteq P$ وهذا غير ممكن. فضلاً عن ذلك، لما كان $e = ba$ نجد $e^2 = eba$ ومنه فإن $e + p_0 = eba$ ، وبالتالي فإن $e^2 + p_0e = ebae$ ومنه يكون $e + p_0 + p_0e = ebae$ ومنه نجد أن $eb + p_0(b + eb) = (eb)a(eb)$ وهذا يبين أن:

$$(eb)a(eb) - eb = p_0(b + eb) \in PR \subseteq P$$

$$(eb)aP = e^2P \subseteq eP \subseteq P$$

كما أن $eb \notin P$ ، لأنه إذا كان $eb \in P$ نجد أن $eb \in PR + P \subseteq P$ وهذا غير ممكن، أي إن $eb \notin P$ ، وهذا يبين أن العنصر a هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان $e \in R(1-a)$ ، عندئذ يوجد عنصر $d \in R$ بحيث إن $e = d(1-a)$ وإن $d \notin P$ ، لأنه إذا كان $d \in P$ نجد أن $d \in PR \subseteq P$ وهذا غير ممكن.

لما كان $e = d(1-a)$ فإن $e^2 = ed(1-a)$ ومنه $e + p_0 = ed(1-a)$ وبالتالي فإن $e^2 + p_0e = ed(1-a)e$ ومنه يكون $e + p_0 + p_0e = ed(1-a)e$ ومنه نجد أن:

$$ed + p_0(d + ed) = (ed)(1-a)(ed)$$

وهذا يبين أن $(ed)(1-a)(ed) - ed = p_0(d + ed) \in PR \subseteq P$ كما أن:

$$(ed)(1-a)P = e^2P \subseteq eP \subseteq P$$

إضافة لذلك، $ed \notin P$ ، لأنه إذا كان $ed \in P$ نجد أن:

$$e = ed(1-a) - p_0 \in PR + P \subseteq P$$

وهذا غير ممكن، أي إن $ed \notin P$ ، وهذا يبين أن العنصر $1-a$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R . مما سبق نجد أن الحلقة R هي P -شبه محلية.

مبرهنة 3-3.

لأجل أي حلقة R ، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . الشرطان الآتيان متكافئان:

1 - الحلقة R هي P -شبه محلية.

2 - لأجل أي مثالين يساريين A, B للحلقة R بحيث $R = A + B$ ، فإنه إما A أو B يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ بحيث $e \notin P$.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R هي P -شبه محلية، وليكن A, B مثالين يساريين في R بحيث $R = A + B$ ، لما كان $1 \in R$ ، فإن $1 = a + b$ حيث $a \in A$ و $b \in B$ ، ومنه

فإن $b = 1 - a$ ، ولما كانت الحلقة R هي P -شبه محلية، فإنه حسب المبرهنة

(2-3) إما Ra أو $R(1-a)$ يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ بحيث $e \notin P$.

- إذا كان $e \in Ra$ ، عندئذ فإن $RA \subseteq A$ ، عندئذ فإن $e \in Ra \subseteq A$.

- إذا كان $e \in R(1-a)$ ، عندئذ فإن $RB \subseteq B$ ، عندئذ فإن $e \in R(1-a) = Rb \subseteq B$.

(2) \Leftrightarrow (1). ليكن $a \in R$ ، لما كان $1 = a + (1-a)$ ، نجد أن $R = Ra + R(1-a)$ ،

ولما كان كل من Ra و $R(1-a)$ مثالياً يسارياً في R ، فإنه حسب الفرض إما Ra أو

$R(1-a)$ يحوي عنصراً P -جامداً $e \in R$ بحيث $e \notin P$ ، وحسب المبرهنة (2-3) فإن

الحلقة R هي P -شبه محلية.

مبرهنة 3-4.

لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . إذا كانت الحلقة R شبه محلية عناصرها الجامدة $0, 1$ فقط، عندئذ العناصر P -الجامدة في R هي $0, 1, p, 1+p$ فقط، وذلك لأجل كل $p \in P$.

البرهان.

نفرض أن الحلقة R شبه محلية وأن العناصر الجامدة في R هي $0, 1$ فقط. ليكن $e \in R$ عنصراً P -جامداً، عندئذ $e^2 - e \in P$ و $eP \subseteq P$ ، ومنه فإن $e^2 = e + p_0$ حيث $p_0 \in P$. إذا كان $e = 0$ أو $e = 1$ يتم المطلوب. لنفرض أن $e \neq 0$ وأن $e \neq 1$. لما كانت R حلقة شبه محلية وأن $e \in R$ ، عندئذ إما e أو $1-e$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر e قابلاً للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث إن $beb = b$. ولما كان $eb \in R$ عنصراً جامداً في R ، فإنه حسب الفرض إما $eb = 0$ أو $eb = 1$. إذا كان $eb = 0$ ، عندئذ يكون $b = beb = 0$ وهذا تناقض، ومنه نجد أن $eb = 1$ ، وبالتالي يكون $e^2b = eb + p_0b$. ومنه نجد أن $e = 1 + p_0b$ ، ولما كان $p_0b \in PR \subseteq P$ نجد أن $e = 1 + p$ حيث $p \in P$.

- إذا كان العنصر $1-e$ قابلاً للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $d \in R$ بحيث $d(1-e)d = d$. لما كان $(1-e)d \in R$ عنصراً جامداً في R ، وحسب الفرض إما $(1-e)d = 0$ أو $(1-e)d = 1$. إذا كان $(1-e)d = 0$ ، عندئذ يكون $d = d(1-e)d = 0$ وهذا تناقض، ومنه $(1-e)d = 1$ ، ولما كان $e^2 = e + p_0$ ، نجد $p_0 = -e(1-e)$ وبالتالي $-e(1-e)d = p_0d$ ومنه $e = -p_0d \in PR \subseteq P$ وبالتالي يكون $e = p$ حيث $p \in P$.

مبرهنة 3-5.

لتكن R حلقة، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً في R . إذا كانت الحلقة R شبه محلية عناصرها الجامدة $0, 1$ فقط، عندئذ تكون الحلقة R هي P -شبه محلية وعناصرها P -الجامدة هي $0, 1, p, 1+p$ فقط، وذلك لأجل كل $p \in P$.

البرهان.

نفرض أن الحلقة R شبه محلية وأن العناصر الجامدة في R هي $0, 1$ فقط، عندئذ حسب المبرهنة (3-4) تكون العناصر P -الجامدة في R هي فقط $0, 1, p, 1+p$ ، وذلك لأجل كل $p \in P$. ليكن $a \in R$ ، لما كانت الحلقة R شبه محلية، عندئذ إما a أو $1-a$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر a قابلاً للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث يكون $b = bab$. ولما كان $ba \in R$ عنصراً جامداً في R ، فإنه حسب الفرض إما $ba = 0$ أو $ba = 1$. إذا كان $ba = 0$ ، نجد أن $b = bab = 0$ وهذا تناقض، ومنه فإن $ba = 1$ ، وهذا يبين أن العنصر a قابل للقلب من اليسار، وحسب التمهيدية (2-4) نجد أن العنصر a هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر $1-a$ قابلاً للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $d \in R$ بحيث يكون $d = d(1-a)d$. لما كان $d(1-a) \in R$ عنصراً جامداً، فإنه حسب الفرض إما $d(1-a) = 0$ أو $d(1-a) = 1$. إذا كان $d(1-a) = 0$ ، نجد أن $d = d(1-a)d = 0$ وهذا تناقض، ومنه فإن $d(1-a) = 1$ ، وهذا يبين أن العنصر $1-a$ قابل للقلب من اليسار في R وحسب التمهيدية (2-4) نجد أن العنصر $1-a$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R . مما سبق تكون الحلقة R هي P -شبه محلية.

تعريف 3-6. نقول عن الحلقة R إنها نظيفة إذا كان كل عنصر $a \in R$ يكتب على شكل مجموع لعنصرين أحدهما قابل للقلب والآخر جامد في R ، [8].

مبرهنة 3-7.

كل حلقة نظيفة R عناصرها الجامدة $0, 1$ فقط، تكون شبه محلية بالنسبة إلى أي مثالي يميني $P \neq R$ للحلقة R .

البرهان.

لنفرض أن R حلقة نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً للحلقة R . ليكن $x \in R$ ، لما كانت الحلقة R نظيفة، عندئذ $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر قابل للقلب في R وأن $e \in R$ عنصر جامد. ولما كانت العناصر الجامدة في R هي $0, 1$ فقط، فإنه إما $e = 0$ أو $e = 1$.

- إذا كان $e = 0$ ، عندئذ فإن $x = a$ ، ولما كان العنصر a قابلاً للقلب فإنه يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث إن $ba = 1$ وهذا يبين أن العنصر a قابل للقلب من اليسار في R وحسب التمهيدية (2-4) نجد أن العنصر $x = a$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان $e = 1$ ، عندئذ فإن $x = a + 1$ ، ومنه فإن $-a = 1 - x$ ، ولما كان العنصر a قابل للقلب فإنه يوجد عنصر مغاير للصفر $d \in R$ بحيث $da = 1$ ، ومنه فإن $(-d)(-a) = 1$ وهذا يبين أن العنصر $-a$ قابل للقلب من اليسار في R وحسب التمهيدية (2-4) نجد أن العنصر $-a = 1 - x$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

مما سبق نجد أن الحلقة R هي P -شبه محلية.

تعريف 3-8. نقول عن الحلقة R إنها r -نظيفة إذا كان كل عنصر $a \in R$ يكتب على شكل مجموع لعنصرين أحدهما منتظم والآخر جامد في R ، [3].

مبرهنة 3-9.

كل حلقة r -نظيفة R عناصرها الجامدة $0, 1$ فقط، تكون شبه محلية بالنسبة إلى

أي مثالي يميني $P \neq R$ للحلقة R .

البرهان.

لنفرض أن R حلقة r -نظيفة عناصرها الجامدة هي $0, 1$ فقط، وليكن $P \neq R$ مثالياً يمينياً للحلقة R . ليكن $x \in R$ ، لما كانت R هي r -نظيفة، عندئذ فإن $x = a + e$ حيث $a \in R$ عنصر منتظم في R وأن $e \in R$ عنصر جامد. سوف نميز حالتين:

- إذا كان $a=0$ ، عندئذ فإن $x=e$ ، وحسب الفرض إما $e=0$ أو $e=1$. إذا كان $x=e=0$ ولما كان $1=x+(1-x)$ نجد أن $1-x=1$ هو عنصر P -قابل للقلب جزئياً في R . إذا كان $x=e=1$ نجد أن العنصر x هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان $a \neq 0$ ولما كان العنصر a منتظماً فإنه يوجد عنصر مغاير للصفر $b \in R$ بحيث $a=aba$. ولما كان $ba \in R$ عنصراً جامداً مغايراً للصفر في R نجد بحسب الفرض أن $ba=1$ وهذا يبين أن العنصر a قابل للقلب من اليسار في R ، وحسب التمهيدية (2-4) نجد أن العنصر a هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان $e=0$ نجد أن $x=a$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان $e=1$ نجد أن $1-x=-a$ هو P -قابل للقلب جزئياً في R . مما سبق نجد أن الحلقة R هي P -شبه محلية.

4 - حلقة المصفوفات P - شبه المحلية.

تمهيدية 1-4.

لتكن R حلقة، ولنفرض أن $D_2(R)$ حلقة المصفوفات القطرية من المرتبة الثانية فوق R . لتأخذ المجموعتين الآتيتين:

$$P_0 = \left\{ \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} : a \in R \right\}, \quad Q_0 = \left\{ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} : b \in R \right\}$$

كل من P_0, Q_0 هو مثالي يميني في $D_2(R)$ و $P_0 \neq D_2(R)$ و $Q_0 \neq D_2(R)$.
البرهان.

واضح.

بالاعتماد على المصطلحات الواردة في التمهيدية (1-4) سنورد المبرهنة الآتية:

مبرهنة 2-4.

لأجل أي حلقة R ، الشروط الآتية متكافئة:

1 - الحلقة R شبه محلية.

2 - الحلقة $D_2(R)$ هي P_0 -شبه محلية.

3 - الحلقة $D_2(R)$ هي Q_0 - شبه محلية.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R شبه محلية، وليكن $\alpha = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \in D_2(R)$ ، حيث

$a, b \in R$. لما كان $b \in R$ وأن الحلقة R شبه محلية، عندئذ إما b أو $1-b$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر b قابلاً للقلب جزئياً في R ، فإنه يوجد عنصر مغاير للصفر $x \in R$ بحيث

إن $x = xbx$. ومنه أيضاً كان $y \in R$ ، فإن $\beta = \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} \in D_2(R)$ و $\beta \notin P_0$ ،

لأن $x \neq 0$ ، ويحقق:

$$\beta\alpha\beta = \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ya & 0 \\ 0 & xb \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} yay & 0 \\ 0 & xbx \end{bmatrix}$$

$$\beta\alpha\beta - \beta = \begin{bmatrix} yay & 0 \\ 0 & xbx \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} yay - y & 0 \\ 0 & xbx - x \end{bmatrix} \in P_0$$

وأنه أيضاً كان $t = \begin{bmatrix} a' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \in P_0$ ، حيث $a' \in R$ ، فإن:

$$\beta\alpha t = \begin{bmatrix} ya & 0 \\ 0 & xb \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} yaa' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \in P_0$$

ومنه فإن $\beta\alpha P_0 \subseteq P_0$ ، وهذا يبين أن α عنصر P_0 - قابل للقلب جزئياً في $D_2(R)$.

- إذا كان العنصر $1-b$ قابلاً للقلب جزئياً في R ، فإنه يوجد عنصر مغاير للصفر $x \in R$

بحيث $x = x(1-b)x$. ومنه أيضاً كان $y \in R$ ، فإن $\beta = \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} \in D_2(R)$ و $\beta \notin P_0$ ، لأن $x \neq 0$ ، ويحقق أن:

$$\beta(1-\alpha)\beta = \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1-a & 0 \\ 0 & 1-b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(1-a)y & 0 \\ 0 & x(1-b)x \end{bmatrix}$$

$$\beta(1-\alpha)\beta - \beta = \begin{bmatrix} y(1-a)y & 0 \\ 0 & x(1-b)x \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} y & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} y(1-a)y - y & 0 \\ 0 & x(1-b)x - x \end{bmatrix} \in P_0$$

وأنه أياً كان $P_0 \in t = \begin{bmatrix} a' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ حيث $a' \in R$ ، فإن:

$$\beta(1-\alpha)t = \begin{bmatrix} y(1-a) & 0 \\ 0 & x(1-b) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(1-a)a' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \in P_0$$

ومنه فإن $\beta(1-\alpha)P_0 \subseteq P_0$ وهذا يبين أن $1-\alpha$ هو قابل للقلب جزئياً في الحلقة $D_2(R)$.

مما سبق نجد أن الحلقة $D_2(R)$ هي P_0 -شبه محلية.

(2) \Leftarrow (1). لنفرض أن الحلقة $D_2(R)$ هي P_0 -شبه محلية، وليكن $a \in R$ ، عندئذ

$$\text{فإن } \alpha = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} \in D_2(R) \text{ لما كانت الحلقة } D_2(R) \text{ هي } P_0\text{-شبه محلية، فإنه إما}$$

العنصر α أو $1-\alpha$ هو قابل للقلب جزئياً في الحلقة $D_2(R)$.

- إذا كان α هو قابلاً للقلب جزئياً في $D_2(R)$ ، عندئذ يوجد $\beta \in D_2(R)$ بحيث

حيث $x, y \in R$ وأن $\beta \notin P_0$ ويحقق أن $\beta\alpha\beta - \beta \in P_0$ وأن $\beta\alpha P_0 \subseteq P_0$. لما كان $\beta \notin P_0$ نجد أن $y \neq 0$ ، كما أن:

$$\beta\alpha\beta - \beta = \begin{bmatrix} x & 0 \\ 0 & y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x & 0 \\ 0 & y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x & 0 \\ 0 & y \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -x & 0 \\ 0 & y ay - y \end{bmatrix} \in P_0$$

وهذا يبين أن $y ay - y = 0$ ، أي $y ay = y$ ، ومنه العنصر a قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان $1 - \alpha$ هو P_0 - قابلاً للقلب جزئياً في الحلقة $D_2(R)$ ، عندئذ يوجد:

$$\beta = \begin{bmatrix} x & 0 \\ 0 & y \end{bmatrix} \in D_2(R)$$

حيث $x, y \in R$ وأن $\beta \notin P_0$ ويحقق $\beta(1 - \alpha)\beta - \beta \in P_0$ و $\beta(1 - \alpha)P_0 \subseteq P_0$.
لما كان $\beta \notin P_0$ نجد أن $y \neq 0$ ، كما أن:

$$\beta(1 - \alpha)\beta - \beta = \begin{bmatrix} x^2 - x & 0 \\ 0 & y(1 - a)y - y \end{bmatrix} \in P_0$$

وهذا يبين أن $y(1 - a)y - y = 0$ ، أي إن $y(1 - a)y = y$ ، ومنه فإن العنصر $1 - a$ قابل للقلب جزئياً في R . مما سبق نجد أن الحلقة R شبه محلية.
بطريقة مشابهة يمكننا إثبات صحة التكافؤ (1) \Leftrightarrow (3).

تمهيدية 3-4

لتكن R حلقة، لنفرض أن $U_2(R)$ حلقة المصفوفات المثلثية العليا من المرتبة الثانية فوق الحلقة R . المجموعة $P = \left\{ \begin{bmatrix} a & b \\ 0 & 0 \end{bmatrix} : a, b \in R \right\}$ تشكل مثالياً يمينياً في الحلقة $U_2(R)$ وأن $P \neq U_2(R)$. لنفرض أيضاً $L_2(R)$ حلقة المصفوفات المثلثية السفلى من المرتبة الثانية فوق الحلقة R .

المجموعة $Q = \left\{ \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ a & b \end{bmatrix} : a, b \in R \right\}$ تشكل مثالياً يمينياً في الحلقة $L_2(R)$ وأن $Q \neq L_2(R)$.

البرهان.

واضح.

بالاعتماد على المصطلحات الواردة في التمهيدية (3-4) سنورد الآن المبرهنة الآتية:

مبرهنة 4-4.

لأجل أي حلقة R الشروط الآتية متكافئة:

- 1 - الحلقة R شبه محلية.
- 2 - الحلقة $U_2(R)$ هي P -شبه محلية.
- 3 - الحلقة $L_2(R)$ هي Q -شبه محلية.

البرهان.

(1) \Leftrightarrow (2). لنفرض أن الحلقة R شبه محلية، وليكن $\alpha = \begin{bmatrix} a & b \\ 0 & c \end{bmatrix} \in U_2(R)$ ، حيث

$a, b, c \in R$. لما كان $c \in R$ وأن R شبه محلية، عندئذ إما c أو $1-c$ عنصر قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر c قابلاً للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $x \in R$

بحيث إن $xcx = x$. ومنه أيأ كان $x' \in R$ فإن $\beta = \begin{bmatrix} x' & 0 \\ 0 & x \end{bmatrix} \in U_2(R)$ وأن $\beta \notin P$ ،

لأن $x \neq 0$. فضلاً عن ذلك، إن $\beta\alpha\beta = \begin{bmatrix} x'ax' & x'bx \\ 0 & xcx \end{bmatrix}$ ، ومنه فإن:

$$\beta\alpha\beta - \beta = \begin{bmatrix} x'ax' - x' & x'bx \\ 0 & xcx - x \end{bmatrix} \in P$$

وأنه أيأ كان $t = \begin{bmatrix} a' & b' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \in P$ حيث $a', b' \in R$ ، فإن:

$$\beta\alpha t = \begin{bmatrix} x'a & x'b \\ 0 & xc \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a' & b' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'aa' & x'ab' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \in P$$

وهذا يبين أن $\beta\alpha P \subseteq P$. مما سبق نجد أن العنصر α هو P -قابل للقلب جزئياً في الحلقة $U_2(R)$.

- إذا كان العنصر $1-c$ قابلاً للقلب جزئياً في R ، عندئذ يوجد عنصر مغاير للصفر $y \in R$ بحيث $y(1-c)y = y$ ومنه أيّاً كان $y' \in R$ فإن $\beta = \begin{bmatrix} y' & 0 \\ 0 & y \end{bmatrix} \in U_2(R)$ وأن $\beta \notin P$ ، لأن $y \neq 0$ فضلاً عن ذلك، إن:

$$\beta(1-\alpha)\beta = \begin{bmatrix} y'(1-a)y' & -y'by \\ 0 & y(1-c)y \end{bmatrix}$$

ومنه فإن:

$$\beta(1-\alpha)\beta - \beta = \begin{bmatrix} y'(1-a)y' - y' & -y'by \\ 0 & y(1-c)y - y \end{bmatrix} \in P$$

وأنه أيّاً كان $t = \begin{bmatrix} a'' & b'' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \in P$ حيث $a'', b'' \in R$ ، فإن:

$$\beta(1-\alpha)t = \begin{bmatrix} y'(1-a)a'' & y'(1-a)b'' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \in P$$

وهذا يبين أن $\beta(1-\alpha)P \subseteq P$. مما سبق نجد أن $1-\alpha$ هو P -قابل للقلب جزئياً في $U_2(R)$. وهكذا فإن الحلقة $U_2(R)$ هي P -شبه محلية.

(2) \Leftarrow (1). لنفرض أن الحلقة $U_2(R)$ هي P -شبه محلية، وليكن $a \in R$ ، عندئذ فإن

$\alpha = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} \in U_2(R)$ وحسب الفرض إما α أو $1-\alpha$ هو عنصر P -قابل للقلب جزئياً في الحلقة $U_2(R)$.

- إذا كان العنصر α هو P -قابل للقلب جزئياً في $U_2(R)$ ، عندئذ يوجد عنصر $\beta \in U_2(R)$ بحيث $\beta \notin P$ ويحقق أن $\beta\alpha\beta - \beta \in P$ وأن $\beta\alpha P \subseteq P$. لما كان

$\beta \in U_2(R)$ فإن $\beta = \begin{bmatrix} x & y \\ 0 & z \end{bmatrix}$ وأن $x, y, z \in R$. فضلاً عن ذلك، إن $z \neq 0$ ، لأن

$\beta \notin P$. كما أن:

$$\beta\alpha\beta = \begin{bmatrix} x & y \\ 0 & z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x & y \\ 0 & z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & ya \\ 0 & za \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x & y \\ 0 & z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & yaz \\ 0 & zaz \end{bmatrix}$$

$$\beta\alpha\beta - \beta = \begin{bmatrix} 0 & yaz \\ 0 & zaz \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x & y \\ 0 & z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x & yaz - y \\ 0 & zaz - z \end{bmatrix} \in P$$

ومنه نجد أن $zaz - z = 0$ وبالتالي فإن $zaz = z$ ، ومنه فإن العنصر a قابل للقلب جزئياً في R .

- إذا كان العنصر $1 - \alpha$ هو P -قابل للقلب جزئياً في $U_2(R)$ ، عندئذ يوجد عنصر $\beta \in U_2(R)$ بحيث $\beta \notin P$ ويحقق $\beta(1 - \alpha)\beta - \beta \in P$ وأن $\beta(1 - \alpha)P \subseteq P$.

لما كان $\beta \in U_2(R)$ فإن $\beta = \begin{bmatrix} x & y \\ 0 & z \end{bmatrix}$ وأن $x, y, z \in R$ فضلاً عن ذلك، $z \neq 0$ ، لأن $\beta \notin P$. كما أن:

$$\beta(1 - \alpha)\beta = \begin{bmatrix} x^2 & xy + y(1 - a)z \\ 0 & z(1 - a)z \end{bmatrix}$$

$$\beta(1 - \alpha)\beta - \beta = \begin{bmatrix} x^2 - x & xy + y(1 - a)z - y \\ 0 & z(1 - a)z - z \end{bmatrix} \in P$$

ومنه نجد أن $z(1 - a)z - z = 0$ وبالتالي فإن $z(1 - a)z = z$ ، ومنه فإن العنصر $1 - a$ قابل للقلب جزئياً في R . مما سبق نجد أن الحلقة R شبه محلية.

بطريقة مشابهة يمكننا إثبات صحة التكافؤ (1) \Leftrightarrow (3).

المراجع العلمية.

- [1] – Anderson, F. W and Fuller, K. R., " Rings and Categories of Modules ", New York. Springer 1973.
- [2] – Andrunakievich A. V and Andrunakievich V. A, " Rings that are regular relative to right ideal ", Mat. Zametki. **Vol. 49**, No. 3 1991, pp. 3–11.
- [3] – Ashrafi, N and Nasibi, E," Rings in Which Elements are Sum of an Idempotent and Regular Element ", Bulletin of the Iranian Mathematical Society. **Vol. 39**, No. 3, 2013, pp. 579 – 588.
- [4] – Goodearl, K. R., " Von Neumann Regular Rings ", Pitman 1979 .
- [5] – Hamza, H., " I_0 – Rings and I_0 – Module", Math. J. Okayama Univ. **Vol. 40**, 1998, pp. 91 – 97.
- [6] – Hamza, H., " r – Clean Rings Relative to Right Ideals ", Journal of Algebraic Systems. **Vol. 9**, No. 2, 2022, pp. 1 – 19.
- [7] – Lambek, J., " Lectures on Rings and Modules ", Blaisdell, Mass. 1966.
- [8] – Nicholson, W. K., and Zhou, Y., " Rings in Which Elements are Uniquely the Sum of an Idempotent and a Unit ", Glasgow Math. J. **Vol. 46**, No. 2, (2004), pp. 227 – 236.