مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية الكيميائية والبترولية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 3

1448 هـ - 2026 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص **المدير المسؤول عن المجلة**

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

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	عضو هيئة التحرير

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

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

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

. البريد الالكتروني : 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.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا 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.

- **اذا 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 17.5×25 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

ـ كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي ـ العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.

8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.

9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة ـ الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة ـ سنة النشر ـ وتتبعها معترضة (–) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة ـ دار النشر وتتبعها فاصلة ـ 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:

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

مثال على ذلك:

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. **دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.**
2. **دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .**
3. **دفع رسم نشر (200) مئتا 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

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
التخليق الحيوي لأكسيد الزنك النانوي باستخدام مستخلص قشور الرمان ومقارنته بالطريقة الكيميائية	م. مروه الشيخ خلف أ.د. م. محمد هلال د. تماره شهرلي	36-11
دراسة فعالية الفحم المنشط المصنّع من كوز الذرة في تخفيض تركيز الرصاص والمنغنيز من المياه الصناعية (منصرفات معمل الدهانات)	د.م. فاطمة التركي	64-37
"دراسة حركية البكتيريا اللبنية أثناء التخمر اللبني للبن المدعم بالسبيرولينا (Spirulina)"،	كاتيا الياس د. عبد الوهاب مرعي د. شريف صادق	94-65
تأثير إضافة دقيق الكينوا على الخصائص الفيزيوكيميائية والحسية للخبز العربي خلال التخزين	هبة شتور د. محمد مصري د. شريف صادق	121-95

التخليق الحيوي لأكسيد الزنك النانوي باستخدام مستخلص قشور الرمان ومقارنته بالطريقة الكيميائية

إعداد

المهندسة : مروه الشيخ خلف

مشرف أساسي مشرف مشارك

أ.د.م محمد هلال د. تماره شهرلي

التخليق الحيوي لأكسيد الزنك النانوي باستخدام مستخلص قشور الرمان ومقارنته بالطريقة الكيميائية

الملخص

يعد أكسيد الزنك النانوي (ZnO NPs) من المواد النانوية ذات الأهمية الكبيرة في التطبيقات الحيوية والصناعية لما يمتلكه من خصائص فيزيائية وكيميائية مميزة. هدفت هذه الدراسة إلى تحضير جسيمات أكسيد الزنك النانوي بطريقتين مختلفتين، هما التخليق الحيوي باستخدام المستخلص المائي لقشور الرمان، والطريقة الكيميائية باستخدام هيدروكسيد الصوديوم، مع إجراء مقارنة بين الطريقتين من حيث المردود وأبعاد الجسيمات النانوية. استُخدم في التخليق الحيوي المستخلص المائي لقشور الرمان كعامل

اختزال وتثبيت، وتمت دراسة تأثير تركيز نترات الزنك ودرجة حرارة التفاعل على شكل وحجم الجسيمات الناتجة. أما في التحضير الكيميائي، فتم استخدام هيدروكسيد الصوديوم كعامل مختزل مع نترات الزنك المائية. وُصّفت الجسيمات النانوية المحضرة باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV–Vis)، والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، ومطيافية الأشعة تحت الحمراء (FT–IR). أظهرت نتائج المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الجسيمات النانوية المحضرة حيوياً كانت كروية الشكل وبأبعاد أصغر مقارنة بالطريقة الكيميائية حيث تراوحت أبعادها بين (17–30) نانومتر، بينما تراوحت أبعاد الجسيمات النانوية المحضرة كيميائياً بين (24–48) نانومتر، كما بينت النتائج أن التركيز المتوسط لنترات الزنك وارتفاع درجة الحرارة ضمن مجال محدد يسهمان في تقليل أبعاد الجسيمات النانوية، إضافة إلى تحقيق مردود أعلى بالطريقة الحيوية.

الكلمات المفتاحية

جسيمات أكسيد الزنك النانوي، التخليق الحيوي، التحضير الكيميائي، قشور الرمان، SEM، تقنية النانو.

Biosynthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Pomegranate Peel Extract and Comparison with the Chemical Method

Abstract

Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) are nanomaterials of great importance in biological and industrial applications due to their distinctive physical and chemical properties. This study aimed to prepare zinc oxide nanoparticles using two different methods: biosynthesis, using an aqueous extract of pomegranate peels, and the chemical method, using sodium hydroxide, while comparing the two methods in terms of yield and nanoparticle dimensions. In the biosynthesis method, the aqueous extract of pomegranate peels was used as a reducing and stabilizing agent, and the effects of zinc nitrate concentration and reaction temperature on the shape and size of the resulting particles were studied. As for the chemical preparation method, sodium hydroxide was used as a reducing agent with aqueous zinc nitrate. The prepared nanoparticles were characterized using Ultraviolet-Visible spectroscopy (UV-Vis), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Fourier-Transform Infrared spectroscopy (FT-IR).The results of Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that the biosynthesized nanoparticles were spherical in shape and smaller in size compared to those from the chemical method, with dimensions ranging from (17-30) nanometers, while the chemically prepared nanoparticles ranged from (24-48) nanometers. The results also indicated that moderate zinc nitrate concentration and elevated temperature within a specific range contribute to reducing nanoparticle dimensions, in addition to achieving a higher yield with the biological method.

Keywords

Zinc oxide nanoparticles, Biosynthesis, Chemical preparation, Pomegranate peels, SEM, Nanotechnology.

1-المقدمة

شهدت الهندسة الكيميائية في السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً بتقنية النانو و المواد النانوية نظراً للخصائص الفريدة التي تمتلكها المواد النانوية مقارنة بالمواد ذات الحجم الماكروي . الأمر الذي فتح أفاقاً واسعة لتطبيقاتها في المجالات الطبية و الزراعية والبيئية والصناعية. ومن بين هذه المواد يحتل أكسيد الزنك النانوي مكانة متميزة بسبب خصائصه الكهروضوئية والكيميائية والحيوية.[1,2]

أعتمدت الطرق التقليدية في تحضير الجسيمات النانوية على الأساليب الفيزيائية و الكيميائية إلا أن هذه الطرق تعاني من عدة سلبيات مثل استهلاك الطاقة العالية واستخدام مواد كيميائية سامة. لذلك برزت الطريقة الحيوية (الخضراء) كبديل آمن وصديق للبيئة ، حيث تعتمد على مستخلصات نباتية تحتوي على مركبات فعالة قادرة على اختزال الأملاح المعدنية وتثبيت الجسيمات النانوية .[3,4]

لعل أبرز ما يميز نبات الرمان ، والعامل الذي أثار انتباه العلماء والباحثين ، احتوائه على العديد من المركبات النباتية الطبيعية ذات التأثيرات الصحية النافعة والتي تم تحديد وتقدير العشرات منها في مختلف أجزاء الرمان كالعصير والورق و القشور، والتي تشمل عديدات الفينول Polyphenols فضلاً عن الأحماض العضوية Organic acids الكثيرة. وتتميز الكثير من هذه المركبات النباتية بخصائص مضادة للأكسدة ومقاومة للجذور الحرة المسببة للكثير من الأمراض الخطيرة. [5, 6]

يظهر الجدول(1) التالي النسبة المئوية للمكونات الكيميائية للمستخلص الخام لقشور الرمان وتختلف نسبة تواجد المواد الفعالة حسب نوع الثمار والرمان ومكان تواجده وفترة نموه (نضجه)، وتسهم هذه المواد بدور مهم في إرجاع الأملاح المعدنية و إنتاج جسيمات نانوية بطرائق سهلة وسريعة و آمنة بيئياً.[7]

الجدول (1) : النسبة المئوية للمكونات الكيميائية للمستخلص الخام لقشور الرمان

المادة الفعالة	القلويدات	الصابونيات	التانينات	الفينولات	الفلافونيدات
%	0.79	2.6	14.7	0.88	0.45

يُعد أكسيد الزنك النانوي من أكثر المواد أهمية في تقنيات النانو والتطبيقات النانوية المتقدمة، وذلك بسبب خصائصه المميزة مثل الخصائص الكهروضوئية، والكهرومغناطيسية وخصائص أشباه

الموصلات . وبفضل هذه الخصائص ، يستعمل على نطاق واسع في العديد من المجالات، مثل شاشات العرض المسطحة، والخلايا الشمسية ،و الأجهزة الكهربائية والضوئية، إضافة إلى تطبيقاته في المجالات الحيوية والطبية.[8]

تعد جسيمات أكسيد الزنك النانوي من المواد الفعالة كمضادات للبكتيريا، نظراً لكونها مادة نانوية معدنية ذات نشاط حيوي مرتفع ، مما يجعلها تدخل في تركيب بعض الأدوية المستخدمة لعلاج الأمراض البكتيرية . وتستخدم هذه الجسيمات أيضاً في التطبيقات الكيميائية كمحفزات وفي المجالات الغذائية لتحسين جودة المنتجات . وقد تم تصنيف أكسيد الزنك على أنه مادة آمنة من قبل منظمة الصحة العالمية (WHO) ، ويستخدم في صناعة المستحضرات الطبية والتجميلية ،نظراً لقدرته العالية على الامتصاص وفعاليته وانتقائيته في التطبيقات المختلفة .[9].

2-أهداف البحث

1- التخليق الحيوي لجسيمات أكسيد الزنك النانوي باستخدام مستخلص قشور الرمان، وتحديد الشروط الأفضل (درجة حرارة التفاعل و تركيز نترات الزنك ونترات الفضة) .

2- تحضير جسيمات أكسيد الزنك النانوي بالطريقة الكيميائية انطلاقاً من هيدروكسيد الصوديوم.

3- توصيف الجسيمات المحضرة باستخدام تقنيات UV-Vis و SEM و FT-IR.

4- المقارنة بين الطريقتين الحيوية والكيميائية من حيث الكفاءة و أبعاد الجسيمات.

5-مبررات البحث

نظراً لندرة الدراسات التي استعرضت التخليق الحيوي لجسيمات أكسيد الزنك النانوي باستخدام المستخلص المائي لقشور الرمان ، وعدم تحديد الشروط الأفضل للتخليق، وبالتزامن مع التوسع في زراعة الرمان في سوريا ، تبرز أهمية استثماره مخلفاته في إنتاج جسيمات نانوية اقتصادية وصديقة للبيئة بوصفها بديلاً مستداماً للطريقة الكيميائية التقليدية.

4-المواد وطرائق البحث

4-1 المواد المستخدمة

أُستخدمت مجموعة من المواد الكيميائية ذات نقاوة عالية ، إضافة إلى مواد نباتية محلية المصدر وذلك وفق ماهو موضح في الجدول (2):

الجدول (2) : المواد الكيميائية المستخدمة

المادة	المصدر	النقاوة
هيدروكسيد الصوديوم	Belgium	**98-100.1%**
كلوريد الحديد	England	**99%**
إيتانول	معمل سكر حمص	**95%**
دي ميتيل سلفوكسيد	SRL-India	**99.5%**
نترات الزنك سداسية الماء	Merck	**99%**
قشور الرمان	Syria-Homs	-
ماء مقطر	جامعة حمص	-

4-2 الأجهزة والأدوات المستخدمة

أُستخدمت الأجهزة والأدوات التالية لإنجاز التحاليل و التجارب المطلوبة :

1. جهاز التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية -المرئية (UV-Vis)-قسم الهندسة الكيميائية-جامعة حمص-سوريا.

2. جهاز التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء (FT-IR)- قسم الكيمياء - جامعة دمشق - سوريا.

3. المجهر الإكتروني الماسح (SEM) - هيئة الطاقة الذرية-دمشق- سوريا .

4. ميزان إلكتروني حساس بدقة (0.001 gr).

5. فرن تجفيف كهربائي (°C 250 – 0).

6. مرمدة تكليس (°C 1100 – 0).

7. مقياس pH .

8. أدوات زجاجية مثل: أرلينات و أسطوانة مدرجة و بياشر.

9. سخانة كهربائية مع محرك مغناطيسي .

10. هاون و مثقلة و المناخل .

4-3 طريقة العمل

4-3-1 جمع العينات:

جُمعت قشور الرمان خلال شهر آب سنة 2024 من المنطقة الشرقية لمدينة الرستن ، حيث اختيرت ثمار ناضجة وخالية من الإصابات الظاهرية لضمان جودة المادة النباتية المستخدمة .

4-3-2 تحضير مسحوق قشور الرمان:

غُسلت قشور الرمان جيداً بالماء ، لإزالة الشوائب والأتربة العالقة ،ثم بالماء المقطر. بعد ذلك ، جُففت القشور في الظل عند درجة حرارة الغرفة بعيداً عن الضوء، بهدف تقليل الرطوبة في النبات، والحفاظ على المواد الفعالة. بعد اكتمال التجفيف، طُحنت القشور باستخدام هاون للحصول على مسحوق ناعم . ثم أُجري تصنيف حبيبي باستخدام المناخل لتحديد القطر الوسطي للجسيمات ($\overline{D}_{50}$)،حيث تراوح قطرها المتوسط من0.5–0.9 mm، مما يسهم في تحسين كفاءة الاستخلاص .

4-3-3 تخليق جسيمات أكسيد الزنك النانوي حيوياً باستخدام مستخلص قشور الرمان:

تم اصطناع جسيمات أكسيد الزنك النانوي باستخدام المستخلص المائي لقشور الرمان وفق الخطوات التالية:

أولاً : استخلاص المواد الفعالة من قشور الرمان:

وُزن 50 gr من مسحوق قشور الرمان. ثُم أضيف ألى 300 ml ماء مقطر بنسبة (6/1). سُخن المزيج عند درجة حرارة (65±1) □ لمدة 15 دقيقة مع التحريك، ثم ترك ليبرد ، وبعد ذلك رُشح باستخدام قمع بوخنر وورق ترشيح. حُفظ المستخلص المائي الناتج لاستخدامه في عمليات التخليق الحيوي.

ثانياً : تخليق جسيمات أكسيد الزنك النانوي حيوياً باستخدام مستخلص قشور الرمان:

تم تحضير جسيمات أكسيد الزنك النانوي حيوياً باستخدام المستخلص المائي لقشور الرمان، مع دراسة تأثير كل من تركيز نترات الزنك ودرجة حرارة التفاعل .

1. دراسة تأثير تركيز نترات الزنك عند ثبات درجة الحرارة

أُضيف 5 ml من محلول نترات الزنك بتراكيز مختلفة(0.02 M , 0.01 , 0.005) إلى 127 ml من إلى المستخلص النباتي ، ثم حُرك المزيج عند درجة حرارة□ 65±1 لمدة 20 دقيقة ضمن حمام مائي . لوحظ تغير لون المزيج إلى الأصفر الفاتح ، مما يشير إلى بدء تشكل الجسيمات النانوية .جُمع الناتج وجفف في فرن عند درجة حرارة 65 □ لمدة 24 ساعة ، ثُم كُلس عند 500 □ لمدة ساعتين للحصول على مسحوق أكسيد الزنك النانوي ، بلغ المردود على التوالي (41% , 52% , 75%) ، حيث انخفض المردود مع زيادة تركيز نترات الزنك.

يبين الشكل (1) التالي مراحل اصطناع جسيمات أكسيد الزنك النانوي حيوياً .

الشكل(1): مراحل اصطناع جسيمات أكسيد الزنك النانوي حيويا

دُرست العينات السابقة باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ، وُجد أن التركيز 0.01M من نترات الزنك هو الذي أعطى أفضل أبعاد نانوية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي .

2. دراسة تأثير درجة الحرارة عند ثبات تركيز نترات الزنك :

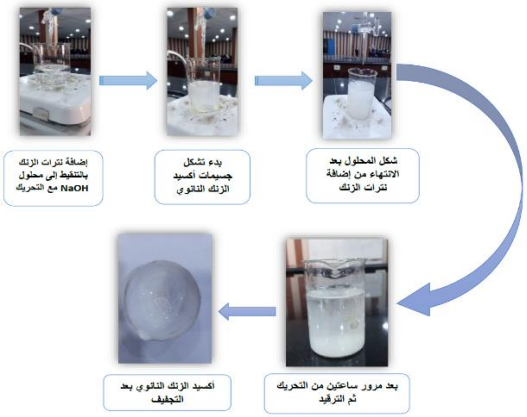
لمعرفة تأثير درجة الحرارة على الأبعاد النانوية ثُبت تركيز نترات الزنك عند 0.01 M و أُجريت التجارب عند درجتي حرارة (□1±75) و(□1±85) مع اتباع الخطوات السابقة نفسها ، بلغ المردود (45% , 46%) على التوالي ، حيف ازداد المردود برفع درجة الحرارة.

تم تقييم تأثير التركيز ودرجة الحرارة على أبعاد الجسيمات النانوية والمردود النهائي.

- تم التأكيد الأولي على تشكل جسيمات أكسيد الزنك النانوي من خلال ملاحظة التغيرات في لون وسط التفاعل ، حيث تغير لون المستخلص إلى الأصفر الفاتح. وقد أشار الباحثون إلى أن هذا التغير في اللون مؤشر أولي لتشكل الجسيمات النانوية.[3]

ثالثاً : تحضير جسيمات أكسيد الزنك النانوي كيميائياً :

حُل 3 gr من نترات الزنك سداسية الماء (0.01 M) في 100 ml من الماء مقطر ، كما حُلَ 0.8 gr من هيدروكسيد الصوديوم (0.2M) في 100 ml من الماء المقطر.أُضيف محلول نترات الزنك بالتنقيط إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم مع التحريك المستمر ، و استمر التفاعل لمدة لساعتين. بعد ذلك ، تُرك المزيج للترقيد ، ثم غُسل الراسب عدة مرات بالماء المقطر للتخلص من الشوارد المتبقية. جُفف الناتج عند درجة حرارة □105 حتى ثبات الوزن. ثم حُفظ في أوعية محكمة لإجراء عمليات التوصيف ، بلغ المردود 25%. يبين الشكل (2) مراحل تحضير جسيمات أكسيد الزنك النانوي كيميائياً.



الشكل(2): مراحل تحضير جسيمات أكسيد الزنك النانوي كيميائياً

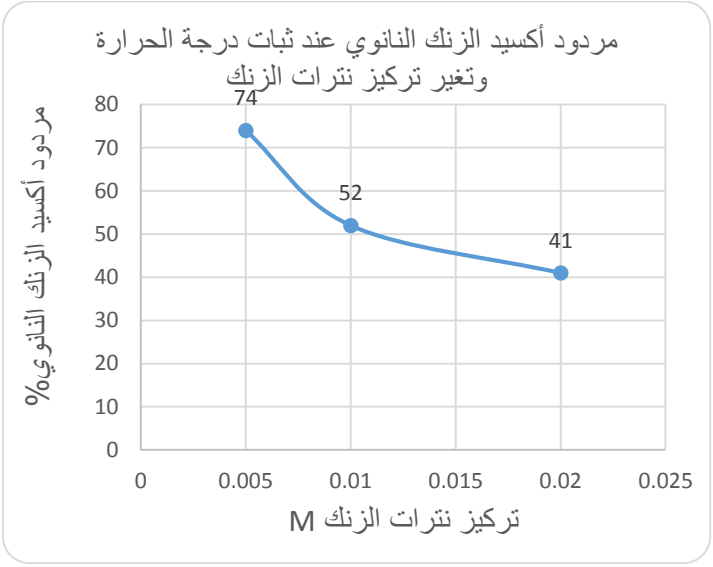
العلاقة بين المردود والشروط التجريبية

يبين الجدول (2) مردود جسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر عند مختلف الشروط التجريبية :

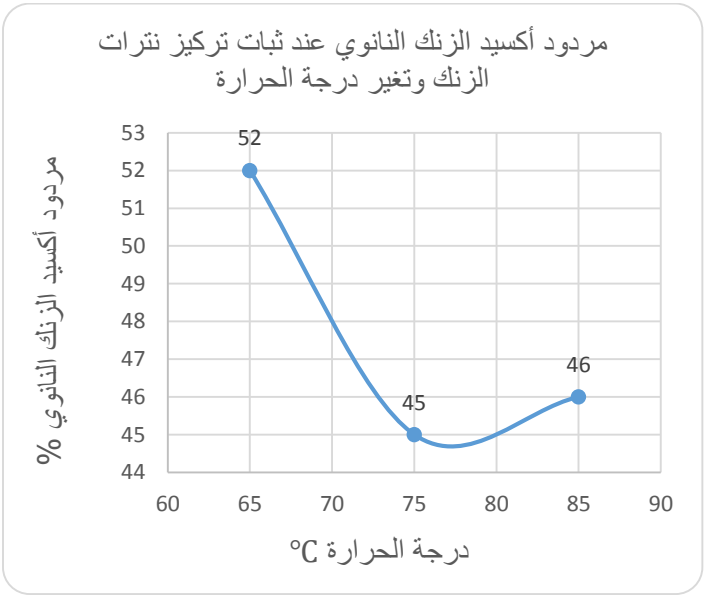
الجدول (2) : مردود جسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً وكيميائياً

رقم العينة	تركيز نترات الزنك المائية M	درجة الحرارة□	المردود%
1 (حيوي)	0.005	□65	74
2 (حيوي)	0.01	□65	52
3 (حيوي)	0.02	□65	41
4 (حيوي)	0.01	□75	45
5 (حيوي)	0.01	□85	46
كيميائي	0.01	درجة حرارة المخبر	25

يبين المخطط (1) انخفاض المردود بزيادة تركيز نترات الزنك ، ويعزى ذلك إلى إشباع المحلول بنترات الزنك وعدم اكتمال الترسيب .كما يوضح المخطط (2) تأثير درجة الحرارة في المردود ، حيث لوحظ تحسن نسبي عند درجات الحرارة المرتفعة □ 85 ، يُعزى ذلك إلى تأثير درجة الحرارة في سرعة التفاعل والترسيب.



المخطط (1) : العلاقة بين مردود جسيمات أكسيد الزنك النانوي وتركيز نترات الزنك.



المخطط (2) : العلاقة بين مردود جسيمات أكسيد الزنك النانوي و درجة الحرارة

5-النتائج والمناقشة:

5-1 الكشف الكيفي عن المركبات الفعالة في مستخلص قشور الرمان

أُجريت اختبارات الكشف الكيفي عن بعض المركبات الثانوية الفعالة في المستخلص المائي لقشور الرمان ، والتي تلعب دوراً مهماً كعوامل اختزال وتثبيت خلال عملية التخليق الحيوي.

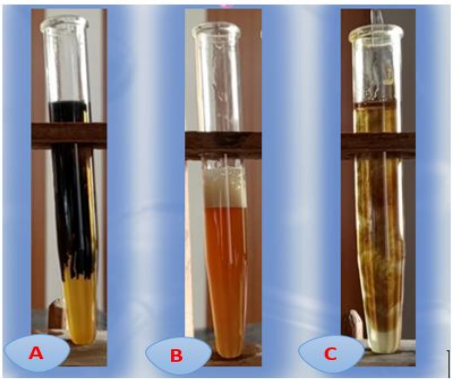
A. الكشف عن الفينولات: تمت إضافة محلول كلوريد الحديد بتركيز 5% إلى عينة من المستخلص ، لوحظ تشكل لون داكن مائل للأسود مما يدل على وجود المركبات الفينولية القادرة على اختزال أيونات الزنك.[10]

B. الكشف عن الصابونينات (اختبار الرغوة): عند رج المستخلص المائي مع الماء تشكلت رغوة ثابتة استمرت لمدة تقارب، نصف ساعة، وهي نتيجة إيجابية تشير إلى وجود الصابونينات.[11]

C. الكشف عن الفلافونويدات : عند إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه 5% إلى المستخلص ، لُوحظ ظهور لون برتقالي ، مما يؤكد وجود الفلافونيدات ذات الفعالية الاختزالية.[12]

تشير هذه النتائج إلى غنى مستخلص قشور الرمان بالمركبات النباتية الفعالة ، مما يفسر كفاءته العالية في التخليق الحيوي لجسيمات أكسيد الزنك النانوي .

ويوضح الشكل (3) اختبارات الكشف الكيفي عن المركبات الفعالة في مستخلص قشور الرمان .



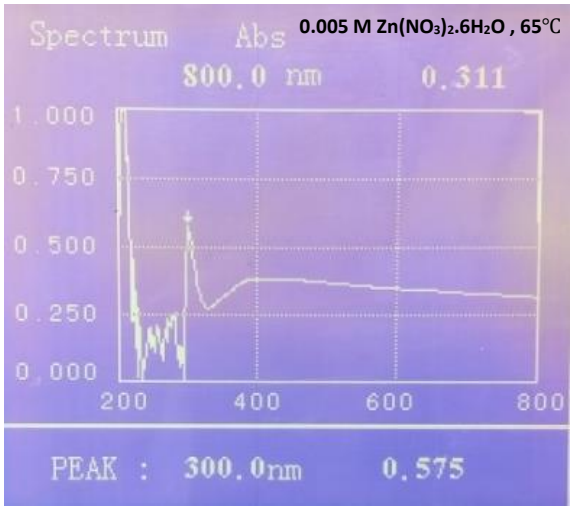
الشكل (3): اختبارات الكشف الكيفي عن المركبات الفعالة في مستخلص قشور الرمان

A: الكشف عن الفينولات ، B: الكشف عن الصابونينات ، C: الكشف عن الفلافونيدات

2-5 نتائج مطيافية الاشعة المرئية – فوق البنفسجية (UV-vis):

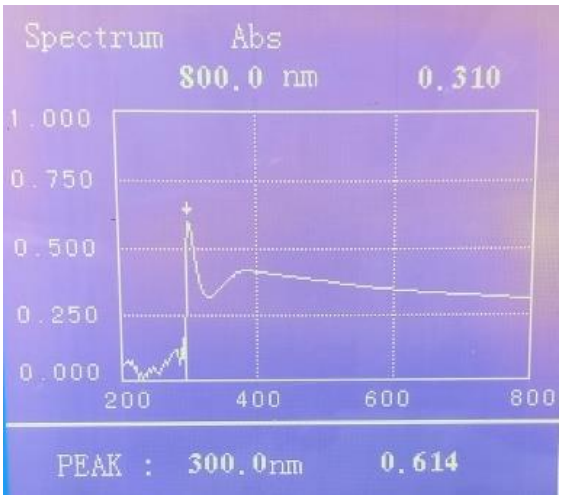
سُجلت أطياف الامتصاص لجسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً وكيميائياً باستخدام مذيب ثنائي متيل سلفوكسيد(DMSO) ، وذلك بهدف التأكد من تشكل الجسيمات النانوية .

توضح الأشكال (4 و 5 و 6) تأثير التركيز على طيف الامتصاص في منطقتي الاشعة فوق البنفسجية –المرئية (UV–vis) لجسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً للعينات (1 و2 و 3) ، والأشكال (7 و 8) تأثير درجة الحرارة على طيف الامتصاص في منطقتي الاشعة فوق البنفسجية –المرئية (UV–vis) لجسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً للعينات (5 و 6). كما يوضح الشكل (9) طيف الامتصاص في منطقتي الاشعة فوق البنفسجية –المرئية (UV-vis) لجسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر كيميائياً .

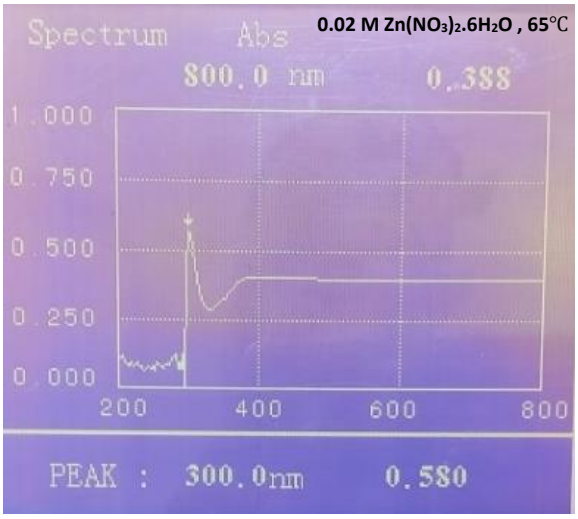


الشكل (4): طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي العينة (1)

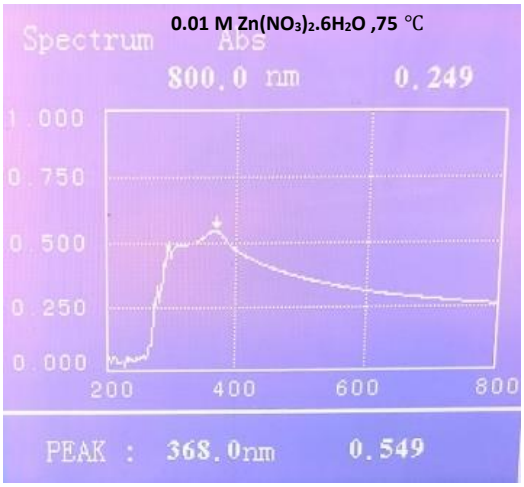
0.01 M $Zn(NO_3)_2.6H_2O$, 65℃



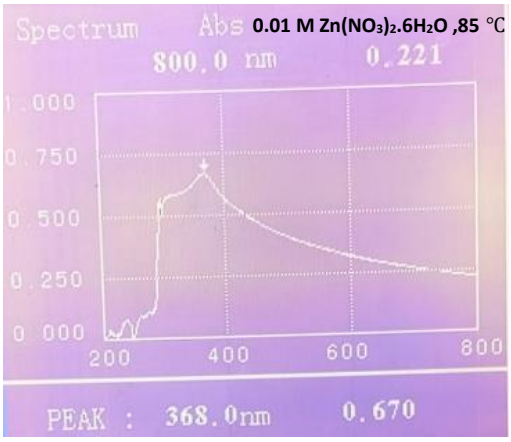
الشكل (5): طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي العينة (2)



الشكل (6): طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي العينة (3)



الشكل (7): طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي العينة (5)



الشكل (8): طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي العينة (6)

أظهرت أطياف العينات المحضرة حيوياً قمم امتصاص مميزة في المجال من(300–370 nm)

وهي قمم تتوافق مع القيم المرجعية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي ، مما يدل على نجاح عملية التخليق الحيوي .[13] [14]

ونشاهد على الشكل (9) طيف الامتصاص في منطقتي الاشعة فوق البنفسجية –المرئية (UV–vis) للجسيمات النانوية المحضرة كيميائياً عند طول موجة 300nm .

الشكل (9): طيف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر كيميائياً

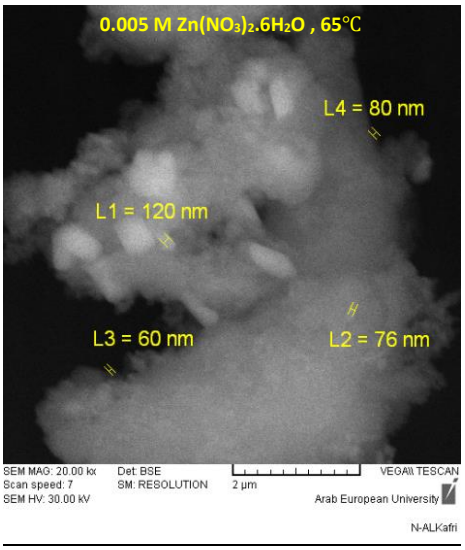
يعزى الاختلاف في مواضع قمم الامتصاص إلى اختلاف أبعاد الجسيمات النانوية ، حيث يؤثر حجم الجسيم بشكل مباشر في سلوك الامتصاص الطيفي نتيجة ظاهرة التأثير الكمي.[1]

3-5 نتائج المجهر الالكتروني الماسح (SEM):

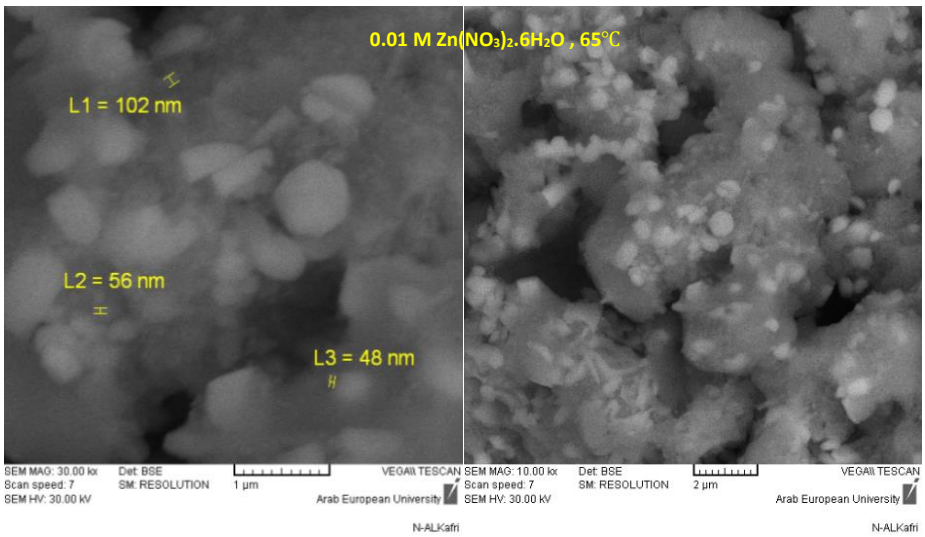
بهدف الحصول على صور مجهرية لجسيمات أكسيد الزنك المحضر والتحقق من تجانس المادة، حيث يتم قياس ومطابقة الأبعاد النانوية لجسيمات أكسيد الزنك المُحضّرة، وذلك بوضع قطرة من المعلق على شبكة نحاسية مغطاة بالكربون وتركت حتى تجف تماماً، ثم فحصت بالمجهر الالكتروني الماسح.

أظهرت صور SEM للجسيمات المحضرة حيوياً الأشكال (10 و 11 و 12) عند تراكيز مختلفة من نترات الزنك أن الجسيمات ذات شكل كروي تقريباً مع وجود تكتل بسيط ، و لُوحظ أن التركيز 0.01 M أعطى جسيمات أصغر و أكثر تجانساً مقارنة بالتراكيز المنخفضة أو المرتفعة . يُعزى ذلك إلى أن التراكيز العالية تؤدي إلى إشباع وسط التفاعل من نترات الزنك ، مما

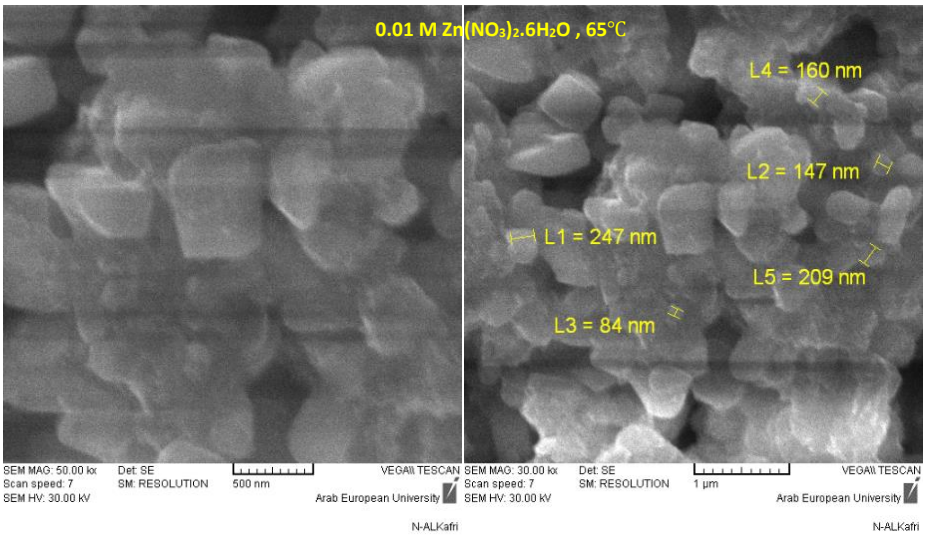
يخل التوازن بين تشكل النوى ومعدل تطورها ، الأمر الذي يعزز التكتل ويؤدي إلى تكون جسيمات نانوية أكبر وأقل تجانساً.



الشكل (10): صورة المجهر الماسح الالكتروني لسطح أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً (60−120nm)



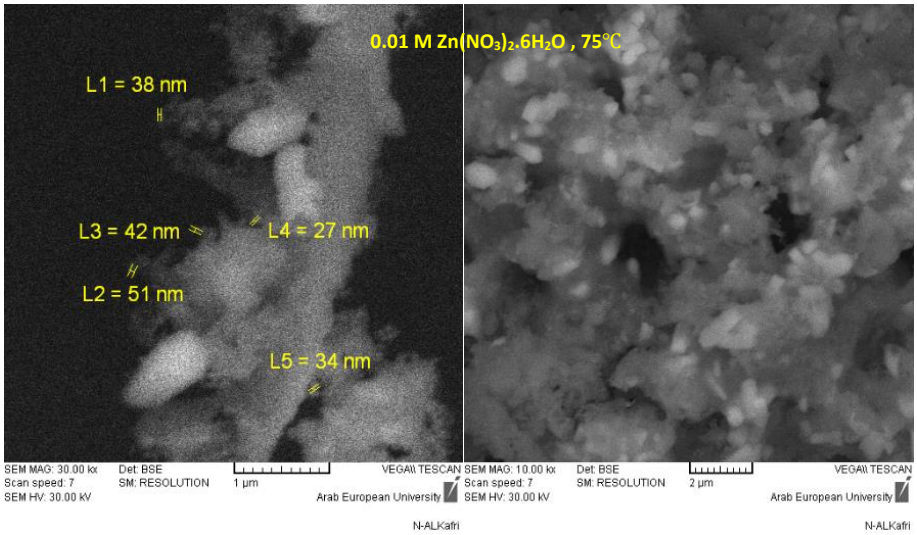
الشكل (11): صورة المجهر الماسح الالكتروني لسطح أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً (48−102nm)



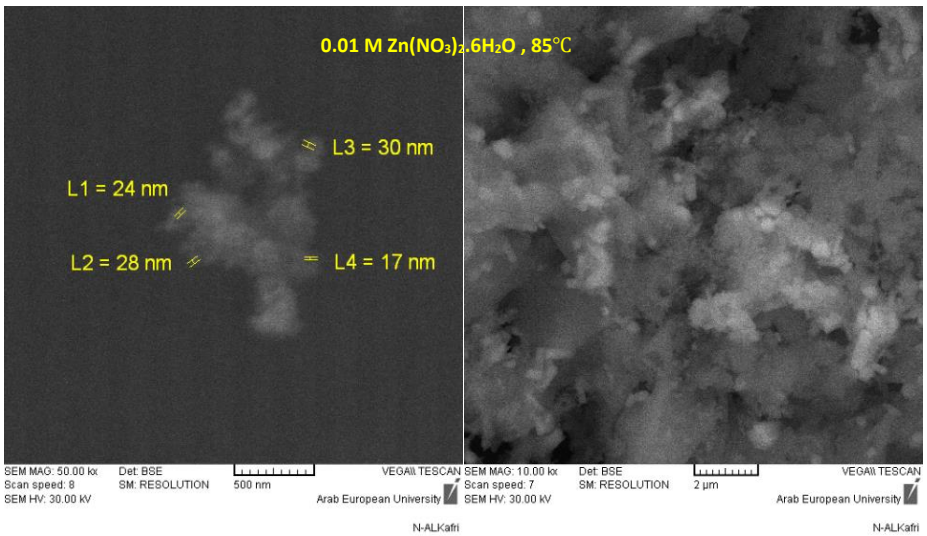
الشكل (12): صورة المجهر الماسح الالكتروني لسطح أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً (84-247nm)

أظهرت صور SEM للجسيمات المحضرة حيوياً الأشكال _(13 و 14) عند ثبات تركيز نترات الزنك 0.01 M وزيادة درجة الحرارة من 65 إلى 85 انخفاضاً ملحوظاً في أبعاد الجسيمات النانوية ، حيث أدت درجة الحرارة الأعلى إلى زيادة سرعة التفاعل ومعدل الترسيب . تشير هذه النتائج إلى أن درجة الحرارة عامل حاسم في التحكم بأبعاد الجسيمات النانوية .

بينما الزيادة في درجة الحرارة فوق 85 تؤدي إلى تحلل المركبات الفعالة المسؤولة عن اختزال و استقرار الجسيمات ، وكذلك انخفاض المردود ،مما يسبب تكتل الجسيمات وتطورها .[15].

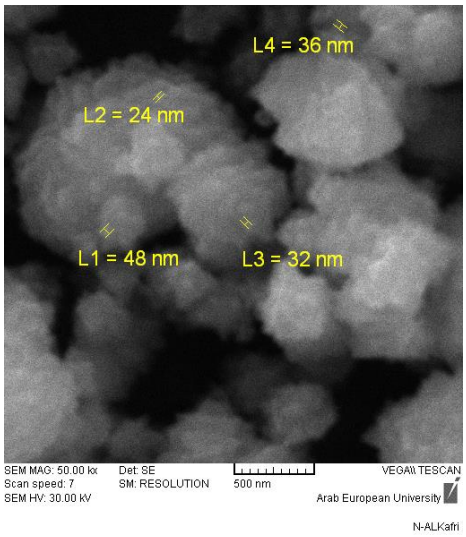


الشكل (13): صورة المجهر الماسح الالكتروني لسطح أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً (27–51nm)



الشكل (14): صورة المجهر الماسح الالكتروني لسطح أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً (17–30nm)

أظهرت صور SEM أن الجسيمات المحضرة حيوياً كانت أصغر حجماً وأكثر انتظاماً مقارنة بالجسيمات المحضرة كيميائياً الشكل (15)، حيث تراوحت أبعاد الجسيمات الحيوية بين (17–30nm) ، في حين تراوحت أبعاد الجسيمات الكيميائية بين (24 - 48 nm) .يُعزى ذلك إلى وجود غلاف عضوي ناتج عن المركبات النباتية في التخليق الحيوي ، والذي يحد من تكتل الجسيمات ويزيد من استقرارها.[7]



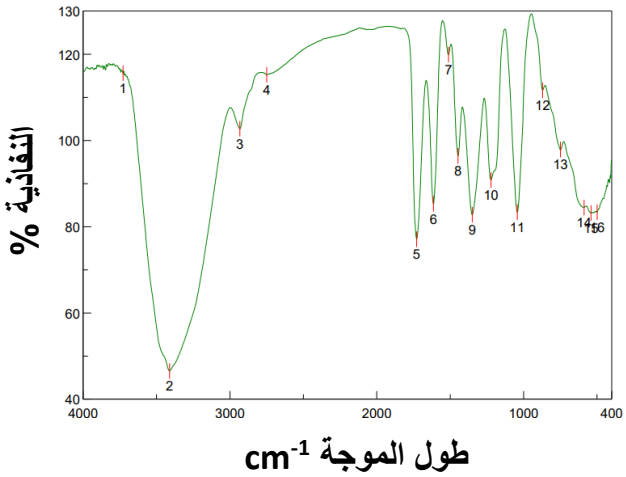
الشكل (15): صورة المجهر الماسح الالكتروني لسطح أكسيد الزنك النانوي المحضر كيميائياً (24 - 48 nm)

4-5 نتائج مطيافية الاشعة تحت الحمراء (FT-IR) :

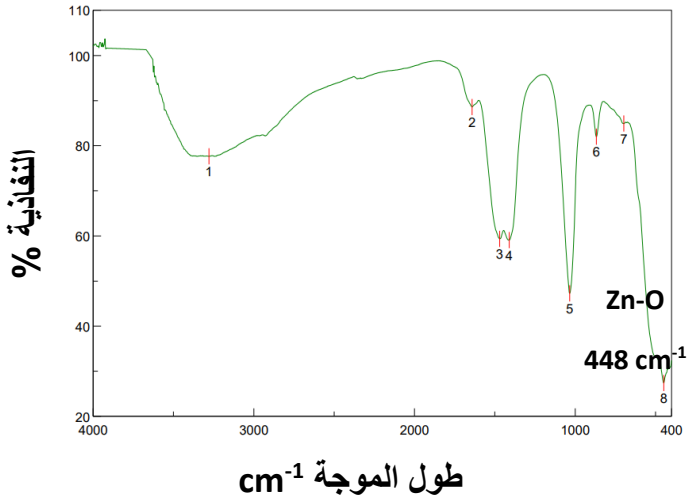
تم اجراء مسح طيفي باستخدام جهاز الاشعة تحت الحمراء لمستخلص قشور الرمان و جسيمات أكسيد الزنك النانوي حيوياً و كيميائياً ضمن المجال $600 - 4000 cm^{-1}$.

أظهرت أطياف (FT-IR) لمستخلص قشور الرمان الشكل (16) نطاقات امتصاص عريضة في المجال ($3200–3600\ cm^{-1}$) تعود إلى اهتزازات مجموعات الهيدروكسيل ، مما يدل على غنى المستخلص بالمركبات الفينولية والتانينات القادرة على لعب دور مزدوج كعوامل اختزال وتثبيت . كما أظهرت أطياف جسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً وكيميائياً الأشكال (17 و18) على التوالي نطاق امتصاص واضح في المجال

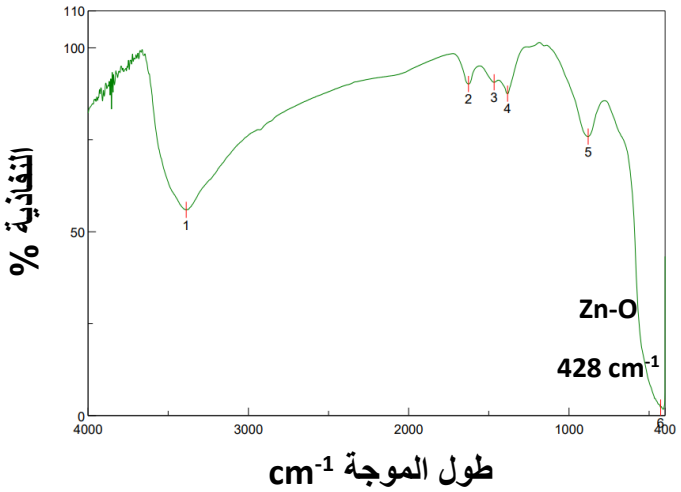
($400–500\ cm^{-1}$) ينسب إلى اهتزاز رابطة Zn–O ، مما يؤكد تكون جسيمات أكسيد الزنك النانوي. ويلاحظ أن التخليق الحيوي يتميز بوجود غلاف عضوي على سطح الجسيمات، مما يمنحها استقراراً أعلى وخصائص سطحية محسنة ، في المقابل يتميز التحضير الكيميائي بإنتاج جسيمات أكثر نقاوة من الناحية السطحية لكنه يفتقر إلى عوامل التثبيت الحيوية الصديقة للبيئة التي تمنع تكتله وبالتالي يكون أقل استقرارً.



الشكل (16): طيف الأشعة تحت الحمراء لمستخلص قشور الرمان



الشكل (17): طيف الأشعة تحت الحمراء لأكسيد الزنك النانوي المحضر حيوياً



الشكل (18): طيف الأشعة تحت الحمراء لأكسيد الزنك النانوي المحضر كيميائياً

7- الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

من خلال النتائج التجريبية والتحاليل الطيفية والمورفولوجية التي أجريت في هذا البحث يُمكن التوصل للاستنتاجات التالية :

1- تم تحضير جسيمات أكسيد الزنك الحيوي والكيميائي النانوي بنجاح و إثبات تشكل الجسيمات النانوية في كلتا الطريقتين .

2- أظهرت نتائج مطيافية UV-Vis وجود قمم امتصاص مميزة في المجال

(300-370 nm)، مما يؤكد تشكل جسيمات أكسيد الزنك النانوية.

3- بينت صور المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن الجسيمات المحضرة حيوياً تمتلك:

- ✓ أبعاداً أصغر
- ✓ شكلاً كروياً أكثر انتظاماً
- ✓ تكتلاً أقل مقارنة بالجسيمات المحضرة بالطريقة الكيميائية .

4- تراوحت أبعاد الجسيمات النانوية المحضرة حيوياً بين(17-30nm) ، في حين تراوحت أبعاد الجسيمات المحضرة كيميائياً بين(24 - 48 nm) .

5- لوحظ أن تركيز نترات الزنك (0.01 M) ودرجة الحرارة المرتفعة 85 □ يحققان توازناً مناسباً بين عدد النوى المتشكلة ونمو الجسيمات ، مما يؤدي إلى تحسين الخصائص النانوية .

6- من حيث المردود . حققت الطريقة الحيوية مردوداً أعلى(52 %) مقارنة بالطريقة الكيميائية (25%) عند استخدام التركيز نفسه من نترات الزنك .

7- أظهرت نتائج FT-IR وجود نطاقات امتصاص تعود إلى رابطة Zn-O ، مما يؤكد تشكل أكسيد الزنك النانوي ، إضافة إلى وجود مجموعات وظيفية عضوية في العينات المحضرة حيوياً ، ساهمت في استقرار الجسيمات .

التوصيات

استناداً إلى نتائج البحث ، يوصى بما يلي :

1- توسيع الدراسة لاستخدام مستخلصات نباتية أخرى ومقارنة كفاءتها في التخليق الحيوي لجسيمات أكسيد الزنك النانوي .

2- دراسة تأثير عوامل إضافية قد تؤثر على أبعاد الجسيمات مثل : $\bar{t}$, pH , ω , و نوع المذيب.

3- إجراء اختبارات تطبيقية لجسيمات أكسيد الزنك النانوي المحضرة حيوياً في مجالات :

- المعالجة البيئية
- التطبيقات الطبية والصيدلانية.

4- استخدام تقنيات توصيف إضافية مثل حيود الأشعة السينية (XRD) والمجهر الإلكتروني النافذ(TEM) للحصول على معلومات أدق حول البنية البلورية والحجم الحقيقي للجسيمات النانوية.

5- تشجيع اعتماد التخليق الحيوي في الأبحاث المستقبلية كونه طريقة مستدامة واقتصادية ومتوافقة مع مبادئ هندسة العمليات الخضراء .

المراجع

1. Sepideh, K.B., Kamyar, Sh., Dayang, R., Binti, A.B. & Zurina ,Z.A. (2014) . Stirring Time Effect of Silver Nanoparticles Prepared in Glutathione Mediated by Green Method . Chemistry Central Journal , .8, p.11.

2. Singh, P., Kim Y.-J., Zhang, D. & Yang, D.-C. (2016) .Biological synthesis of nanoparticals from plants and microorganisms. Trends in biotechnology ,34,pp. 588-599 .

3. Abdelmigid, H. M., Hussien, N. A., Alyamani, A. A. Morsi , M.M., AlSufyani, N. M. & Kadi, H. A.2022. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Pomegranate Fruit Peel and Solid Coffee Grounds vs. Chemical Method of Synthesis, with Their Biocompatibility and Antibacterial Properties Investigation. Mcules, 27,p.1236.
4. NADAROĞLU, .H., GÜNGÖR ,A .A. & ince, S .(2017). Synthesis of Nanoparticles by Green Synthesis Method. International Journal of Innovative Research and Reviews .1(1),pp. 6-9 .
5. Husain, W. M. & Araak, J. K. (2019). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from (Punica granatum L) Pomegranate Aqueous Peel Extract. The Iraqi Journal of Veterinary Medicine, 43 (2),pp. 6-16 **.**
6. Sreekumar, S. Sithul, H., Muraleedharan, P . Azeez, J . M. & Sreeharshan , S .(2014).Pomegranate Fruit as a Rich Source of Biologically Active Compounds . BioMed Research International . Article ID 686921, 12 pages .

7. حميد ،أشواق طالب ، فرحان ، حماد نواف ، تركي ،أحمد محمد.2009 .الفعالية التثبيطية لمستخلصات قشور الرمان Punica granatum تجاه البكتريا المرضية المعزولة من الأمعاء والمعدة في الإنسان . مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة . ، 3 (2)، :ص. 52-56 .
8. السلطاني، حسين صبحي علوان. 2021. تخليق وتشخيص مكونة نانوية من الفضة و أكسيد الزنك ودراسة تطبيقاتها الدوائية. جامعة كربلاء. العراق.
9. Abdulsattar, M.A. 2015. Capped ZnO (3, 0) nanotubes as building blocks of bare and H passivated wurtzite ZnO nanocrystals. Superlattices and Microstructures. 85, pp.:813-819.

10. Ikigai, H., Nakae, T., Hara, Y., & Shimamura, T. (1993). Bactericidal catechins damage the lipid bilayer. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes, 1147(1), pp.132-136.
11. Parekh J, Karathia N, Chanda S (2006). Screening of some traditionally used medicinal plants for potential antibacterial activity. Indian J.Pharm. Sci. 68(6),pp.832-834.
12. El Hazimi, H . (1995). Les produits Naturelles . Universite du Roi Saoud , Djada .
13. Narendra Kumar , H.K. Chandra Mohana , N. Nuthan. B.R. Ramesha , K.P. Rakshith, D. (2019). Phyto mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous plant extract of Ocimum americanum and evaluation of its bioactivity. SN Applied Scinces A SPRINGER NATURE journal . 1,p.651 .
14. Dulta, K . , Agceli , G K . , Chauhan , P. , Jasrotia , R. , & Chauhan , P.K. (2020) . Ecofriendly Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Carica papaya Leaf Extract and Their Applications . Journal of Cluster Science , Article173229 .
15. Mutukwa, D., Taziwa, R., & Khostseng, L.E. , (2022). A review of the Green Synthesis of ZnO Nanoparticles Utilising Southern African Indigenous Medicinal Plants. Nanomaterials ,12(19),3456.

دراسة فعالية الفحم المنشط المصنّع من كوز الذرة في تخفيض تركيز الرصاص والمنغنيز من المياه الصناعية (منصرفات معمل الدهانات)

د.م. فاطمة التركي

الملخص

تم في هذا البحث تصنيع فحم منشط عالي الأداء من كوز الذرة، بهدف استخدامه في معالجة مياه الصرف الصناعي الناتجة عن أحد معامل الدهانات، وتخفيض تراكيز الرصاص والمنغنيز فيها. حيث تم تصنيع الفحم وتحديد بعض خصائصه ومقارنتها بخصائص الفحم التجاري المنشط المأخوذ من السوق للمقارنة، وبينت القياسات أن كثافة فحم كوز الذرة أخفض من كثافة الفحم التجاري بنسبة 3.65% وأن رقم اليود في النوع الأول أكبر منه في النوع الثاني بنسبة 2.23%، وكانت نسبة الرماد في النوع الأول أخفض من نسبته في النوع الثاني بنسبة 11.53%، وكانت قدرة تحمل النوع الأول للضغط أقل من قدرة تحمل النوع الثاني بنسبة 16.66%، من ثم تم تقيّم قدرة كلا النوعين من الفحم المنشط على إزالة كل من الرصاص والمنغنيز من المنصرفات الناتجة من معمل الدهانات، حيث خفّض فحم كوز الذرة تركيز الرصاص والمنغنيز بنسبة 96.58% و 84.24% على الترتيب، بينما خفّض الفحم التجاري المنشط هاذين العنصرين بنسبة 98.29% و 85.87% بنفس الترتيب، وأظهرت النتائج أن أفضل كمية فحم منشط قادرة على تخفيض تركيز الرصاص والمنغنيز بشكل اقتصادي هي 2 g لكل 500ml من المياه المدروسة المراد معالجتها.

في المحصلة وجِد أن الفحم المنشط المصنّع من كوز الذرة يقترب من خواصه بشكل كبير من الفحم المنشط التجاري مما يجعله بديلاً مستداماً وفعالاً من حيث التكلفة لأنظمة معالجة المياه التقليدية.

الكلمات المفتاحية: كوز الذرة، الفحم المنشط، الرصاص، المنغنيز.

Studying the effectiveness of activated carbon made from corncobs in reducing the concentration of lead and manganese from industrial water (paint factory wastewater).

Dr. Fatima Alturki

Abstract

This research involved the manufacturing of a high-performance activated carbon from corn cob waste, intended for use in treating industrial wastewater from a paint factory and reducing the concentrations of lead and manganese. The carbon was produced, and some of its properties were characterized and compared with those of a commercial activated carbon procured from the market for benchmarking. The measurements revealed that the density of the corn cob carbon was 3.65% lower than that of the commercial carbon, while its iodine number was 2.23% higher. The ash content in the corn cob carbon was 11.53% lower than in the commercial type. However, the compressive strength of the former was 16.66% lower than that of the latter.

Subsequently, the capacity of both activated carbon types to remove lead and manganese from the paint factory effluent was evaluated. The corn cob carbon reduced the concentrations of lead and manganese by 96.58% and 84.24%, respectively. In comparison, the commercial activated carbon reduced these elements by 98.29% and 85.87%, in the same order. The results indicated that the optimal dose of activated carbon for the cost-effective reduction of lead and manganese concentration was 2 g per 500 ml of the studied wastewater intended for treatment.

In conclusion, it was found that the activated carbon produced from corn cob closely approximates the properties of commercial activated carbon, positioning it as a sustainable and cost-effective alternative to conventional water treatment systems.

Key Words: Corn cob charcoal, activated carbon, lead and manganese removal

1. مقدمة:

مع التطور الصناعي المتسارع، يتزايد القلق حول تلوث المياه الناتج عن مياه الصرف الصناعي، حيث تحتوي هذه المياه على مجموعة واسعة من الملوثات، تتصدرها الملوثات الكيميائية والعناصر الثقيلة، فتشكل هذه المواد تهديداً خطيراً لجودة المياه وتؤثر سلباً على النظم البيئية المائية وصحة الإنسان. إن المواد الكيميائية والعناصر الثقيلة التي تشمل عناصر كيميائية سامة مركبات عضوية منحلة تؤدي إلى جعل المياه ذات طبيعة سمية وغير صالحة لأي استخدام في شتى المجالات.

لذا فإن إيجاد حلول فعالة ومستدامة لإزالة هذه الملوثات يعد أمراً حيوياً للحفاظ على الموارد المائية وتحقيق التنمية المستدامة.

يُمثل الامتزاز (Adsorption) أحد الأساليب التكنولوجية البارزة والأكثر انتشاراً في مجال معالجة وتنقية المياه، وذلك لما يتسم به من كفاءة عالية، وسهولة في التطبيق. وتقوم آلية هذه التقنية على تراكم المواد الملوثة (المُمتَزَة) على السطح الخارجي والداخلي للمادة المازة (المُمتِزة)، نتيجة تفاعلات فيزيائية (كالترابط بقوى فان دير فالس) أو كيميائية (كتفاعلات التبادل الأيوني). ويحظى الفحم المنشط (Activated Carbon) بمكانة محورية بين المواد المازة، نظراً لامتلاكه مساحة سطحية فائقة الاتساع، ونسبة مسامية عالية، وتنوع في الأشكال (كالمسحوق والحبيبات والألياف)، إضافة إلى قدرته على امتزاز مجموعة واسعة من الملوثات.

وعلى الرغم من تعدد المواد الخام المستخدمة في إنتاج الفحم المنشط لأغراض معالجة المياه، إلا أن الاعتماد على المصادر التقليدية يواجه تحديات بيئية واقتصادية، كالانبعاثات الكربونية وارتفاع التكاليف. وقد دفع ذلك الأوساط العلمية إلى التوجه نحو استكشاف مواد خام بديلة، تكون متجددة ومنخفضة التكلفة، وعادةً ما تكون نواتج ثانوية لعمليات زراعية أو صناعية. بهذا النهج يُحقّق مبدأ الاقتصاد الدائري فائدتين أساسيتين: تخفيض تكلفة إنتاج الفحم المنشط، والإدارة المستدامة للنفايات عبر

تحويلها إلى منتجات ذات قيمة مضافة. ومن بين هذه المواد الواعدة، يبرز كوز الذرة كموضوع البحث الحالي.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث في معالجة مشكلة التخلص من مخلفات كوز الذرة، التي تُعد من النفايات الزراعية الوفيرة، وتحويلها إلى مادة ذات قيمة مضافة عالية: الفحم المنشط. ويمثل هذا النهج حلاً مستداماً وصديقاً للبيئة ويقلل من الاعتماد على مصادر الوقود الاحفوري في إنتاج مواد المعالجة، ويوفر بديلاً اقتصادياً للفحم المنشط التجاري الذي غالباً ما يكون مكلفاً. كما أن استخدام الفحم المنشط المشتق من مصادر متجددة في معالجة مياه الصرف الصناعي يساهم بشكل مباشر في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

أهداف البحث:

1- تصنيع فحم منشط من مخلفات كوز الذرة باستخدام مواد كيميائية.

2- توصيف بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للفحم المنشط الناتج.

3- تقييم كفاءة الامتزاز للفحم المنشط المصنّع في إزالة الرصاص والمنغنيز من المنصرفات الناتجة من أحد معامل تصنيع الدهانات، ومقارنتها بكفاءة إزالة الفحم التجاري للرصاص والمنغنيز من ذات المياه.

4- تحديد الظروف المثلى لعملية الامتزاز من حيث كمية الفحم المنشط.

3. الدراسات المرجعية:

شهدت السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً بتطوير الفحم المنشط من الكتلة الحيوية لمعالجة المياه، حيث أكدت العديد من الدراسات على الإمكانات الواعدة لكوز الذرة كمادة خام لهذا الغرض. على سبيل المثال، أظهرت دراسة تانج ورفاقه في عام 2016 فعالية الفحم المنشط من كوز الذرة في إزالة أيونات الكروم سداسية التكافؤ بعد التفحيم عند درجة حرارة 600 C° وتنشيط بحمض الفوسفوريك، مما يبرز قدرته على امتزاز المعادن الثقيلة [1].

أكدت دراسة لاحقة أجراها دوكزيكالسكا في عام 2022 على فعالية استخدام هيدوكسيد البوتاسيوم KOH كعامل تنشيط قوي لكوز الذرة، مما ينتج عنه فحم منشط بخصائص مسامية ممتازة [2].

في سياق دراسة تحسين الفحم المنشط المنتج من كوز الذرة، استعرض جيانك ورفاقه في عام 2023 في دراسة استخدام بعض المنهجيات لتحسين نوعية الفحم المنشط من خلال تحسين السطح، مما يساعد في تحديد الظروف المثلى للتصنيع بكفاءة أعلى [3].

كشفت بعض الدراسات مثل دراسة غارسيا ورفاقه التي جرت في العام 2024 عن استخدامات متنوعة للفحم المنشط المشتق من كوز الذرة، بما في ذلك تطبيقاته في الأقطاب الكهربائية للمكثفات الفائقة وامتصاص الزئبق، مما يدل على مرونته وخصائصه الوظيفية المتعددة [4].

إن الدراسات المرجعية التي ذُكرت تدعم بقوة استخدام كوز الذرة كخيار مستدام وفعال في إنتاج الفحم المنشط لمعالجة مياه الصرف الصناعي.

4. طرائق البحث:

هدف هذا القسم إلى توضيح الخطوات التفصيلية والمواد المستخدمة في تصنيع الفحم المنشط من كوز الذرة، بالإضافة إلى منهجية تقييم أدائه في معالجة مياه الصرف الصناعي. تم تصميم هذه الطرق لضمان قابلية التكرار والكفاءة.

1.4. المواد والأجهزة المستخدمة:

المواد الأولية:

1- كوز الذرة: تم الحصول عليه من مصادر زراعية محلية، حيث يتم الاستفادة من الذرة سواء في صناعة الزيوت أو المواد الغذائية المعلبة، وتم غسله جيداً وتجفيفه ثم طحنه إلى حجم جسيمات مناسب. تم استخدام كمية كافية من كوز الذرة المجفف في المراحل الأولية.

2- هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH): بتركيز 85% كعامل تنشيط كيميائي.

3- حمض كلور الماء (HCl): لضبط درجة الحموضة والغسيل.

4- نشاء الذرة: بنسبة 10% كعامل ربط لتشكيل الحبيبات.

5- مياه صرف صناعي: تم جمع عينات من مياه منصرفات أحد مصانع الدهانات.

6- ماء مقطر: لأغراض الغسيل والتحضير.

7- غاز النيتروجين: عالي النقاء، لتوفير جو خامل أثناء الكربنة والتنشيط.

الأجهزة المستخدمة:

1- فرن كهربائي مزود بمدخل ضخ غاز نيتروجين: من أجل استخدامه في عملية الكربنة، ويمكن التحكم في درجات حرارة الكربنة والتنشيط (حتى 800 C°).

2- مجفف مزود بمروحة: لتجفيف العينات في مراحل تصنيع العينات.

3- مطحنة: لطحن كوز الذرة والمواد الصلبة.

4- ميزان دقيق: لقياس كميات المواد.

5- جهاز قياس درجة الحموضة (pH meter): لتحديد وضبط درجة الحموضة.

6- خلية ترشيح: لفصل الفحم عن السائل بعد عملية الامتزاز.

8- مفاعل اهتزازي: لضمان التجانس أثناء تجارب الامتزاز.

9- جهاز امتصاص ذري: لقياس تركيز العناصر الثقيلة في المياه.

10- جهاز اختبار الضغط: وذلك لتحديد قوة كسر الفحم المنشط، واجهاد الكسر نتيجة الضغط.

2.4. طريقة تصنيع الفحم المنشط:

تعتمد عملية التصنيع على عدة خطوات رئيسية وفيما سيتم شرح المراحل التي تمت خلالها صناعة الفحم المنشط:

1- التحضير الأولي لكوز الذرة:

تم غسل كوز الذرة جيداً بالماء المقطر لإزالة الشوائب والأتربة العالقة، من ثم تجفف الأكواز في الفرن عند درجة حرارة 60 C° لمدة 24 ساعة حتى الوصول إلى وزن ثابت، تم بعد ذلك تقطيع الأكواز إلى قطع صغيرة تتراوح أبعادها ما بين 1-2 cm لتسهيل عملية الكربنة.

يوضح الشكل (1) تقطيع أكواز الذرة بعد غسيله وتجفيفه.

يوضح الشكل (1) عملية تقطيع أكواز الذرة.

2- الكربنة (لإنتاج الفحم الأولي):

تم وضع كمية من أكواز الذرة التي تم تحضيرها في الخطوة السابقة (مجففة ومقطعة) في فرن معزول عن الهواء (تحت جو من غاز النيتروجين يتم تدفقه بمعدل ثابت)، وتم تشغيل الفرن ورفع درجة حرارته بشكل تدريجي إلى 600 C° لمدة زمنية كافية لعملية تفحيم كامل الكمية الموضوعة بالفرن، تم بعد ذلك اخراج تلك الكمية من الفرن وتبريدها.

يوضح الشكل (2) عملية الكربنة باستخدام الفرن.

الشكل (2) عملية الكربنة باستخدام الفرن.

3- تشكيل حبيبات الفحم والتنشيط:

تم في هذه المرحلة طحن الفحم الذي تم إنتاجه في المرحلة السابقة باستخدام مطحنة ليصبح على شكل مسحوق فحمي، تم بعد ذلك إضافة نشاء الذرة كمادة رابطة بنسبة وزنية بلغت 10% والخلط بشكل جيد حتى تحقيق تجانس المسحوق، من ثم تم إضافة كمية مناسبة من هيدروكسيد البوتاسيوم بتركيز 85% للخليط كمادة تنشيط، وتم المزج بشكل جيد ولفترة زمنية جيدة تضمن الحصول على مادة عجينية متجانسة، تم بعد ذلك عملية ضغط وتحبيب للعجينة، وذلك للحصول على حبيبات متجانسة من حيث الشكل وشبيهة بحبيبات الفحم المنشط التجارية (عينات مقارنة مرجعية). تم بعد ذلك وضع حبيبات الفحم بالفرن مع وجود تيار من غاز النتروجين يتم ضخه بتدفق ثابت (من أجل عدم احتراق الفحم)، وتم رفع درجة حرارة الفرن بشكل تدريجي حتى تصل إلى 500 C° وتركه لمدة تزيد عن الساعة حتى تتم عملية التنشيط بشكل جيد، وينتج عن هذه العملية توليد مسام داخل بنية الحبيبات، بالإضافة لتشكيل تشققات داخلية مكروية ونانوية، حيث تعمل المسامات المتشكلة والتشققات الحاصلة على زيادة السطح الفعال ضمن حبيبات الفحم المنشط وبالتالي زيادة السطح الذي يعمل على الامتزاز. تم اخراج حبيبات الفحم المنشط وتبريدها.

يبين الشكل (3) مراحل عملية التحبيب والتنشيط.

الشكل (3) مراحل عملية التحبيب والتنشيط

4- غسيل وتجفيف الفحم المنشط:

بعد أن تم تبريد الفحم المنشط تم البدء بعملية غسله، حيث تم غسيله باستخدام حمض كلور الماء من ثم الماء المقطر عدة مرات مع القياس المتكرر للـ pH حتى تصبح قيمته 7 ، من ثم تم وضع الفحم المنشط الناتج في المجفف وتجفيفه عند درجة حرارة 105°C وذلك حتى ثبات الوزن.

3.4. توصيف الفحم المنشط الذي تمت صناعته:

بعد الانتهاء من عملية تصنيع الفحم المنشط تم اجراء عملية توصيف للفحم المنشط الذي تم صناعته وللفحم المنشط المرجعي الذي تم احضاره من السوق للمقارنة، حيث تم تحديد كثافته الظاهرية، ومساحة السطح (بطريقة رقم اليود)، وتحديد محتوى الرماد، وأخذ صورة للسطح باستخدام المجهر الالكتروني الماسح وذلك لتحديد المسامية السطحية،

1- تحديد الكثافة الظاهرية:

تم تحديد الكثافة الظاهرية لحبيبات الفحم المنشط التي تم صناعته بالاعتماد على معايير الجمعية الأمريكية لاختبار المواد وفقاً للمواصفة ASTM D2854-09(2025) ، الخاصة بتحديد الكثافة الظاهرية للفحم المنشط [5]، حيث تم قياس حجم عدد من حبيبات الفحم المنشط (كلٍ على حدى باستخدام بياكوليس رقمي)، من ثم وزن الحبيبات، وبقسمة وزن الحبيبات على حجمها تم تحديد الكثافة الظاهرية لكل حبيبة فحم منشط، حيث كانت الكثافة متقاربة جداً، فتم حساب المتوسط الحسابي لكثافات الحبيبات، وهو الذي تم اعتماده ككثافة ظاهرية للفحم المنشط، حيث بلغت قيمة الكثافة الظاهرية للفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة 585.185 kg/m3 ، بينما بلغت هذه القيمة للفحم المنشط المرجعي 607.41 kg/m3.

يظهر الشكل (4) وزن إحدى حبيبات الفحم المنشط الذي تم تصنيعها.

الشكل (4) وزن إحدى حبيبات الفحم المنشط الذي تم تصنيعها.

2- تحديد مساحة سطح الفحم المنشط عن طريق رقم اليود:

يعد رقم اليود من أهم معلمات جودة الفحم المنشط، لأنه يعطي مؤشراً على مسامية الفحم مساحة سطحه ومستوى تنشيطه، فكلما كان رقم اليود أكبر، كلما كانت مساحة سطحه أكبر، ويمكن التعبير عنه وتعريفه بأنه كمية اليود التي يمتزها غرام واحد من الفحم المنشط ويقدر بـ mg/g، وقد تم تحديد رقم اليود في هذا البحث بالاعتماد على المواصفة الأمريكية ASTM D4607. [6]

تم وزن كمية من الفحم المنشط الذي تم تصنيعه في البحث الحالي ووضعه في دورق، ووزن كمية مماثلة من الفحم المنشط المرجعي ووضعها في دورق آخر، من ثم تم إضافة محلول يود قياسي بتركيز معلوم وبكميات متساوية لكل من الدورقين اللذين يحويان الفحم المنشط، وتم رج كل من الدورقين بشكل جيد وتركهما فترة زمنية متساوية حتى يتسنى للفحم المنشط في كلا الدورقين امتزاز أكبر كمية من اليود، تم بعد ذلك ترشيح الخليط المتبقي لفصل الفحم عن المحلول المتبقي، وتم بعد ذلك معايرة اليود والمتبقي في الراشح باستخدام محلول من ثيوسلفات الصوديوم لتحديد كميته، وبناءً عليه تم حساب رقم اليود الذي امتزته كل عينة من عينات الفحم المنشط. بلغ رقم اليود في عينة الفحم المنشط التي تم تصنيعها من كوز الذرة 822 mg/g ، بينما بلغ رقم اليود في العينة التجارية المرجعية 804 mg/g ، وبذلك من خلال رقم اليوم يمكن تحديد أن مساحة سطح حبيبات الفحم المنشط في كلا النوعين من الفحم تتراوح ما بين 800 – 1000 m^2/g ، لكن يوجد تفوق نسبي للفحم المصنع من كوز الذرة على الفحم المنشط التجاري.

3- تحديد نسبة الرماد:

يساعد هذا الاختبار في تحديد جودة الكربون النشط، حيث يمكن أن تؤثر كمية وتركيبة الرماد على قدراته في التطبيقات المختلفة مثل تنقية الماء والهواء، فكلما قلت نسبة الرماد كلما كان الفحم المنشط أكثر جودة، والهدف من الاختبار قياس نسبة الرماد (الشوائب) في الكربون النشط عبر حرق العينة في درجات حرارة عالية.

تم تطبيق هذا الاجراء وفقاً لمواصفة الجمعية الأمريكية ASTM D2866-11 على الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة والفحم المنشط المرجعي. [7]

تم اجراء قياس نسبة الرماد كما يلي:

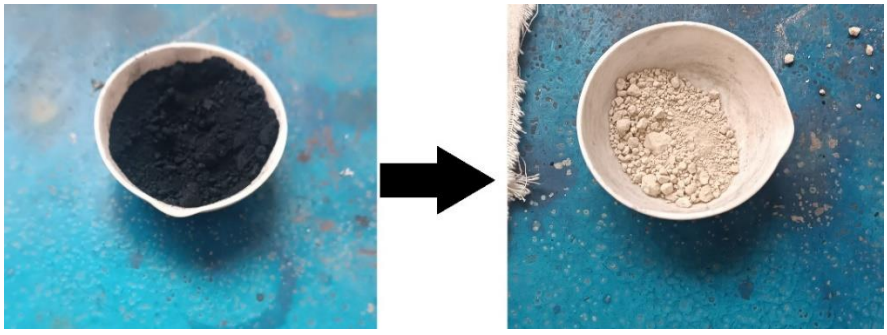
تم في البداية تجفيف كمية من فحم كوز الذرة والفحم المرجعي في فرن حتى ثبات وزنه، من ثم تم وزن كمية 5 g من الفحم المجفف من كل نوع ووضعه في بوتقة، وتم وضع البواتق في الفرن وتم رفع درجة حرارة الفرن إلى 800 C° مع تأمين هواء لضمان احتراق الفحم بشكل كامل، استمرت العملية اربع ساعات لضمان الاحتراق الكامل للعينات، تم بعد ذلك اخراج البواتق وتبريدها، وبعد التبريد تم وزن الرماد المتبقي في كل بوتقة، حيث بلغ وزن رماد فحم كوز الذرة 0.23 g بينما بلغ وزن رماد الفحم المرجعي 0.26 g .

تم تحديد نسبة الرماد من خلال العلاقة:

$$\text{نسبة الرماد}[\%] = \frac{W2}{W1} X100$$

حيث: W1: وزن العينة قبل الترميد، W2: وزن الرماد المتبقي.

بعد تطبيق العلاقة تم معرفة نسبة الرماد، حيث بلغت نسبة الرماد في الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة 4.6% بينما بلغت النسبة في الفحم المنشط المرجعي 5.2% ، وتعتبر هاتين النسبتين نسب جيدة وتعطي معياراً جيداً لجودة الفحم المنشط. الشكل (5) يبين الفحم قبل وبعد عملية الترميد.



الشكل (5) يبين الفحم قبل وبعد عملية الترميد.

4- اختبار صلادة (متانة) الفحم المنشط:

يعطي هذا الاختبار مؤشراً عن قوة وصلادة الفحم المنشط ومدى مقاومته للتكسير عند وضعه في أعمدة الامتزاز وتعرضه للضغط نتيجة الوزن أعلاه وأثناء عمليات نقله وتخزينه، تم تطبيق هذا الاختبار وفقاً للجمعية الأمريكية للمواصفات والمقاييس بالاعتماد على المواصفة القياسية ASTM D4179-22. [8]

تم تطبيق هذا الاختبار على مجموعة حبيبات من فحم كوز الذرة ومجموعة حبيبات الفحم المنشط المرجعية، فتم اختيار مجموعة من الحبيبات سليمة البنية ومنتظمة الشكل وخالية من العيوب من الفحم المراد اختباره، وتم وضع حبيبة فحم بين فكي جهاز الضغط المبين في الشكل (6) وتطبيق ضغط متزايد بسرعة بطيئة ثابتة حتى انكسار حبيبة الفحم، وتدوين القراءة عند انكسار الحبيبة، حيث يتم اخذ القراءة بالنيوتن.

تم تطبيق هذا الاختبار على عشرة عينات على كل نوع من أنواع الفحم المنشط المدروس، وقد كان متوسط ضغط الانكسار لعينة الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة 37.8 N واجهاد الانكسار لها ، بينما بلغ في الفحم المنشط المرجعي 44.1 N .

وبتطبيق علاقة حساب اجهاد الكسر:

$$\sigma = F/A$$

حيث: σ : اجهاد الانكسار بـ MPa ، F: القوة التي تنكسر عندها العينة بـ N

A: مساحة سطح العينة بـ m^2

بلغ متوسط اجهاد الكسر نتيجة الضغط في عينة فحم كوز الذرة 4.2 MPa ، بينما بلغت في عينة الفحم المنشط المرجعي 4.9 MPa ،

يبين الشكل (6) جهاز اختبار الضغط

يبين الجدول (1) بعض خصائص فحم كوز الذرة المنشط والفحم المرجعي المنشط بعد اجراء اختبارات تحديد تلك الخصائص.

يبين الجدول (1) بعض خصائص فحم كوز الذرة المنشط والفحم المرجعي المنشط

العينة	الكثافة الظاهرية [kg/m^3]	رقم اليود [mg/g]	مساحة السطح [m^2/g]	نسبة الرماد [%]	قوة ضغط الانكسار [N]	اجهاد الكسر نتيجة الضغط [MPa]
فحم كوز الذرة المنشط	585.185	822	800 - 1000	4.6	37.8	4.2
الفحم التجاري المرجعي	6074.1	804	800 - 1000	5.2	44.1	4.9

يُلاحظ من الجدول ومن خلال النظر لخصائص كل من الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة وخصائص الفحم المنشط المرجعي، أن هنالك اختلاف في الخصائص، فنجد أن الكثافة الظاهرية لفحم كوز الذرة أصغر من كثافة الفحم المرجعي، وهذه النتيجة تعطي قراءة أن نسبة الفراغات في فحم كوز الذرة أكبر من نسبتها في الفحم المرجعي، أي أن المسام والتجاويف ضمن حبيبات فحم كوز الذرة أكثر، وهذا يدل على أن عملية التنشيط في فحم كوز الذرة فعالة أكثر لما تركته من فراغات وتجاويف في الفحم تزيد عن تلك الموجودة في الفحم المرجعي.

بالنظر لرقم اليود في الجدول نجد بأن رقم اليود الخاص بفحم كوز الذرة المنشط أكبر من رقم اليود الخاص بالفحم المنشط المرجعي، وهذا يدل أن امتزاز الفحم المنشط من النوع الأول لليود أكبر من امتزاز النوع الثاني، وبالتالي مساحة سطح الامتزاز أكبر، حيث أن رقم اليود يعطي مؤشراً لمساحة السطح المازة، وهذه النتيجة تتوافق مع نتيجة الكثافة الظاهرية، لأن انخفاض الكثافة تعني زيادة في المسام على حساب المادة الكربونية، وهذا يزيد من مساحة السطح النوعي للفحم وبالتالي سيعمل على امتزاز كمية أكبر من اليود.

من خلال الحقل الخاص بنسبة الرماد، نجد بأن نسبة الرماد في فحم كوز الذرة أقل من نسبة رماد الفحم التجاري، وهذا يعني أن نسبة الشوائب في النوع الأول أقل، وهذا يتوافق مع النتيجتين السابقتين، فكل ما كانت نسبة الشوائب أقل كلما زادت نسبة امتزاز الفحم المنشط ليود.

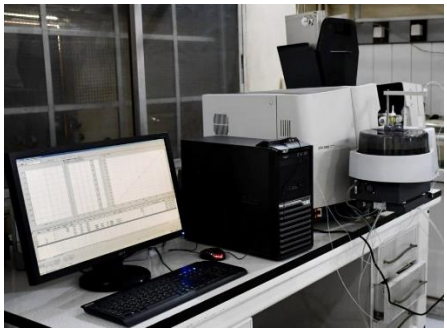
من خلال حقل قوة ضغط الانكسار الخاص باختبار الضغط، نجد بأن مقاومة فحم كوز الذرة أقل من مقاومة الفحم التجاري، وهذا قلل من إجهاد الكسر نتيجة الضغط الذي يتحمله النوع الأول مقارنةً بالثاني، ويعزى السبب لعدة عوامل، أولها انخفاض كثافة النوع الأول والتي تعمل على تقليل المادة الكربونية الصلبة في هيكل حبيبة الفحم، وهذا يعمل على اضعاف البنية الهيكلية لحبيبة الفحم بالمجمل، والسبب الثاني قد يعود لنوع مادة الربط المستخدمة مع خلطة الفحم ونسبتها، فقد تكون نسبة مادة الربط في النوع الثاني أكبر من نسبتها في النوع الأول.

5- اختبار كفاءة فحم كوز الذرة المنشط في تخفيض تركيز الرصاص والمنغنيز من مياه معامل الطلاء:

تم قطف عينات من مياه أحد معامل الدهانات الواقعة في إحدى المدن الصناعية، وتمت عملية قطف العينات بالطرق الفنية والقياسية المعتمدة باستخدام أواني زجاجية معقمة، من ثم تم اجراء عملية ترشيح لهذه المياه بواسطة جهاز التخلية من أجل التسريع في عملية الترشيح التي تمت باستخدام ورق ترشيح ماكروي من نوع Zelpa عيار 0.45 µm من أجل تخليصها من الشوائب الصلبة المعلقة وجميع المواد التي يمكن ترشيحها كما هو مبين في الشكل (7) .

الشكل (7) عملية ترشيح مياه الملوثة

وتم أخذها لإجراء تحاليل أولية عليها لتحديد تركيز كل من الرصاص والمنغنيز،
وقد تم القياس باستخدام جهاز الامتصاص الذري المبين في الشكل (8)، حيث تم قياس تركيز كل من الرصاص والمنغنيز في تلك المياه الملوثة، فبلغ تركيز الرصاص 11.7 mg/l بينما بلغ تركيز المنغنيز 31.16 mg/l .



الشكل (8) جهاز الامتصاص الذري

تم بعد ذلك وضع كميات متماثلة من المياه الملوثة المرشحة في أواني زجاجية 500 ml ، ثم البدء بإضافة الفحم المنشط لعينات المياه، حيث تم وضع كميات متدرجة معلومة الوزن من الفحم المنشط لعينات المياه المراد معالجتها (من فحم كوز الذرة ومن الفحم المنشط المرجعي)، والكميات هي 0.5 g و 1 g و 2 g و 4 g ، ووضع هذه الاواني على جهاز هزاز من أجل تحسين الامتزاز من ثم ترك العينات فترة زمنية تزيد عن الساعة ونصف، من ثم تمت عملية فصل الفحم عن المياه بالترشيح،

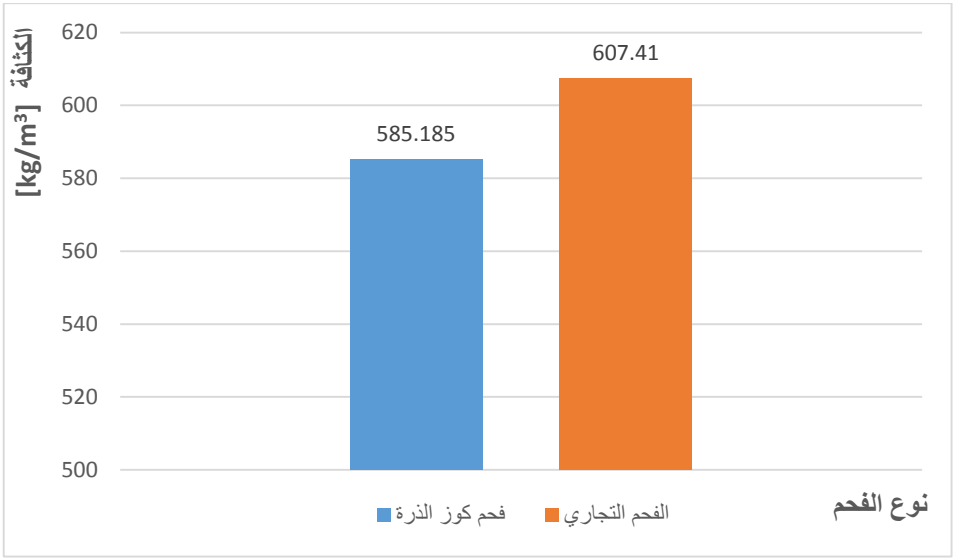
وأخذ الراشح الناتج للمخبر وتحليل تراكيز كل من الرصاص والمنغنيز بعد المعالجة، لمعرفة مدى فعالية فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي في إزالة الملوثين المذكورين، ويبين الشكل (9) عملية إضافة الفحم المنشط للمياه الملوثة بكميات مختلفة.

الشكل (9) عملية إضافة الفحم المنشط للمياه الملوثة بكميات مختلفة.

5.النتائج والمناقشة:

تم تصنيع فحم منشط من كوز الذرة، وتم اجراء اختبارات للفحم المصنع ولأحد أنواع الفحم التجاري الذي تم احضاره من السوق كمرجع، لمقارنة نتائج الاختبارات فحم كوز الذرة مع نتائج الفحم المرجعي وذلك بعد أن تم الحصول على جميع النتائج.

تم مقارنة نتائج تحديد الكثافة لفحم كوز الذرة مع الفحم التجاري المرجعي من خلال الشكل (10).



الشكل (10) مقارنة بين كثافة فحم كوز الذرة وكثافة الفحم التجاري

يُلاحظ من خلال الشكل (10) أن كثافة فحم كوز الذرة المنشط أخفض من كثافة الفحم المنشط التجاري (المرجعي)، حيث بلغت كثافة فحم كوز الذرة 585.185 kg/m^3 بينما بلغت كثافة الفحم التجاري المرجعي 607.41 kg/m^3 ، ويمكن أن يعود ذلك لعدة أسباب، أهم تلك الأسباب هي:

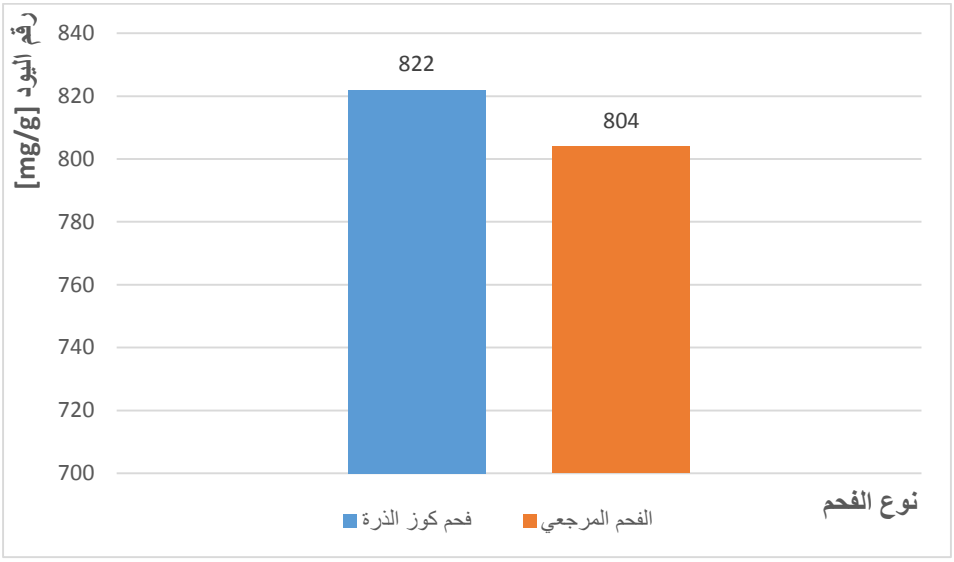
1- مقدار ضغط حبيبات الفحم عند التصنيع، فكلما زاد الضغط عند التصنيع زادت كثافة الفحم المنتج.

2- فعالية التنشيط، حيث تنقص كثافة حبيبات الفحم كلما زادت فعالية التنشيط، حيث يعمل التنشيط على زيادة المسام المتشكلة في حبيبات الفحم بالتالي يزيد من مقدار الهواء الذي يتخلل حبيبات الفحم على حساب المادة الصلبة، وهذا يقلل من الوزن عند حجم ثابت، أي تقلل من الكثافة.

3- كثافة المادة الأولية المستخدمة في صناعة الفحم، حيث تبلغ كثافة كوز الذرة في حالته الأولية 267.78 kg/m^3 [9] وهي تعتبر كثافة منخفضة مقارنةً بالمواد الأخرى التي يتم منها صناعة الفحم المنشط.

باعتبار أن فحم كوز الذرة المنشط أقل كثافة، فهذا يعني أن مساماته أكثر وبالتالي مساحة سطحه أكبر، وهذا يعطي ميزة لفحم كوز الذرة المنشط عن الفحم التجاري المرجعي.

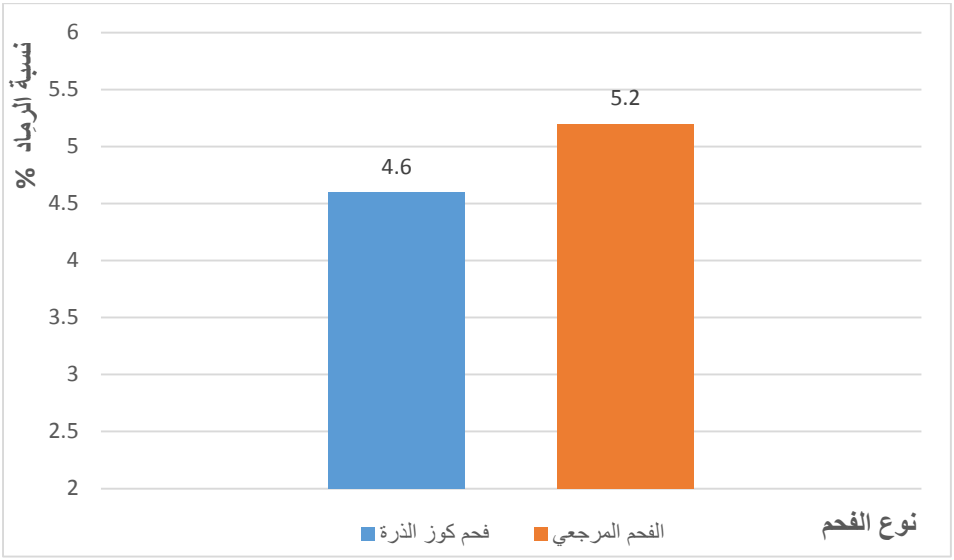
يبين الشكل (11) مقارنة بين رقم اليود لفحم كوز الذرة المنشط ورقم اليود للفحم التجاري المرجعي.



الشكل (11) مقارنة رقم اليود بين فحم كوز الذرة والفحم التجاري

يُلاحظ من الشكل (11) أن رقم اليود الخاص بفحم كوز الذرة المنشط أكبر من رقم اليود الخاص بالفحم المنشط المرجعي، حيث بلغ رقم اليود في فحم كوز الذرة المنشط المدروس 822 mg/g بينما بلغ في الفحم التجاري المرجعي 804 mg/g ، بما أن رقم اليود للفحم المنشط يعطي دلالة عن مساحة الأسطح في حبيبات الفحم (كلما زاد رقم اليود كلما زادت مساحة سطح البيبة)، هذا يعني أن المساحة السطحية لحبيبات فحم كوز الذرة المنشط أكبر من مساحة حبيبات الفحم التجاري المرجعي أي أن فحم كوز الذرة المنشط أفضل من الفحم التجاري المرجعي (عينات المقارنة) من هذه الناحية، حيث يستطيع امتزاز كميات أكبر من الملوثات.

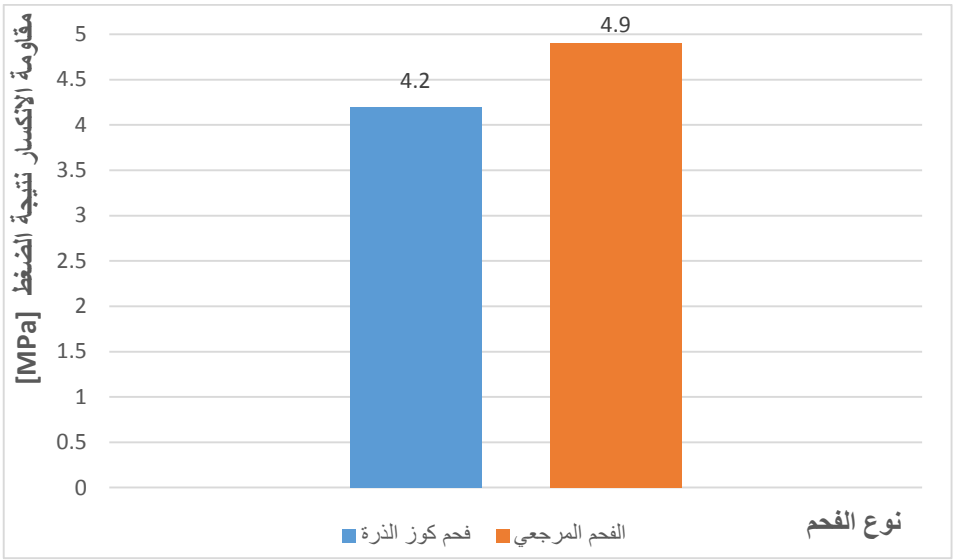
يبين الشكل (12) مقارنة بين فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي من ناحية نسبة الرماد.



الشكل (12) مقارنة نسبة الرماد بين فحم كوز الذرة والفحم التجاري

بعد اجراء تجربة نسبة الرماد لكل من فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي، تبين أن نسبة الرماد في فحم كوز الذرة المنشط أقل من نسبته في الفحم التجاري المرجعي، حيث بلغت نسبة الرماد بفحم كوز اذرة 4.6% بينما بلغت في الفحم التجاري المرجعي 5.2% ، يمكن تفسير ذلك أن فحم كوز الذرة يحتوي على شوائب أقل من الفحم المرجعي، وتزداد جودة الفحم المنشط كلما قلت نسبة الرماد فيه، وتعتبر مواصفات الفحم جيدة عندما تقل نسبة الرماد عن 5% كما هو الحال في فحم كوز الذرة المنشط.

يبين الشكل (13) مقارنة بين فحم كوز الذرة المنشط وبين الفحم التجاري المرجعي من ناحية مقاومته للكسر نتيجة الضغط.

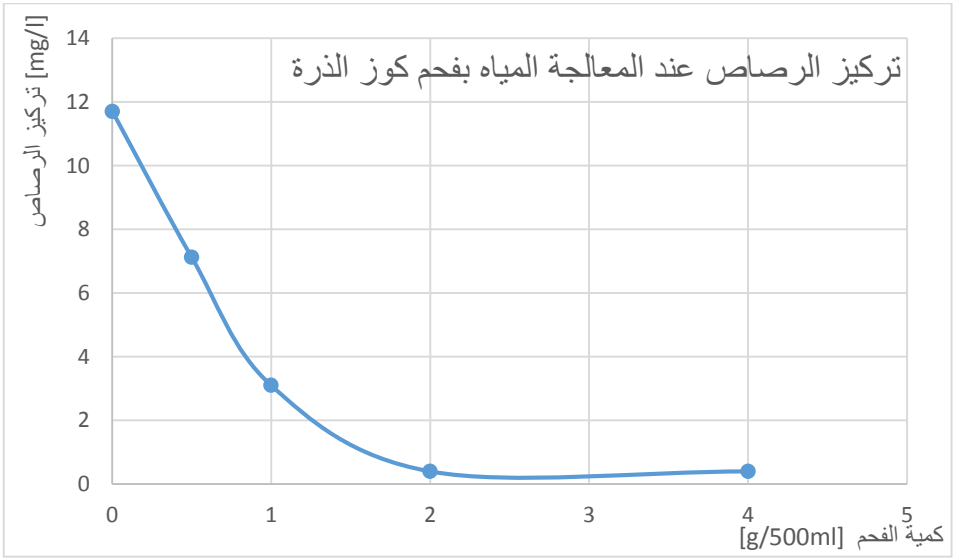


الشكل (13) مقارنة مقاومة الانكسار نتيجة الضغط بين فحم كوز الذرة والفحم التجاري

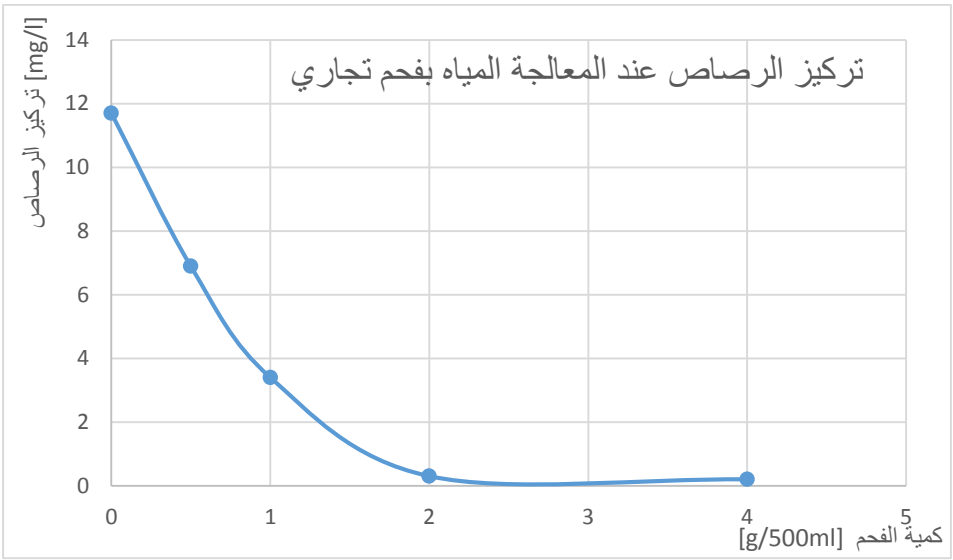
تم اجراء مقارنة بين فحم كوز الذرة المنشط وبين الفحم التجاري المرجعي من ناحية مقاومته للكسر نتيجة الضغط، وذلك بعد إجراء الاختبار، وبينت النتائج من خلال الشكل (13) أن فحم كوز الذرة المنشط أقل مقاومة للكسر من الفحم التجاري المرجعي، حيث انهارت عينة الفحم المصنعة من كوز الذرة عند 4.2 Mpa بينما أبدت عينة الفحم المرجعي مقاومة أكبر، حيث انهارت عن قيمة 4.9 Mpa ، وهذه النتيجة تعطي عينة الفحم التجاري المرجعي أفضلية من هذه الناحية، حيث يمكن تحمل الاجهادات الميكانيكية بشكل أكبر وخاصةً عندما يكون الفحم متموضعاً في أسفل أعمدة التنقية، حيث يتعرض لثقل المكونات التي تعليه، ويعطيه أيضاً ميزة في عمليات النقل والشحن لأنه يتعرض أثناء ذلك إلى العديد من الإجهادات الميكانيكية الناتجة عن التحميل والتفريغ والحركة.

يمكن تفسير سبب تفوق الفحم التجاري على فحم كوز الذرة من هذه الناحية هو أن كثافة الفحم التجاري أعلى، وهذا يعني أن نسبة المادة الصلبة أكبر وبالتالي سيكون التماسك أكبر، بالإضافة لقوة الضغط أثناء عملية التصنيع، فكلما زادت القوة الضاغطة كلما زاد التماسك، وتلعب نسبة المادة الرابطة (النشاء) دوراً أساسياً في هذه الخاصية أيضاً، فكلما زادت نسبتها زاد التماسك في العينات، وأخيراً نوع المادة الأولية المستخدمة في تصنيع الفحم قد تلعب دوراً كبيراً في ذلك.

بعد الانتهاء من دراسة خصائص الفحم السابقة، تم اختبار فعالية الفحم المنشط المصنوع من كوز الذرة من خلال ازالته للرصاص وللمنغنيز الموجودان في مياه المنصرفات الناتجة من احدى معامل الدهانات كما ذُكر سابقاً، وتم بعد ذلك رسم المنحنيات البيانية التي تبين تغير تركيز الرصاص مع تغير كمية الفحم المستخدمة في معالجة المياه، وذلك عند استخدام كلا النوعين من الفحم المنشط، وهما فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي المنشط، حيث يبين الشكلان (14) و (15) هالتين العلاقتين على التوالي.



الشكل (14) تغير تركيز الرصاص في العينات مع تغيير كمية فحم كوز الذرة المنشط المستخدم للمعالجة



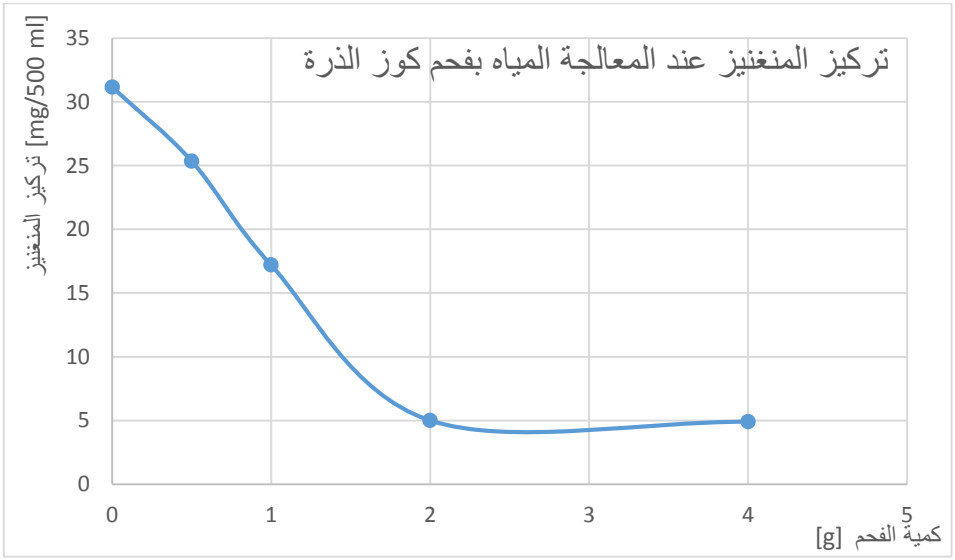
الشكل (15) تغير تركيز الرصاص في العينات مع تغيير كمية الفحم التجاري المنشط المستخدم للمعالجة

بالاستناد إلى الشكلين السابقين، يُلاحظ أن تركيز الرصاص ينخفض تدريجياً مع زيادة كمية الفحم المنشط المستخدمة في عملية المعالجة، ويُعزى ذلك إلى ازدياد المساحة السطحية الفعّالة المتاحة لامتزاز الملوثات الموجودة في المياه المعالجة. وبناءً عليه، يؤدي رفع كمية الفحم المنشط إلى تعزيز القدرة على إزالة الرصاص من المياه الملوثة. إذ بلغ تركيز الرصاص قبل المعالجة 11.7 mg/l ، في حين انخفض بعد المعالجة باستخدام كمية 0.5 g/500ml من فحم كوز الذرة والفحم التجاري، كلٌّ على حدة، ليصل إلى 7.12 mg/l و 6.9 mg/l على التوالي.

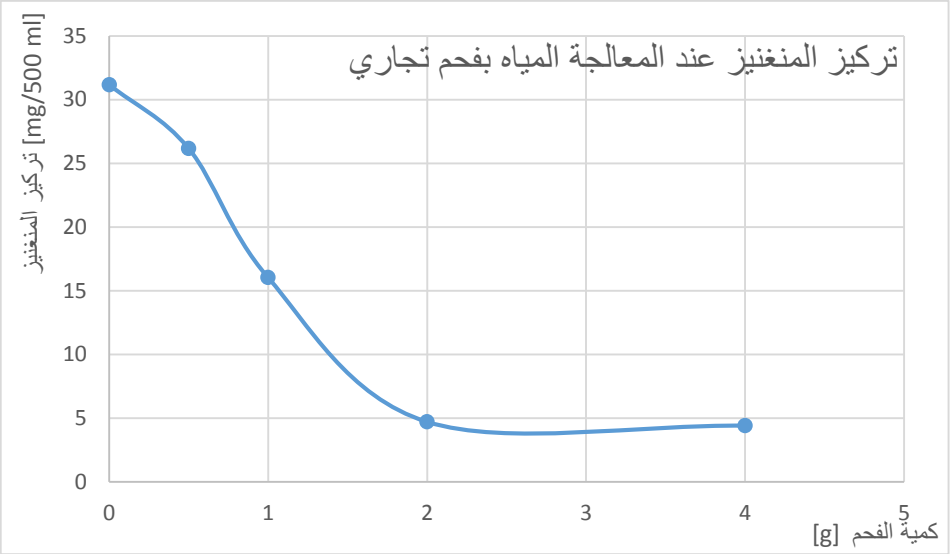
ومع زيادة كمية الفحم إلى 1 g/500 ml ، لوحظ انخفاض إضافي في تركيز الرصاص ليبلغ 3.1 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة و 3.4 mg/l عند استخدام الفحم التجاري. كما استمر هذا الاتجاه التنازلي عند رفع كمية الفحم إلى 2 g/500 ml ، حيث انخفض تركيز الرصاص إلى 0.4 mg/lو 0.3 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة والفحم التجاري على التوالي. ومع زيادة كمية الفحم المستخدم للمعالجة بعد هذا الحد، لوحظ انخفاض فعالية امتزاز الفحم للرصاص، حيث يصبح معدل انخفاض التركيز أقل بكثير، فعند استخدام كمية فحم 4 g/500ml يبقى تركيز الرصاص 0.4 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة، وينخفض تركيزه قليلاً في العينة التي تم فيها استخدام الفحم التجاري

ليصبح 0.2 mg/l عند استخدام الفحم التجاري، أي أن زيادة كمية الفحم في المعالجة لن تعد مجدية لأن تركيز الرصاص بقي ثابتاً مع مضاعفة كمية الفحم المنشط في كلا النوعين من الفحم، لذلك يمكن اعتبار كمية 2 g/500ml من الفحم هي الأفضل، كون أن الزيادة في كميته لم تعد مجدية اقتصادياً، وقد تلعب عوامل أخرى في تخفيض نسبة امتزاز الفحم للرصاص.

تم بعد ذلك رسم المنحنيات البيانية التي تبين تغير تركيز المنغنيز مع تغير كمية الفحم المستخدمة في معالجة المياه، وذلك عند استخدام كلا النوعين من الفحم المنشط، وهما فحم كوز الذرة المنشط والفحم التجاري المرجعي المنشط، حيث يبين الشكلان (16) و (17) هالتين العلاقتين على التوالي.



الشكل (16) تغير تركيز المنغنيز في العينات مع تغيير كمية فحم كوز الذرة المنشط المستخدم للمعالجة



الشكل (17) تغير تركيز المنغنيز في العينات مع تغيير كمية الفحم التجاري المنشط المستخدم للمعالجة

بالنظر للشكلين السابقين نجد أن تركيز المنغنيز ينخفض مع زيادة كمية الفحم المنشط المستخدم في عملية المعالجة، حيث مع ازدياد كمية الفحم تزداد المساحة الفعالة لإمتزاز الملوثات الموجودة ضمن المياه التي يجري معالجتها، وبالتالي سيعمل الفحم المنشط على امتزاز قدر أكبر من المنغنيز، فنجد أن تركيز المنغنيز في المياه كان 31.16 mg/l قبل المعالجة، وبعد المعالجة بكمية 0.5 g/500ml من فحم كوز الذرة والفحم التجاري كلاً على حدى نجد بأن تركيز المنغنيز انخفض في كلا العينتين فأصبح 25.35 mg/l في العينة المعالجة فحم كوز الذرة و 26.17 mg/l في العينة المعالجة بالفحم التجاري، ومع زيادة كمية الفحم المستخدم في المعالجة من كلا النوعين إلى 1 g/500ml نجد بأن تركيز المنغنيز ينخفض أكثر ليصبح 17.2 mg/l عند استخدم فحم كوز الذرة المنشط و 16.03 mg/l عند استخدام الفحم التجاري المنشط، واستمر انخفاض تركيز المنغنيز مع زيادة كمية الفحم لـ 2 g/500ml ، ليصبح 5.01 mg/l عند استخدام فحم كوز الذرة المنشط و 4.7 mg/l عند استخدام الفحم التجاري المنشط، ومع زيادة كمية الفحم المستخدم للمعالجة فوق هذا الحد، تنخفض فعالية إزالة الفحم للمنغنيز، حيث يصبح انخفاض التركيز أقل بكثير، فعند استخدام كمية فحم منشط 4 g/500ml ينخفض تركيز المنغنيز بمقدار ضئيل جداً فيصبح 4.91 mg/l عند استخدام

فحم كوز الذرة، وينخفض تركيزه قليلاً في العينة التي تم فيها استخدام الفحم التجاري ليصبح 4.4 mg/l ، أي أن زيادة كمية الفحم في المعالجة تصبح دون فائدة تقريباً، بسبب عدم وجود انخفاض ملحوظ في تركيز المنغنيز، وبالتالي تصبح عملية زيادة الفحم المنشط غير مجدية اقتصادياً، لذلك يمكن اعتبار كمية 2 g/500ml من الفحم هي الأفضل من أجل خفض المنغنيز لأكبر قدر، كون أن الزيادة في كميته أصبحت دون فعالية واضحة، وهذه النتيجة مشابهة تقريباً لنتيجة إزالة الرصاص، لذلك يمكن اعتبار هذه الكمية هي الأفضل لإزالة كلا الملوثين، ومن أجل زيادة فعالية الإزالة، يجب التركيز على عوامل أخرى قد تلعب دوراً في تخفيض نسبة امتزاز الفحم للرصاص والمنغنيز.

6. الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال الدراسة التي تمت أصبح من الممكن صياغة بعض الاستنتاجات على النحو الآتي:

1. أكدت الدراسة نجاح تصنيع فحم منشط من كوز الذرة الذي يعد من المخلفات الزراعية.
2. بينت نتائج قياس الكثافة أن كثافة الفحم المدروس أقل من كثافة الفحم المنشط التجاري بنسبة 3.65% .
3. كانت قيمة رقم اليود في فحم كوز الذرة أكبر منه في الفحم التجاري بنسبة 2.23% أي أن المساحات الفعالة السطحية متقاربة بين النوعين.
4. بينت تجربة نسبة الرماد أن نسبة الرماد بفحم كوز الذرة أصغر من نسبته الموجودة بالفحم التجاري بنسبة 11.53% ، وهذا يدل على أن الشوائب في فحم كوز الذرة أقل من الشوائب الموجودة في الفحم التجاري.
5. تفوق الفحم المنشط التجاري على فحم كوز الذرة المنشط من ناحية مقاومته للانكسار نتيجة الضغط بنسبة 16.66%.
6. استطاع فحم كوز الذرة المنشط أن يمتز كلاً من عنصري الرصاص والمنغنيز من مياه المنصرفات الناتجة من أحد معامل تصنيع الدهانات بكفاءة جيدة تقارب كفاءة الفحم المنشط التجاري المستخدم للمقارنة.

7. بلغت فعالية الفحم المنشط المصنّع من كوز الذرة في إزالة كل من الرصاص والمنغنيز من المياه الملوثة نسبة 96.58% و 84.24% على الترتيب، بينما بلغت فعالية الفحم التجاري المنشط في إزالة هاذين العنصرين نسبة 98.29% و 85.87% بنفس الترتيب.
8. بينت جميع نتائج الاختبارات والقياسات أن فحم كوز الذرة المنشط يضاهي الفحم المنشط التجاري المتوفر في السوق مع وجود بعض الفوارق البسيطة، وأنه يتمتع بمواصفات جيدة تجعله مناسباً لتطبيقات معالجة المياه.

التوصيات:

من خلال ما سبق يمكن صياغة التوصيات التالية:

1-.اجراء أبحاث مستقبلية تعمل على دراسة أفضل شروط لتحقيق إزالة كاملة للملوثات بواسطة فحم كوز الذرة، والتركيز على دراسة متغيرات pH ودرجات حرارة مختلفة للمياه المراد معالجتها وزمن التلامس أثناء الازالة.

2- دراسة فعالية فحم كوز الذرة المنشط في إزالة الملوثات من أنواع أخرى من المياه الملوثة.

3- العمل على تصنيع الفحم المنشط من مواد أخرى واختبار فعاليتها في إزالة أنواع مختلفة من الملوثات.

3- اجراء دراسات تعمل على تبيان مدى قابلية فحم كوز الذرى المنشط على إعادة تنشيطه بعد استعماله في معالجة المياه.

4- تشجيع الباحثين ومراكز الأبحاث والشركات العامة والخاصة على البدء بشكل جدي بإجراء أبحاث مشابهة تشجع الاستدامة وترشيد الطاقة.

7. المراجع References

1- Tang S et al. 2016 - **Preparation of activated carbon from corn cob and its adsorption behavior on Cr(VI) removal.** *Journal of Water Sci Technol. 2016; 73(11): 2654-61- doi: 10.2166/wst.2016.120.*

2- Doczekalska, B et al. 2022 - **Activated carbon prepared from corn biomass by chemical activation with potassium hydroxide.** *BioResources 17(1), 1794-1804.*

3- Jiang L et al. 2023- **Optimization of activated carbon production from corn cob using response surface methodology**. *Front.Environ. Sci. Toxicology, Pollution and the Environment Volume 11 – 2023.*

4- Garcia E et al. 2024 - **Activated Carbon Electrodes for Supercapacitors from Purple Corncob (Zea mays L.)**. *The Authors. Published by American Chemical Society. ACS Environ .Au 2024 ,4, Page 80−88.*

5- **Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon**. *ASTM D2854-09(2025).* https://store.astm.org/d2854-09r25.html.

6- **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon**. *ASTM D4607-14(2021). https://store.astm.org/d4607-14r21.html.*

7- **Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon.** *ASTM D2866-11-202. https://store.astm.org/d286611r25.html.*

8- **Standard Test Method for Single Pellet Crush Strength of Formed Catalysts and Catalyst Carriers**. *ASTM D4179-22. https://store.astm.org/d4179-22.html*

9- Qarmo A et al**. The description of the Physical properties of some waste materials, to determine the possibility of recycling.** *Journal of Homs University, 38(15) 2016.Page 57-77.*

"دراسة حركية البكتيريا اللبنية أثناء التخمر اللبني للبن المدعم بالسبيرولينا (Spirulina)"،

كاتيا الياس [1] عبد الوهاب مرعي[2] شريف صادق [2]

الملخص:

تمّ في هذا البحث دراسة تأثير إضافة السبيرولينا في حركية البكتيريا اللبنية أثناء التخمر اللبني من خلال تحديد أعداد البكتيريا اللبنية العصوية والكروية ،قيم الـpH، الحموضة والقدرة المضادة للأكسدة.

أجريت تجارب التخمر اللبني على الحليب البقري كتجربة شاهد وعينات الحليب المضاف إليه سبيرولينا بنسب%(0.7-0.5-0.3) عند الدرجة 45°C وبإضافة البادئ اللبني بنسبة 3%، تمّ تتبع النمو البكتيري للنوعين خلال الأزمنة min(180-120-90-60-0) من بدء التخمر. بعد انتهاء التخمر اللبني عند قيمة pH 4.6 وُضعت العينات في الحاضنة عند الدرجة 37°C مدة 24ساعة بهدف استمرار التخمر ببطء، من ثمّ حُددت أعداد البكتيريا اللبنية ،قيم الـpH، الحموضة والقدرة المضادة للأكسدة. تبين من النتائج أن إضافة السبيرولينا حفزت النمو البكتيري، خفضت قيم الـpH ، زادت النسبة المئوية للحموضة0.35% والقدرة المضادة للأكسدة 37.11%، كما أظهرت عينات اللبن المدعم بنسبة 0.3% سبيرولينا أعلى معدل نمو للبكتيريا اللبنية العصوية *Lactobacillus bulgaricus* ، و بنسبة 0.7% سبيرولينا النمو الأعلى للبكتيريا اللبنية الكروية *Streptococcus thermophilus* حيث بلغت أعدادها $4*10^4$,$4.5*10^4$على التوالي بعد 180min من بدء التخمر .

الكلمات المفتاحية: السبيرولينا ،التخمر اللبنى ، البكتيريا اللبنية.

[1] طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الغذائية-كلية الهندسة الكيميائية والبترولية-جامعة حمص

[2] أستاذ في فسم علوم الأغذية- كلية الزراعة-جامعة دمشق.

[3] أستاذ في قسم الهندسة الغذائية-كلية الهندسة الكيميائية والبترولية-جامعة حمص.

Study of the kinetics of lactic acid bacteria during lactic fermentation of spirulina-fortified yogurt.

Katia Elias(1) Abdul Wahab Marei(2) Sharif Sadik(2

Abstract

:In this study, the effect of spirulina supplementation on the growth kinetics of lactic acid bacteria during lactic fermentation was investigated by determining the counts of rod-shaped and coccoid lactic acid bacteria, pH values, titratable acidity, and antioxidant capacity.Lactic fermentation experiments were carried out using cow's milk as a control sample and milk samples supplemented with spirulina at concentrations of 0.3, 0.5, and 0.7%. Fermentation was conducted at 45 °C with the addition of a lactic starter culture at a level of 3%. The growth of both bacterial groups was monitored at fermentation times of 0, 60, 90, 120, and 180 min from the onset of fermentation.After completion of lactic fermentation at pH 4.6, the samples were incubated at 37 °C for 24 h to allow slow continuation of fermentation. Subsequently, lactic acid bacteria counts, pH values, titratable acidity, and antioxidant capacity were determined.The results indicated that spirulina addition stimulated bacterial growth, decreased pH values, increased titratable acidity to 0.35%, and enhanced antioxidant capacity by 37.11%. Moreover, yogurt samples fortified with 0.3% spirulina exhibited the highest growth rate of rod-shaped lactic acid bacteria (Lactobacillus bulgaricus), whereas samples supplemented with 0.7% spirulina showed the highest growth of coccoid lactic acid bacteria (Streptococcus thermophilus), with counts reaching 4×10^4 and 4.5×10^4 , respectively, after 180 min from the start of fermentation.

Keywords: Lactic Fermentation, Spirulina ,Lactic acid bacteria

(1) PhD student at Food Engineering Department- Faculty of Chemical and Petroleum Engineering-Homs University

(2) Professor at Food Science Department- Faculty of Agriculture- Damascus University

(3) Professor at Food Engineering Department- Faculty of Chemical and Petroleum Engineering-Homs University

أولاً : المقدمة و الدراسة المرجعية:

التخمر اللبني يعد من أقدم الوسائل البيولوجية المستخدمة في حفظ وتحسين جودة الألبان، ويتم بواسطة البكتيريا اللبنية (Lactic Acid Bacteria – LAB) مثل *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* و*Streptococcus thermophilus*. في السنوات الأخيرة، ازداد الاهتمام بتدعيم اللبن بمنتجات طبيعية غنية بالعناصر الغذائية مثل طحالب السبيرولينا (*Spirulina platensis*)، لما تحتويه من بروتينات عالية الجودة، حموض أمينية، فيتامينات ومعادن. ويهدف هذا التدعيم إلى رفع القيمة التغذوية والوظيفية للبن المتخمر، مما قد يؤثر بدوره على حركية ونمو البكتيريا اللبنية خلال عملية التخمر (Dinçoğlu et al., 2024)

تركيب السبيرولينا ودورها في دعم النمو البكتيري:

تحتوي السبيرولينا على أكثر من60% بروتين، بالإضافة إلى فيتامين B_{12}، الحديد، البيتا كاروتين، وحموض دهنية غير مشبعة، ما يجعلها وسطاً غذائياً محفزاً للبكتيريا اللبنية أثناء التخمر. وجود هذه المركبات يسهم في تعزيز النشاط الميكروبي وتحسين معدل النمو، خاصة في المراحل المبكرة من التخمر. كذلك، تشير بعض الدراسات إلى أن وجود السكريات متعددة الوظائف في السبيرولينا قد يوفر مصدر كربون إضافي للبكتيريا اللبنية (Colla et al.,2017).

شهدت السنوات الأخيرة اهتمامًا متزايدًا باستخدام الطحالب الدقيقة مثل السبيرولينا في الصناعات الغذائية، ولا سيما في منتجات الألبان المخمرة، نظرًا لقيمتها الغذائية العالية وتأثيرها الوظيفي المحتمل على الكائنات الدقيقة النافعة.

في هذا السياق، قام (Dinçoğlu et al., 2024) بدراسة تأثير إضافة *Spirulina platensis* على الخصائص الميكروبيولوجية والحسية للبن المخمر، ووجدوا أن تدعيم اللبن بنسبة 1% من السبيرولينا أدى إلى زيادة ملحوظة في نمو البكتيريا اللبنية، خصوصًا خلال المراحل المبكرة من التخمر، كما حسّن من استقرارها أثناء التخزين.

وفي دراسة مشابهة، وجد (Guldas & Irkin, 2022) أن وجود السبيرولينا في تركيبة اللبن المتخمر ساهم في تسريع عملية انخفاض درجة الحموضة pH، ما يدل على تنشيط التمثيل الغذائي للبكتيريا اللبنية، وهو ما أرجعوه إلى احتواء السبيرولينا على مركبات نيتروجينية وأحماض أمينية سهلة الامتصاص.

من جانب آخر، قام (Batista et al., 2019) بتقييم تأثير الطحالب الدقيقة كمكونات وظيفية في منتجات الحليب المتخمر، ولاحظوا أن إضافة السبيرولينا حسّنت من بقاء البادئات الحية،

أضاف(Luwidharto et al., 2022) مسحوق السبيرولينا المجفف إلى الحليب قبل عملية التخمر بنسب عدة ضمن %(0.1–0.5) وجد أن الإضافة 0.3% كانت الأنسب لأنها حسنت نمو البكتيريا اللبنية *Lactobacillus plantarum* Dad 131 و *Streptococcus thermophilus* Dad 11 وزادت إنتاج الحمض والنشاط المضاد للأكسدة دون أن تؤثر سلباً على القوام أو الطعم بشكل ملحوظ مقارنة بالتراكيز الأعلى ،حيث وصل عدد البكتيريا اللبنية و البريبيوتيك (8.73–9.19logCFU/ml و 8.92logCFU/ml بعد 24ساعة ،بلغت الحموضة المعايرة 1.08% وانخفضت قيمة الـpH إلى 4.4 كما ازدادت اللزوجة بعد12 ساعة من التخمر.

درس (De caire et al.,2000) التأثير التحفيزي للمعلّقات المائية من الكتلة الحيوية الجافة لطحلب *Spirulina platensis* المستخلصة عند درجتي حموضة 6.8و5.5، على نمو أربع سلالات من بكتيريا حمض اللاكتيك المزروعة في الحليب فأظهرت النتائج أن إضافة 6mg/ml من الكتلة الجافة لـ*Spirulina platensis* إلى الحليب حفّزت نمو بكتيريا *Lactococcus lactis* بنسبة 27% كما زاد نمو السلالات الأخرى أيضًا، وإن بدرجات متفاوتة.

أشار (Rose et al.,2023) إلى الكفاءة البروبيوتيكية للسبيرولينا التي عززت قدرة بكتيريا حمض اللبن على البقاء والتخمر بشكل أفضل وذلك لاحتوائها على مكونات محفزة للنمو مثل الأدنين والحموض الأمينية الحرة وحمض اللينوليك حيث قارن (Rose et al.,2023) عملية التخمر للبن الرائب المطور بتراكيز مختلفة من السبيرولينا %(1–0.5–0.25) مع عينة الشاهد (لبن رائب دون سبيرولينا). أظهرت النتائج أن تدعيم اللبن بنسبة 0.25% سبيرولينا أدى إلى تحسين الخصائص الغذائية والوظيفية من خلال زيادة النشاط المضاد للأكسدة، كما أثرت بشكل كبير على تعداد *Lactobacillus bulgaricus* و *Streptococcus thermophilus* في العينات المعالجة مقارنة بعينة الشاهد خلال 12يوماً من التخزين البارد عند الدرجة 4°c حيث بلغ التعداد الابتدائي للبكتيريا 9.13Log cfu/g و 9.12على التوالي بعد عملية التخمر

ثانياً : هدف البحث :

هدف البحث إلى:

1-دراسة تأثير إضافة السبيرولينا على معدل نمو البكتيريا اللبنية بنوعيها العصوية والكروية خلال الساعات الثلاث الأولى من التخمر.

2-تحديد التغيرات في رقم الحموضة pH، الحموضة الكلية ومضادات الأكسدة بعد 24ساعة من التخمر اللبني.

3-تحديد أعداد البكتيريا اللبنية في اللبن المدعم مقابل اللبن العادي في نهاية التخمر.

ثالثاً: المواد وطرائق البحث:

3-1-المواد المستخدمة:

لإنجاز هذا البحث استخدمت المواد التالية :

1- سبيرولينا (Spirulina platensis) إنتاج شركة Dxn الماليزية، مجفف بالتجميد (Freeze-dried) بنسبة نقاء $\geq$ 95%، دفعة TSCC205004 :تم الحصول عليها بإكثار الإشتيات بمزارع خاصة في ماليزية (مستوردة).

2-حليب بقري طازج مبستر مضبوط الدسم (3.5%) إنتاج معمل ألبان حمص وذلك لضمان ثبات التركيب الكيميائي للحليب المستخدم في تحضير جميع العينات.

3--بادئ اللبن الرائب: هو بكتيريا حمض اللبن نقي (إنتاج شركة بيوتيك-إيطاليا) إنتاج مختبرات شركة أمنة-سوريا-حمص-مدينة حسياء الصناعية والمكون من بكتيريا Lactobacills bulgaricus , Streptococcus thermophiles بنسبة 1;1.

4-بيئات غذائية (أوساط زرع جرثومي media culture) إنتاج شركة merck الألمانية:

-المواد الكيميائية الضرورية لعملية تحليل العينات (ماءات الصوديوم -فينول فتالئين-ميتانول).

-التجهيزات الإضافية المستخدمة: موازين مخبرية دقيقة ،عبوات زجاجية، أطباق بتري ،ماصات.

3-2-الطرائق المستخدمة:

3-2-1-تجربة التخمر اللبني:

"تم إجراء التخمر اللبني على مرحلتين: في المرحلة الأولى، تم تحضين العينة عند درجة حرارة 45°C مدة3-4 ساعات بهدف تنشيط نمو البكتيريا اللبنية. في المرحلة الثانية، استمر التخمر عند درجة حرارة 37°C (لتجنب الإجهاد الحراري للبكتيريا وللمركبات الحيوية الموجودة في السبيرولينا) مدة 24 ساعة لإعطاء وقتاً للبكتيريا لاستغلال المغذيات الموجوة في السبيرولينا ولإنتاج حموض عضوية ومركبات نكهة أكثر تظهر بوضوح التأثير التحفيزي للسبيرولينا على النمو البكتيري."

خطوات العمل :

1-أُخذ 1000ml من الحليب البقري ووضع في حمام مائي مع مراقبة درجة حرارة الحليب حتى تصبح95°C، تُرك عند هذه الدرجة لمدة 5 دقائق من أجل عملية البسترة .

2- تم تقسيم الحليب لعدة عينات (كل عينة 100ml) وعند انخفاض درجة الحرارة إلى 45°Cتمت إضافة السبيرولينا بنسبة %(0-0.3-0.5-0.7) مع التحريك والمزج بشكل جيد حتى التأكد من ذوبان كامل الكمية.

3- أُضيف البادئ اللبني بنسبة 3% لكل عينة (بعد ذوبان السبيرولينا والتأكد من درجة حرارة الحليب 45°Cمع التحريك ببطء بعدها تم نقل محتوى البيشر إلى العبوات الزجاجية المعقمة مسبقاً و أغلقت بشكل جيد وسُميت العينات وفق الجدول (1) :

الجدول(1): تسمية عينات اللبن وفق نسب السبيرولينا .

رمز العينة	العينة
A	الشاهد: حليب متخمر(لبن)
B	حليب متخمر + 0.3% سبيرولينا
C	حليب متخمر + 0.5% سبيرولينا
D	حليب متخمر + 0.7% سبيرولينا

4-وُضعت العبوات في الحاضنة بدرجة حرارة 45°Cمدة 4-3ساعات مع مراقبة قيمة pH بشكل مستمر كل ساعة حتى pH=4.6 ، وكذلك تمت عملية التخثر مع مراقبة دائمة لدرجة حرارة الحاضنة(عطرة،2017) .

5- نُقلت العينات من الحاضنة لجو الغرفة الداخلي و تُركت حتى انخفضت درجة حرارتها لدرجة حرارة الغرفة.

3-2-2-الاختبارات الفيزيائية والكيميائية:

تم إجراء التجارب العملية والتحاليل المخبرية في مخابر قسم الهندسة الغذائية في جامعة حمص (ثلاث مكررات) وحُددت النتائج عن طريق الاختبارات والتجارب التالية:

- رقم الحموضة (pH): باستخدام مقياسpH meter(AOAC.,2019).
- الحموضة المعايرة: وفق طريقة المعايرة بمحلول 0.01N NaOH وحسابها كنسبة مئوية مقدرة على أساس حمض اللبن(AOAC.,2019).
- المقدرة المضادة للأكسدة وفق طريقة DPPH حسب ,.Yildrim et al). 2001)

3-2-3-الاختبارات الميكروبيولوجية:

يبين الجدول(2) الاختبارات الميكروبيواوجية التي تمّ إجروؤها.

جدول(2): الاختبارات الميكروبيواوجية التي تمّ إجراؤها.

الاختبار الميكروبيولوجي	الهدف	البيئة المناسبة
البكتيريا اللبنية الكروية *Streptococcus thermophile*	لتنمية وتعداد البكتيريا اللبنية الكروية	M17 Agar
البكتيريا اللبنية العصوية *Lactobacills bulgaricus*	لتنمية وتعداد البكتيريا اللبنية العصوية	MRS Agar(De Man-Rogosa and Sharpe

3-2-3-1-التحليل الميكروبيولوجي للبكتيريا اللبنية أثناء التخمر:

تم تتبع النمو البكتيري للبكتيريا اللبنية خلال عملية التخمر اللبني بإجراء اختبارات زرع جرثومي دوري على فترات زمنية منتظمة. حيث تم أخذ عينات من اللبن المخمر خلال الأزمنة min(180-120-90-60-0) من بداية التخمر وحتى pH=4.6، تمّ تكرار عملية الزرع للعينات بعد 24ساعة أيضاً وذلك لتقييم تأثير إضافة السبيرولينا على الكثافة العددية للبكتيريا اللبنية.

تمّ الزرع على وسط (MRS Agar و M17)، تليها الحضانة عند درجة حرارة (37°C) المناسبة لمدة 48ساعة ثم جرى حساب عدد المستعمرات البكتيرية (CFU/ml) بهدف مقارنة التغيرات في نمو البكتيريا بين العينات المعالجة بالسبيرولينا وتلك غير المعالجة (الشاهد).

طريقة العمل :

1- رُجت العينات السابقة حوالي 25 مرة ، تم العمل في شروط عقيمة وتمديد العينات بنسبة (1:100) وذلك بسحب 1ml من العينة إلى 99ml ماء معقم ، والرج جيداً للحصول على التخفيف المطلوب وبنفس الطريقة لباقي العينات .
2- أُخذ 1ml من المحلول الممدد (1:100) إلى الطبق الموافق وسُجل عليه مقدار التخفيف وحجم السائل المزروع .
3- قُلبت الأطباق بعد15min من التلقيح .
4- وُضعت الأطباق في الحاضنات عند الدرجة 37ºC خاصة بإكثار وتنمية البكتيريا.

5- تم حساب عدد الأحياء الدقيقة في المليليتر الواحد من الحليب وفق المعادلة التالية :

عدد المستعمرات النامية في الطبق الواحد ×حجم السائل المزروع ×مقلوب التركيز . [4]وذلك بعد 48 ساعة من أجل البكتيريا (صادق.،2006).

3-2-4-الاختبارات الحسية :

تعتبر الخواص الحسية للبن مهمة في قبول المستهلك للمنتج ، يؤثر لون اللبن الملمس ، المظهر ، النكهة وفصل المصل بشكل كبير على القبول العام للبن المتخمر .

وفقاً لذلك تم إجراء عملية تقييم حسي للعينات (اللون-الطعم-الرائحة-القبول العام) من قبل مجموعة من الأشخاص المتذوقين وفق (Suresh et al.,2021).

رابعاً: النتائج والمناقشة:

4-1-نتائج التحليل الميكروبيولوجي:

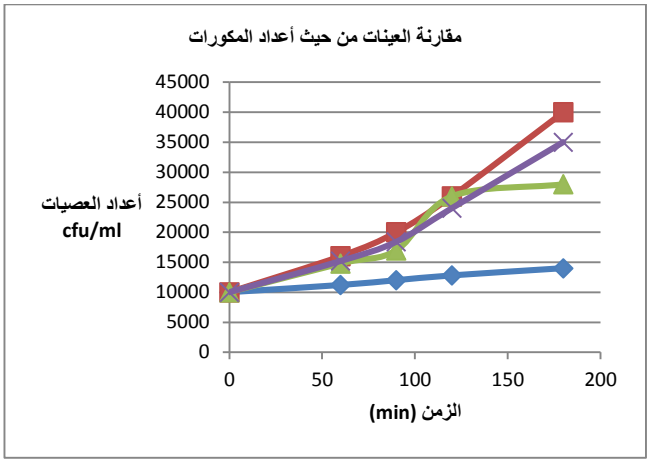
4-1-1-أثناء التخمر اللبني:

يظهر الجدول (4) تأثير إضافة السبيروواينا في أعداد البكتيريا اللبنة العصوية أثناء الساعات الثلاث الأولى من التخمر اللبني للعينات عند درجة حرارة 45°C بعد الزرع على وسط MRS Agar.

جدول (3): أعداد البكتيريا اللبنة العصوية في العينات خلال min (180-120-90-60-0).

الزمن(min)	العينات تبعاً لـ نسبة السبيرولينا المضافة (%)			
	A(0%)	B(0.3%)	C(0.5%)	D(0.7%)
0	$1*10^4$	$1*10^4$	$1*10^4$	$1*10^4$
60	$1.2*10^4$	$1.6*10^4$	$1.48*10^4$	$1.52*10^4$
90	$1.2*10^4$	$2*10^4$	$1.6*10^4$	$2.2*10^4$
120	$1.28*10^4$	$2.6*10^4$	$2.0*10^4$	$2.4*10^4$
180	$1.4*10^4$	$4*10^4$	$2.8*10^4$	$3.5*10^4$

يبين المخطط (1) أعداد العصيات في العينات خلال الأزمنة (0,60,90,120,180)min.



المخطط(1):أعداد العصيات في العينات(A,B,C,D).

"أظهرت نتائج العدّ الميكروبي للبكتيريا اللبنية بعد إضافة البادئ إلى الحليب المبستر عند 95°C لمدة 5 دقائق أن الأعداد الابتدائية لكلٍّ من البكتيريا اللبنية العصوية (Lactobacilli) والبكتيريا اللبنية الكروية (Cocci) كانت أقلّ من القيم المتوقَّع الحصول عليها نظريًا بالاستناد إلى تركيز البادئ المعلن، حيث سُجِّل متوسط قدره $1*10^4$cfu/ml للعصويات و $1.25*10^4$cfu/ml للمكورات. وعلى الرغم من هذا الانخفاض النسبي في العدد الابتدائي، فقد أظهر نظام التخمر كفاءة واضحة، إذ انخفضت قيمة pH إلى مستوى النهاية المطلوب (4.6) ضمن الزمن المتوقع للتخمر، مما يشير إلى أن الكمية الفعلية من الخلايا الحية في البادئ كانت كافية لبدء عملية التخمر وإتمامها بكفاءة.

ويُحتمل أن يعود الاختلاف بين العدد النظري والعدد المقاس إلى عوامل تقنية مثل تباين حيوية البادئ بسبب ظروف التخزين، أو احتمالية حدوث فقدٍ خلال عمليات تحضير

المخففات والزرع، أو عدم تجانس توزيع البادئ مباشرة بعد إضافته. ومع ذلك، فإن نجاح عملية التخمر وانخفاض الـpH بالشكل الطبيعي يدعم موثوقية النتائج ويؤكد صلاحية الظروف المستخدمة.

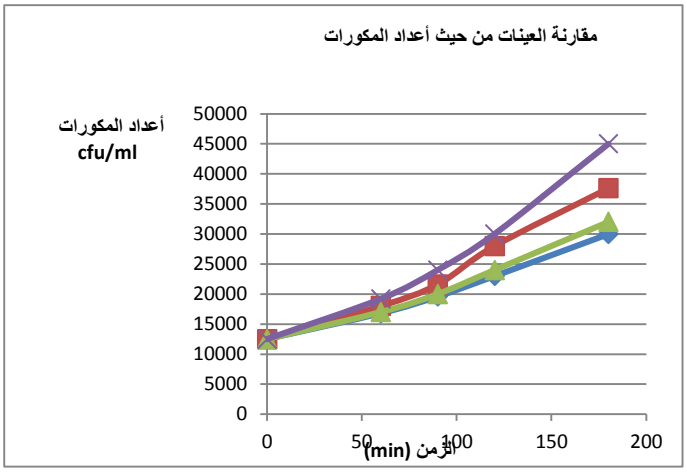
أظهرت إضافة السبيرولينا إلى الحليب خلال التخمر اللبني تأثيرًا واضحًا على حركية نمو البكتيريا اللبنية العصوية والكروية، إلا أن هذا التأثير لم يكن خطيًا، بل ارتبط بتركيز السبيرولينا ونوع البكتيريا النامية. فقد سجّلت البكتيريا العصوية أعلى معدل نمو عند تركيز 0.35% مما يشير إلى أن هذا التركيز يمثّل المستوى الأمثل لتحفيز العصويات. ويُعزى ذلك إلى احتواء السبيرولينا على نسب مرتفعة من الحموض الأمينية، المعادن والفيتامينات التي تعمل كمغذيات محفّزة للعصويات، وهو ما تدعمه عدة دراسات أشارت إلى فعالية المستخلصات الطحلبية في تعزيز نمو الـ *Lactobacillus spp*. عند تراكيز متوسطة (Beheshtipour et al., 2012; Al-Dhabi et al., 2017).

يظهر الجدول(4) تأثير إضافة السبيروانا في أعداد البكتيريا اللبنة الكروية أثناء الساعات الثلاث الأولى من التخمر اللبني للعينات عند درجة حرارة 45°C بعد الزرع على وسط M17 agar.

جدول (4): أعداد البكتيريا اللبنة الكروية في العينات خلال min (180-120-90-60-0).

الزمن(min)	العينات تبعاً لـ نسبة السبيرولينا المضافة (%)			
	A	B	C	D
0	$12.5*10^4$	$12.5*10^4$	$12.5*10^4$	$12.5*10^4$
60	$1.68*10^4$	$1.8*10^4$	$1.7*10^4$	$1.92*10^4$
90	$1.96*10^4$	$2.16*10^4$	$2*10^4$	$2.4*10^4$
120	$2.3*10^4$	$2.6*10^4$	$2.4*10^4$	$3*10^4$
180	$3*10^4$	$3.76*10^4$	$3.2*10^4$	$4.5*10^4$

يبين المخطط(2) أعداد المكورات في العينات خلال الأزمنة (0,60,90,120,180)min.



المخطط(2):أعداد المكورات في العينات(A,B,C,D).

في المقابل، أظهرت البكتيريا الكروية نمطًا مختلفًا، إذ حققت أعلى نمو عند تركيز 0.7%مما يشير إلى قدرتها الأعلى على استغلال البروتينات والببتيدات والسكريات العضوية الموجودة في السبيرولينا عند مستويات مرتفعة. وقد أشارت دراسات سابقة إلى أن *Streptococcus thermophilus* و *Lactococcus lactis* تُظهر استجابة إيجابية أكبر للإضافات البروتينية والنيتروجينية العالية مقارنة بالعصويات، نظرًا لقدرتها الإنزيمية على تحليل الببتيدات سريعًا (González et al., 2010).

توافقت هذه النتائج مع عديد من الدراسات التي توضح أن الإضافات الطحلبية مثل السبيرولينا غالبًا ما تُحدث استجابة غير خطية (Non-linear response) للبكتيريا اللبنية، إذ تستفيد العصويات بشكل أكبر من التراكيز المتوسطة، في حين قد تُظهر المكورات أعلى معدلات النمو عند تراكيز مرتفعة (Batista et al., 2019; Hernández et al., 2022). ويعكس ذلك اختلاف المتطلبات الغذائية وآليات الاستقلاب بين الأنواع البكتيرية خلال التخمر.

4-1-2-عند انتهاء التخمر اللبني:

يظهر الجدول(5) تأثير إضافة السبيروانا في أعداد البكتيريا اللبنة الكروية والعصوية بعد 24ساعة من التخمر اللبني للعينات عند درجة حرارة 37°C

جدول (5): أعداد البكتيريا اللبنة العصوية والكروية في العينات بعد 24 ساعة من التخمر .

العينة	المكورات *Streptococcus thermophilus*	العصيات *Lactobacillus bulgaricus*
A شاهد	$1.37*10^7$	$1.50*10^5$
0.3%spirulina B	$8.19*10^7$	$6.50*10^8$
0.5%spirulina C	$13.00*10^7$	$3.87*10^7$
0.7%spirulina D	$35.2*10^7$	$2.13*10^8$

أظهرت نتائج النمو البكتيري أن أعداد المكورات اللبنية (Cocci) بعد 24 ساعة من التخمر عند 37°C تراوحت بين $1.37*10^7$CFU/mL في عينة الشاهد بدون سبيرولينا، ووصلت إلى$35. 2*10^7$ CFU/mL في عينة 0.7% سبيرولينا. في المقابل، أظهرت العصيات اللبنية أعدادًا أقل بشكل عام، حيث تراوحت بين$1.5*10^5$ CFU/mL للشاهد و $2.13*10^8$ CFU/mL لعينة0.7% سبيرولينا.

تفسير هذه النتائج يمكن فهمه من خلال الخصائص البيولوجية للبكتيريا اللبنية: المكورات ***Streptoccocus*** تميل إلى النمو السريع في المراحل المبكرة من التخمر، نظراً لقدرتها على استهلاك اللاكتوز بسرعة وإنتاج حمض اللبن، مما يزيد من عددها في الفترات الزمنية القصيرة. بينما تظهر العصيات مثل ***Lactobacillus*** نمواً أبطأ في البداية، لكنها قد تصل لاحقًا إلى أعداد كبيرة في الوسط المناسب، خصوصاً عند وجود عوامل غذائية محفزة.

وجود السبيرولينا في الوسط أظهر تأثيرًا واضحًا على النمو البكتيري، إذ زادت نسب السبيرولينا من معدل نمو كل من المكورات والعصيات، مع وصول العينات ذات النسبة

الأعلى (0.7%) إلى أعلى أعداد بعد 24 ساعة. هذا يتوافق مع ما أظهرته الدراسات الحديثة، حيث يمكن للسبيرولينا أن تزود الوسط بمركبات غذائية أساسية مثل الحموض الأمينية، الفيتامينات والمعادن التي تدعم نمو البكتيريا اللبنية وتحسن من قدرتها على التكاثر (Niccolai et al., 2020).

بالمقارنة مع المراجع العلمية، تعتبر أعداد للمكورات بين 10^7–10^8 cfu/ml بعد 24 ساعة ضمن القيم المعقولة والمُبلغ عنها في الحليب المخمر عند 37°C، حيث أظهرت الدراسات أن تلك السلالات يمكن أن تصل إلى 10^7–10^8 CFU/ml تحت الظروف المثلى (Champagne et al., 1994).

أشارت النتائج أيضًا إلى أن المكورات تنمو أسرع وتصل لأعداد أعلى من العصيات في معظم العينات، وهو ما يتفق مع الدراسات السابقة التي بينت أن المكورات تُعتبر أكثر نشاطاً في بداية التخمر، بينما العصيات تستمر بالنمو بشكل تدريجي وتستجيب بشكل أكبر للتحسينات الغذائية مثل إضافة السبيرولينا.

4-2-نتائج الاختبارات الفيزيائية والكيميائية:

يظهر الجدول (6) نتائج تأثير إضافة السبيرولينا في العينات بعد 24 ساعة من حيث القدرة المضادة للأكسدة، قيم الـpH والحموضة.

الجدول (6) نتائج تأثير إضافة السبيرولينا في العينات بعد 24 ساعة من حيث القدرة المضادة للأكسدة، قيم الـpH والحموضة.

نسبة السبيرولينا المضافة%	القدرة المضادة للأكسدة (%)	قيم الـ pH	النسبة المئوية للحموضة %
A شاهد	31.09±2.77	4.51±0.01	0.90±0.01
0.3%spirulina B	37.10±1.92	4.21±0.04	1.17±0.03
0.5%spirulina C	42.23±1.79	4.15±0.01	1.24±0.03
0.7%spirulina D	42.63±1.25	4.01±0.02	1.25±0.01

تُظهر النتائج أن إضافة السبيرولينا إلى اللبن المخمر تؤثر بشكل ملحوظ على الحموضة (pH)، النسبة المئوية للحمض، والقدرة المضادة للأكسدة. عند زيادة نسبة السبيرولينا من 0 إلى 0.7% لوحظ انخفاض تدريجي في قيمة pH من 4.51 إلى 4.01، أي انخفاض بمقدار 0.50 ، مع زيادة النسبة المئوية للحمض من 0.90% إلى 1.25%، أي زيادة قدرها 0.35%. هذا الانخفاض في pH وزيادة الحموضة يعكس النشاط المتزايد للبكتيريا اللبنية نتيجة توفر عناصر غذائية إضافية في السبيرولينا، وهو ما يتوافق مع نتائج الدراسات

السابقة التي أظهرت تعزيز النشاط الحمضي للبكتيريا عند إضافة المكملات الغنية بالبروتينات والمعادن والفيتامينات (Mansour et al., 2020; Karkouch et al., 2021).

بالنسبة للقدرة المضادة للأكسدة، ارتفعت القيم بشكل ملحوظ مع زيادة السبيرولينا. ارتفعت القدرة المضادة الأكسدة من 31.09 إلى 42.63، أي زيادة مقدارها 37.11%. ويُعزى هذا الارتفاع إلى احتواء السبيرولينا على مركبات مضادة للأكسدة قوية مثل الفيكوسيانين، β-carotene والفينولات، تساهم في تحسين القدرة المضادة للأكسدة للبن المخمر، وهو ما يتوافق مع نتائج (Becker, 2007; Alvarado et al., 2019).

بشكل عام، أظهرت هذه النتائج أن السبيرولينا تعمل كعامل مزدوج: تعزيز النشاط الميكروبي لإنتاج الحمض اللبني وتحسين الخصائص الوظيفية للبن من خلال زيادة القدرة المضادة للأكسدة، مع ملاحظة أن تأثيرها على الحموضة يصل إلى حد التشبع عند 0.5-0.7% من الإضافة(Batista et al.,2017;Barkallah et al.,2017).

4-3-نتائج الاختبارات الحسية :

- تظهر الجدول (7) تأثير إضافة السبيرولينا على عينات اللبن المتخمر بنسب (0.3-0.5-0.7-)% من الناحية الحسية.

جدول (7): نتائج الاختبارات الحسية للعينات(B-C-D-E-F-G) وفقاً للدرجات

نسبة إضافة السبيرولينا (%)	اللون	الطعم	الرائحة	قبول عام
A	6	5	6	6
B	9	9	9	10
C	9	9	9	10
D	4	7	7	8

تُعطى كل صفة الدرجة 10 حيث الدرجات :

2-4: غير محبب.

5-6: طبيعي.

7-8:جيد.

9-10: جيد جداً.

عينةB : طعم مقبول لدى التذوق لا يختلف عن طعم اللبن العادي بشكل كبير مع لون أخضر خفيف وقوام متماسك.

عينةC: الطعم حامضي ويوجد نكهة مميزة مع رائحة لطيفة واللون الأخضر الواضح وهذه المواصفات مقبولة .

عينةD : الطعم حامضي ويوجد نكهة مميزة مع رائحة قوية ولطيفة واللون الأخضر أكثر وضوحاً وهذه المواصفات ممكن أن تكون غير محببة لبعض الأشخاص ولكنها مقبولة للبعض.

خامساً: الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1-السبيرولينا تعمل كمحفز نمو للبكتيريا اللبنية .

2-سجلت البكتيريا اللبنية العصوية أعلى معدل نمو عند تركيز spirulina0.3% حيث بلغت أعدادها $4*10^4$ cfu/ml بعد 180 min من بدء التخمر اللبني .

3-يعد التركيز spirulina 0.7% الأمثل لنمو البكتيريا اللبنية الكروية إذ بلغت أعدادها $4.5*10^4$ cfu/ml .

4-ارتفعت القدرة المضادة للأكسدة للعينات مع زيادة تركيز السبيرولينا بعد 24ساعة من التخمر بمقدار 37.11%.

5-انخفض رقم الـpH للعينات بشكل تدريجي وزادت النسبة المئوية للحمض (حمض اللبن) بمقدار 0.35% مع زيادة تركيز السبيرولينا.

6-أثرت السبيرولينا تأثيراً واضحاً على النمو البكتيري إذ زادت إضافة السبيرولينا من معدل نمو كل من المكورات و العصيات بعد 24ساعة.

التوصيات:

1- استخدام السبيرولينا كمعزز للنمو البكتيري.

2-دراسة تأثير إضافة السبيرولينا على حيوية ونشاط البكتيريا اللبنية أثناء فترة تخزين اللبن .

3-التوسع في الفترة الزمنية ورسم منحني النمو وإجراء التحليل الإحصائي.

4-استخدام السبيرولينا كتجربة على المستوى الصناعي لتقدير تقبل الناس لها.

سادساً: المراجع:

1-المراجع العربية:

1. .صادق، شريف، 2005 - الأحياء الدقيقة الصناعية. منشورات جامعة البعث، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية.
2. عطرة، رمضان،2017-تقانة الألبان 2. منشورات جامعة البعث، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، 2016-2017.

1-Translation of Arabic references:

1. Atraa, R,2017- **Dairy Technology 2**. Al-Baath University Publications, Directorate of University Books and Publications, 2016-2017.
2. Sadek,S.,2005-**Industrial Microbiology**. Al-Baath University Publications, Directorate of University Books and Publications,

2-المراجع الأجنبية:

3-Al-Dhabi, N. A., Esmail, G. A., & Arasu, M. V. 2017- **Nutritional and probiotic-enhancing properties of Spirulina in dairy fermentation**. LWT – Food Science and Technology.

4-Alvarado, C., Montoya, A., & Torres, L. 2019- **Impact of Spirulina addition on antioxidant properties of fermented dairy**

products. Journal of Food Processing and Preservation, 43(7), e13945

5-Barkallah,M., Dammak,M., Louati,I., Hentati,F., Hadrich,B.,Mechichi,T., Ayadi,M,A., Fendri,I., Attia,H ., Abdelkafi ,S,2017-**Effect of Spirulina platensis fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage**. LWT - Food Science and Technology 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.071.

6-Batista, A. P., Niccolai, A., Fradinho, P., Fragoso, S., Bursic, I., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M. R., Sousa, I., & Raymundo, A. 2017- **Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility**. Algal Research, 26, 161-171.

7-Batista, A. P. 2019- **Microalgae biomass as a novel functional ingredient in fermented milk**. Food Research International, 113, 535–543.

8-Becker, W. 2007- **Micro-algae as a source of protein**. Biotechnology Advances, 25(2), 207–210.

9-Beheshtipour, H., Mortazavian, A. M., Haratian, P., & Safari, M. 2012- **Effects of Spirulina platensis on the growth of probiotic bacteria in fermented milk**. Food Science & Technology.

10-Champagne, C. P., Gardner, N. J., & Roy, D. 1994- **Challenges in the addition of probiotic cultures to foods Critical** .Reviews in Food Science and Nutrition, 34(1), 1-30.

11-de Caire G. Z. , Parada J. L , Zaccaro M. C. and de Cano M. M. S. 2000- **Elect of Spirulina platensis biomass on the growth of lactic acid bacteria in milk**. World Journal of Microbiology & Biotechnology 16: 563±565, 2000.

12-Dinçoğlu, A. H., Akça, S. S., & Çalışkan, Z. 2024- **Effect of Spirulina platensis on probiotic, nutritional, and quality properties of yogurt**. International Food Research Journal, 31(1), 157-168 .

13-González, S., Fernández-Navarro, T., & Díaz, M.2010- **Growth behavior of Streptococcus thermophilus and Lactobacillus delbrueckii in enriched dairy media**. Journal of Dairy Science.

14-Guldas, M & Irkin, R. 2022-**The effect of Spirulina on the acidification kinetics of yogurt cultures**. LWT – Food Science and Technology, 153, 112527.

15-Hernández.,H. Nunes.,M.C. Prista.,C. and Raymundo.,A.2022- **Innovative and healthier dairy products through the addition of microalgae impact of microalgae supplementation on lactic acid bacteria dynamics during milk fermentation**. Journal applied Phycology.

16-Karkouch, I., El Yadini, M., & Zahar, M. 2021- **Effect of Spirulina supplementation on lactic acid bacteria growth and fermentation properties in yogurt**. International Journal of Food Science, Article ID 5546671.

17-Lopes, L. C., Righi, E., & Costa, J. A. V.2023-**Spirulina and its potential in biorefineries**: A review. Environmental Management and Sustainable Development, 12(2), 30-48.

18-Luwidharto, J. C. N., Rahayu, E. S., Suroto, D A., Wikandari, R., Ulfah, A., Utami,T.2022- **Effect of spirulina platemsis addition on growth of lactobacillus plantarum Dad13 and Streptococcus thermophiles Dad11 in fermented milk and**

physicochemical characteristics of the product. Food biotechnology vol 9no 3.

19-Mansour, A. F., El-Dairy, M. S., & Ahmed, S. M. 2020- **Fortification of fermented milk with plant proteins: Effects on acidity, pH, and microbial activity**. Journal of Dairy Science, 103(11), 9812–9822.

20-Niccolai, A., Bazec, K., Rodolfi L., Biondi, N., Zlatic, E., Jamnik P., & Tredici, M. R. 2020-. **Lactic acid fermentation of Arthrospira platensis (Spirulina) in a vegetal soybean drink for developing new functional lactose**-free beverages Frontiers in Microbiology, 11.560684.

21-Rose.H.,Bakashi.S.,Kanetkar.P.,Lukos.S.J.,Felix.J.,Yadv.S.P., and Paswan.V.K.2023- **Development and characterization of cultured buttermilk fortified with spirulina plantensis and its physicochemical and functional characteristics**. Dairy 4(2),271-284.

22-Yildirim, A., Mavi, A., & Kara, A. A. 2001- **Determination of antioxidant and antimicrobial activities of Rumex crispus L. Extracts**. Journal of Agricultural Food Chemistry, 49, 4083–4089. ACCEP

تأثير إضافة دقيق الكينوا على الخصائص الفيزيوكيميائية والحسية للخبز العربي خلال التخزين

هبة شتور[1] ، محمد مصري[2]، شريف صادق [3]

الملخص

تُعدّ الكينوا من الحبوب عالية القيمة الغذائية، لما تحتويه من بروتينات متوازنة وألياف ومعادن أساسية، وتكتسب إضافتها للخبز أهمية كبيرة لتحسين الخصائص التغذوية والحسية للمنتجات المخبوزة. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5–10–15–20–25–30)% إلى دقيق القمح المستخدم في صناعة الخبز العربي على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للمنتج النهائي، وذلك من خلال دراسة الرطوبة، النشاط المائي، الرماد، الألياف الخام، الصلابة، الوزن ومردود الخبز خلال فترة تخزين 14 يوماً.

أظهرت النتائج أن دمج دقيق الكينوا أدى إلى زيادة معنوية في محتوى الرطوبة، الرماد، الألياف الخام، والوزن مقارنة بعينة الشاهد، مما يعكس تحسين القيمة الغذائية للمخبوزات. كما لوحظ أن النشاط المائي للخبز المدعّم بنسبة متوسطة (15–20)% حافظ على ثباته أثناء التخزين المبرد، ما يشير إلى قدرة أعلى للعجين على الاحتفاظ بالماء وتأخير ظاهرة بيات الخبز. أما الصلابة، فقد ارتفعت مع زيادة نسبة الكينوا، لكنها أظهرت ثباتاً نسبياً خلال فترة التخزين، مما يعكس تأثيراً مزدوجاً للإضافة في زيادة الصلابة الأولية وتقليل التصلب الناتج عن التخزين. من ناحية الحسية، أظهرت العينات المدعمة بنسبة (20)% قبولاً جيدًا من حيث اللون، الطعم والقوام، بينما أصبحت نسب الإضافة الأعلى (25–30)% أقل مقبولية نتيجة

ضـعف بنية الغلوتين ومرونة العجين. أشـارت النتائج أيضـاً إلى أن إضـافة الكينوا يمكن أن تحسـن مردود الخبز واستقراره خلال التخزين

.**الكلمات المفتاحية:** دقيق القمح، دقيق الكينوا، الخبز العربي، الصلابة.

1 قائم بالأعمال في قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة حمص.
2 أستاذ في قسم علوم الأغذية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص.
3 استاذ في قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة حمص.

Effect of Quinoa Flour Addition on the Physicochemical and Sensory Properties of Arabic Bread During Storage

Heba Shatour [1], Mohamed Masry[2], Sharif Sadeq [3]

Abstract

Quinoa is considered a highly nutritious grain due to its balanced proteins, dietary fiber, and essential minerals. Its incorporation into bread is of great importance for improving the nutritional and sensory properties of baked products. This study aimed to evaluate the effect of adding quinoa flour at different levels (5, 10, 15, 20, 25, and 30) % to wheat flour used in Arabic bread production on the physical, chemical, and sensory characteristics of the final product. Parameters such as moisture content, water activity, ash, crude fiber, hardness, weight, and bread yield were monitored over a 14-day storage period.

The results showed that incorporating quinoa flour significantly increased moisture, ash, crude fiber, and weight compared to the control sample, reflecting an enhancement in the nutritional value of the baked goods. It was also observed that the water activity of bread enriched with medium levels of quinoa (15–20) % remained stable during refrigerated storage, indicating a higher water retention capacity and a delayed staling process. Regarding hardness, it increased with higher quinoa levels but exhibited relative stability throughout storage, demonstrating a dual effect of the addition in increasing initial firmness while reducing storage-induced hardening. Sensory evaluation indicated that samples with (20)% quinoa were well accepted in terms of color, taste, and texture, whereas higher addition levels (25–30) % were less acceptable due to weakened gluten

structure and dough elasticity. The findings also suggested that quinoa addition could improve bread yield and its stability during storage.

Keywords: Wheat flour, Quinoa flour, Arabic bread, Hardness

1. **Acting Head** in the Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Homs.
2. **Professor** in the Department of Food Science, Faculty of Agricultural Engineering, University of Homs.
3. **Professor** in the Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Homs.

1.مقدمة:

يُعدّ الخبز من أكثر المنتجات الغذائية استهلاكاً على مستوى العالم، مما يجعله وسطاً مناسباً للتدعيم الغذائي بهدف تحسين قيمته التغذوية والصحية. في هذا الإطار، برزت الكينوا كأحد المحاصيل غير التقليدية ذات القيمة الغذائية العالية، لاحتوائها على بروتينات ذات تركيب حمضي أميني متوازن، ونسبة مرتفعة من الألياف الغذائية، إضافة إلى المعادن المهمة مثل الحديد والمغنيسيوم والبوتاسيوم والمنغنيز، فضلاً عن المركبات الفينولية ذات الفعالية المضادة للأكسدة. وقد حظيت إضافة دقيق الكينوا إلى الخبز باهتمام واسع في الدراسات الحديثة، وعلى الرغم من وجود العديد من الدراسات التي تناولت استخدام دقيق الكينوا في المنتجات المخبوزة، إلا أن معظم هذه الدراسات ركزت على الخبز الأوروبي أو المخبوزات الغربية مثل الخبز المقولب، الكعك، والبسكويت، في حين أن الدراسات التي تناولت الخبز العربي تحديداً ما تزال محدودة، وخاصة فيما يتعلق بدراسة تغير خصائصه خلال التخزين .ويُعد هذا الأمر مهماً نظراً للاختلافات الجوهرية بين الخبز العربي والخبز الأوروبي، حيث يتميز الخبز العربي برقة طبقاته وارتفاع نسبة الرطوبة فيه، إضافة إلى اعتماده الكبير على قوة شبكة الغلوتين لتكوين الطبقتين المميزتين له، مما يجعله أكثر حساسية لأي تغيير في تركيب الدقيق المستخدم. ولكينوا دور في تحسين الخصائص التغذوية

والوظيفية للمنتجات المخبوزة، مع إمكانية الاستعاضة الجزئية عن دقيق القمح بنسب مختلفة دون التأثير السلبي الكبير في جودة الخبز. إذ تشير العديد من الدراسات إلى إمكانية تدعيم الخبز بدقيق الكينوا بنسبة تصل إلى 20٪ من وزن دقيق القمح، مما أدى إلى نتائج إيجابية في التأثير في الخصائص الانسيابية للعجين. علاوة على ذلك، ازداد محتوى البروتين في الخبز بنسبة حوالي 2٪ وبنسبة 1٪ من محتوى الزيت والألياف (Stikic *et al.*, 2012). بالإضافة إلى ذلك، ارتفع محتوى Kو Fe و Mn و Mg بمقدار الضعف مقارنة بحالة الخبز بدون إضافات. هناك إمكانية أيضاً أن يدخل دقيق الكينوا في منتجات غذائية مختلفة مثل الحليب والخبز والمشروبات، ففي الاكوادور أضاف برنامج الغذاء العالمي الكينوا إلى أغذية الإفطار لأطفال المدارس (Ritva *et al.*, 2010). بيَّن (عبدالمجيد وأخرون، 2016) نتائج الاستبدال لدقيق القمح بدقيق الكينوا بنسب استبدال قدرها(30,20,10,5)% وجود علاقة طردية بين قيم كل من محتوى الرماد والبروتين والدهون والألياف مع زيادة نسب الاستبدال بدقيق الكينوا، كما لوحظ ايضا ارتفاع المحتوى من المعادن بشكل واضح بارتفاع نسب الخلط عدا الزنك الذي لم يظهر أي فروق معنوية في كل العينات. واشارت النتائج أيضاً ان زيادة نسبة الخلط من دقيق الكينوا أدى الى خفض قوة ومرونة العجينة، وقيم الجلوتين الرطب والجاف وقيم زمن تطور العجينة وثباتيتها. في الدنمارك يتكون خبز الأشخاص الذين يعانون من الاضطرابات الهضمية من الكينوا فقط، وأظهر التقييم الحسي للنكهة والملمس والمظهر أن المنتجات مقبولة إلى حد ما، وذو قوام مقرمش وشكل فريد(Ma *et al.*, 2022) .

كما أكَّد إن إضافة نسبة 10% من دقيق الكينوا لدقيق القمح المعد لصنع الخبز، لم يكن لها تأثير ضار على الخصائص الحسية (الطعم واللون والشكل) وثبات العجين وحجم الرغيف والوزن، بينما نسب الإضافة الأعلى من 30%من دقيق الكينوا كانت ذات مذاق غير مقبول بسبب نقص معالجة البذور. وبالتالي إمكانية دمج دقيق الكينوا في المنتجات المخبوزة الخالية من الغلوتين بنسبة تصل إلى (20-30)% (Turkut *et al.*, 2016). ووضَّح(Rizzello *et al.*, 2016) أن استخدام عجينة الكينوا المخمرة أدت إلى تحسن المواد الكيميائية والصفات الحسية لخبز القمح (قابلية هضم البروتين وجودته ومعدل التحلل المائي للنشاء) مقارنة بخبز الخميرة المصنعة مع أو بدون دقيق الكينوا. فالتخمير يحسن قابلية عمل العجين

وهيكل الخبز والخصائص الحسية والتغذوية للدقيق الخام. علاوة على ذلك، فإنه يزيد من محتوى المركبات البيولوجية وامتصاص المعادن، ويقلل من مستوى العوامل المضادة للتغذية وقيمة استجابة نسبة السكر في الدم (Gobbetti *et al.*,2014). يؤخر دقيق الكينوا بيات الخبز بسبب وجود الألياف الغذائية في دقيق الكينوا التي تمنع تراجع النشاء وهجرة الرطوبة. علاوة على ذلك، زادت قدرة الخبز المضادة للأكسدة وانخفضت قابلية الهضم، والتي يمكن أن تعزى إلى وظيفة البوليفينول والألياف في دقيق الكينوا. مما جعل خبز الكينوا خبزاً وظيفياً ذو الخصائص العالية المضادة للأكسدة والمخفضة لنسبة السكر بالدم أكثر ملاءمة للإنسان من ناحية الصحة، حيث تم تحديد الكينوا على أنها غذاء منخفض المؤشر الغلايسيمي Graf *et al.*, 2014).

2. هدف البحث:

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5، 10، 15، 20، 25 و30) % إلى دقيق القمح المستخدم في صناعة الخبز العربي على الخصائص الخبيزية والفيزيائية–الكيميائية للمنتج النهائي، وذلك من خلال دراسة التغيرات في اللون، الصلابة، النشاط المائي، محتوى الرطوبة، الرماد والألياف الخام، وذلك مباشرة بعد الخبز وبعد فترات تخزين محددة، بهدف تحديد النسبة المثلى للإضافة التي تحقق توازناً بين تحسين القيمة الغذائية والمحافظة على جودة الخبز.

3. مواد وطرائق البحث:

3-1- مواد البحث: أنجز البحث باستخدام:

1. الدّقيق: تمّ استخدام دقيق القمح ذو نسبة استخراج 72 % إنتاج الشركة العامة للمطاحن في سورية. وهو مُنتج وفق المواصفة القياسيّة السّوريّة رقم 192 لعام 2002 (م.ق.س 192/ 2002).

2. الكينوا: تم الحصول على بذور نبات الكينوا من هيئة العامة للبحوث العلمية في محافظة حمص (تحسين محاصيل إيرانية) ، وتمت تنقيتها وتنظيفها وغسيلها لإزالة السابونين وتجفيفها وطُحنت ونُخللت بمناخل بفتحات قطرها 250 ميكرومتر وحفظها إلى حين إجراء الفحوصات اللازمة عليه.

ويبين الجدول (1) التركيب الفيزيوكيميائي لدقيق القمح ودقيق بذور الكينوا المستخدم في البحث.

الجدول (1) التركيب الفيزيوكيميائي (%) لدقيق القمح ودقيق الكينوا

نوع الدقيق	الرطوبة	الرماد	البروتين	الألياف
دقيق القمح	0.06±13.8	0.02±0.65	0.12±11.7	0.05±0.63
دقيق الكينوا	0.09±10.2	0.05±2.57	0.07±13.88	0.12±5.39

3-2تجربة الخبيز للخبز العربي:

أُجريت تجربة الخبيز في المخابز التابعة لـ الشركة العامة للمخابز والمتخصصة بإنتاج الخبز العربي ثنائي الطبقة، وذلك وفق الشروط الصناعية المعتمدة، واتباعاً للخطوات الآتية (AACC International, 2010)، (Al-Dmoor, 2013):

1- تحضير العجين: تم تحضير العجين وفق الطريقة المباشرة (Direct method)، باستخدام المكونات التالية: دقيق القمح، الخميرة، ملح الطعام (NaCl)، والماء. بلغت نسبة الخميرة الطرية المضافة 2%، في حين استُخدم ملح الطعام بنسبة 1.3% من وزن الدقيق. حُددت كمية الماء اللازمة لتحضير العجين اعتماداً على قراءات جهاز الميكسولاب عند أساس رطوبة 14% للدقيق المستخدم في جميع الخلطات. تم العجن باستخدام عجانة مخبرية بسرعة 70 دورة/دقيقة ولمدة 11 دقيقة حتى الوصول إلى التجانس التام للعجين (Chopin Technologies, 2019; Koksel et al., 2009).

2- تخمير العجين: أُعطي العجين فترة تخمير أولي لمدة 50 دقيقة عند درجة حرارة تراوحت بين 28-30°م، لضمان نشاط الخميرة وتكوين البنية المناسبة للعجين (Al-Dmoor, 2013).

3- تقطيع العجين: قُطع العجين يدوياً للحصول على قطع بوزن 200غ لكل قطعة، ثم شُكلت القطع على هيئة كرات لضمان تجانس القوام وسهولة التشكيل اللاحق.

4-التشكيل النهائي: مُررت قطع العجين مباشرة بعد التقطيع على خط الإنتاج الصناعي، حيث أُجريت عمليات التشكيل النهائي والتخمير والخبيز وفق الشروط التشغيلية المطبقة في خطوط إنتاج الشركة العامة للمخابز، حمص. تم رقّ قطع العجين باستخدام أسطوانات باتجاهين متعامدين للحصول على أقراص عجين بقطر يقارب 35 سم (Alomari *et al.*, 2018).

5-استراحة العجين: تُركت قطع العجين للاستراحة لمدة 10 دقائق على قشط متحركة مصنوعة من القطن والكتان والبولي إيتيلين، وذلك لتحسين قابلية العجين للانتفاخ أثناء الخبيز.

6- الخبيز: أُجري الخبيز في أفران ذات إحماء مباشر عند درجة حرارة تراوحت بين 500-550°م ولمدة 18 ثانية، وهي ظروف نموذجية لإنتاج الخبز العربي ثنائي الطبقة (AACC International, 2010؛ Al-Dmoor, 2013).

7-التبريد: بُردت عينات الخبز مباشرة بعد الخروج من الفرن على سيور تبريد مركبة ضمن المنشأة لمدة 14 دقيقة، تلاها تبريد إضافي على عربات متعددة الطبقات حتى الوصول إلى درجة حرارة المخبز.

8-التغليف: تم تغليف عينات الخبز باستخدام أكياس محكمة من البولي إيتيلين (الخشخاش)، وأُجريت جميع الاختبارات الفيزيائية والكيميائية اللاحقة في نفس يوم إجراء تجربة الخبيز لضمان ثبات الخصائص المقاسة (Hadnadev *et al.*, 2019). إذ يوضح الجدول (2) خصائص البولي إيثيلين المستخدم في التغليف.

الجدول (2) خصائص البولي إيثيلين المستخدم في تغليف الخبز.

الخاصية	HDPE
الكثافة	g/cm^3 (0.94–0.96)
درجة المقاومة الحرارية	الثباتية(م°) (120–135)
النفاذية لغاز الأوكسجين	($cm^3/100\mu m/m^2/day.\ atm$) (500–510)
النفاذية لبخار الماء	$g\ /m^2\ /day\ /100\ \mu m$ (0.3–0.6)
النفاذية النسبية للضوء	منخفضة (<20)%

3-3-طرائق البحث:

- الرطوبة (%): قُدرت نسبة الرطوبة في عينات الخبز باستخدام فرن التجفيف عند درجة حرارة 105°م حتى ثبات الوزن، وذلك وفق الطريقة القياسية المعتمدة من AACC International رقم 44-15.02 (AACC International, 2010).

- ❖ الرماد (%): حُددت نسبة الرماد بحرق عينات الخبز في المرمدة عند درجة حرارة 550°م حتى ثبات الوزن، حسب طريقة AACC International رقم 08-01.01 (AACC International, 2010).
- ❖ النشاط المائي (Aw): قيس النشاط المائي لعينات الخبز باستخدام جهاز Novasina (Axair Ltd) عند درجة حرارة 25°م، وفق (Alomari *et al.*,2012)، مع الالتزام بتعليمات التشغيل القياسية للجهاز.
- ❖ الصلابة (Texture): قُدرت صلابة الخبز باستخدام جهاز TA-XT.plus Texture Analyser (Stable Micro Systems, Surrey, U.K)، وذلك بقياس أقصى قوة اختراق (Maximum Force) معبراً عنها بوحدة نيوتن ، الحسّاس رقم P/2 بسرعة مسبر مقدارها0.2mm/sec لعمق أعظمي مقداره 10mm، والتي تُعد مؤشراً على صلابة الخبز، وفق الطريقة المعتمدة في دليل الجهاز و(Stable Micro Systems, 2018; Bentley, 2013).

- ❖ **الألياف (%):** تم تقدير محتوى الألياف الخام في عينات الخبز العربي باستخدام طريقة وينده (Weende) التي تعتمد على الهضم المتسلسل بالحامض $5\%H_2SO_4$ والقلوي NaOH 5% وإزالة المركبات غير الليفية، وذلك وفق الطريقة القياسية المعتمدة من (AOAC International. 2016) ، رقم 978.10.
- ❖ **مردود الخبيز:** بتقسيم وزن الصمونة على وزن العجين حسب طريقة (AACC, 2010).

3-4-التقييم الحسي لعينات الخبز:

تم إجراء التقييم الحسي لعينة الصمون وشملت المعايير المتبعة لتقييم الخبز وهي:

لون القشرة، انفصال الشطرين، بنية اللب، الرائحة، المضغ، الطعم، القابلية للحفظ.

شارك في التقييم لجنة التقيم الحسي في الهندسة الغذائية، وعدد أعضاء لجنة التحكيم عشرة، وتم تقديم العينات لهم بطريقة عشوائية ومرقمة لتجنب التحيز، وتم تسجيل نتائج التقييم مباشرة على استمارات مخصصة لكل عينة.

3-4-الدّراسة الإحصائيّة:

تمّ إجراء جميع الاختبارات بأخذ ثلاثة مكررات لكل اختبار، والتعبير عن النتائج على أساس المتوسط الحسابي والانحراف المعياري. وتمّ التقييم الإحصائي للنتائج التي تمّ التوصل إليها بواسطة البرنامج الإحصائي Minitab 17 باستخدام تحليل التباين ANOVA وذلك عند قيم α=0.05.

4 . النتائج والمناقشة:

4-1 محتوى الرطوبة للخبز: يبين الجدول (3) قيم الرطوبة لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال زمن التخزين (14-10-5-1) يوم ، وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي لمحتوى الرطوبة (%) وجود فروق معنوية ($P < 0.05$) ناتجة عن كل من مدة التخزين ونسبة إضافة دقيق الكينوا، حيث انخفضت رطوبة جميع العينات تدريجياً مع تقدم مدة التخزين من اليوم الأول حتى اليوم الرابع عشر، ويُعزى ذلك إلى ظاهرة بيات الخبز الناتجة عن تراجع النشاء وإعادة تبلور الأميلوز والأميلوبكتين، الأمر الذي يؤدي إلى طرد الماء من بنية فتات الخبز وانخفاض محتواه الرطوبي (Gray & Bemiller, 2003; Chinachoti & Vodovotz, 2000). في المقابل، سجلت العينات المدعمة بدقيق الكينوا محتوى رطوبة أعلى معنوياً مقارنة بعينة الشاهد في جميع فترات التخزين، ويُفسر ذلك بارتفاع محتوى الكينوا من الألياف الغذائية والبروتينات ذات القدرة العالية على الارتباط بالماء، مما يحسن السعة المائية ويحد من فقد الرطوبة أثناء التخزين (Graf *et al.,* 2014; Mironeasa *et al.*, 2022). كما أظهرت النتائج أن نسب الإضافة المتوسطة (15 و20)% حققت أقل معدل فقد للرطوبة خلال التخزين، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه(Rizzello et al., 2016) من أن الإضافة المعتدلة لمكونات غنية بالألياف والبروتين تسهم في تحسين بنية الفتات وإبطاء هجرة الرطوبة دون التأثير السلبي الكبير على الشبكة الغلوتينية. في حين أن نسب الإضافة المرتفعة (25% و30%)، رغم تسجيلها أعلى قيم رطوبة أولية، أظهرت فقدًا أعلى نسبياً أثناء التخزين، ويُعزى ذلك إلى التخفيف المفرط للغلوتين وضعف البنية الهيكلية للخبز، مما يزيد من سرعة فقد الماء مع الزمن (Enriquez *et al.*, 2003; Turkut *et al.,* 2016).
وبناءً على ذلك، تؤكد هذه النتائج أن إضافة دقيق الكينوا بنسبة 15–20% تُعد من أنسب النسب لتحسين ثبات الرطوبة وتقليل ظاهرة البيات أثناء التخزين المبرد، وهو ما يدعم إمكانية استخدام الكينوا كمكوّن وظيفي في تحسين جودة الخبز المخزن.

4-2 محتوى النشـــاط المائي للخبز: النشـــاط المائي (a_w) هو مقياس لمدى توفر الماء الحر في المنتج الغذائي، وهو مرتبط مباشـــرة بقابلية نمو الميكروبات وتفاعلات الإنزيمات، كما يؤثر على ملمس وجودة الخبز أثنـاء التخزين (Gray & BeMiller, 2003) . من الجدول (4) لوحظ أن عينـات الخبز بـدون إضـــافات (الشـــاهد) بدأت بقيمة عالية للنشـــاط المائي (0.873 ± 0.07) في اليوم الأول ثم انخفضـــت تدريجياً مع التخزين المبرد حتى وصـلت إلى 0.866 ± 0.14 في اليوم 14. هذا الانخفاض يعكس فقدان الماء الحر وتوزيعه داخل شـــبكة النشـــا والجلوتين، وهو ما يؤدي عادة إلى تصـــلب القشـــرة الداخلية (Wettasinghe & Fan, 2021).

الجدول (3) قيم الرطوبة(%) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين(يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{eA}0.26±25.42	^{fB}0.23±25.02	^{fC}0.19±24.52	^{fD}0.24±23.56
5	^{eA}0.43±25.60	^{eB}0.29±25.22	^{eC}0.24±24.91	^{eD}0.25±24.52
10	^{dA}0.27±25.84	^{dB}0.28±25.44	^{dC}0.28±25.17	^{dD}0.39±24.70
15	^{cA}0.37±26.04	^{cB}0.24±25.71	^{cC}0.26±25.46	^{cD}0.32±25.17
20	^{bA}0.29±26.48	^{bB}0.29±26.10	^{bC}0.32±25.85	^{bD}0.21±25.53
25	^{aA}0.33±26.92	^{aB}0.26±26.63	^{aC}0.38±26.24	^{aD}0.37±25.71
30	^{aA}0.19±27.42	^{aB}0.16±27.11	^{aC}0.47±26.62	^{aD}0.49±26.15

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

أما العينات المضافة لها كينوا بنسبة (5–10)%، فقد أظهرت قيمة أعلى للنشاط المائي في الأيام 5 و10 (0.862–0.864) ثم انخفاض طفيف في اليوم 14، مما يشير إلى قدرة الألياف والبروتينات في الكينوا على امتصاص الماء وتثبيته داخل العجينة، وبالتالي توفير ماء حر أكثر من العينة الشاهد لفترة مؤقتة.

بالنسبة للعينات ذات (15–20)% كينوا، فقد حافظت على نشاط مائي منخفض ومستقر (0.859–0.861) طوال فترة التخزين، مما يدل على توازن الماء داخل الشبكة العجينية وتقليل فقده الحر بفعل زيادة محتوى الألياف القابلة للامتصاص. أما العينات (25–30)% أظهرت نمطاً مماثلاً للعينة (5–10)%، حيث كان هناك انخفاض تدريجي مع الزمن، ما يعكس تأثير التخزين المبرد على توزيع الماء الحر، لكن مع زيادة الكينوا كان النشاط المائي أعلى نسبيًا مقارنة بالعينات (15–20)%.

تشـــير هذه النتائج إلى أن إضـــافة الكينوا تؤثر بشـــكل ملحوظ على توزيع الماء الحر داخل الخبز أثناء التخزين المبرد، مما يدعم الدراسات السابقة التي أظهرت أن دقيق الكينوا يحسن القدرة على الاحتفاظ بالماء ويقلل من فقد الرطوبة أثناء التخزين (Rizzello *et al.*, 2016; Mironeasa *et al.*, 2022). كما أن التحكم في نســبة الكينوا يمكن أن يكون أداة مهمة لتحســين الملمس، الاســتقرار ومدة صــلاحية الخبز في المنتجات المخبوزة.

الجدول (4) قيم النشاط المائي لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	**5**	**10**	**14**
عينة الشاهد	^{cC}0.07±0.873	^{bB}0.17±0.869	^{bB}0.09±0.867	^{aA}0.14±0.866
5	^{bC}0.15±0.866	^{aB}0.11±0.864	^{aB}0.06±0.863	^{aA}0.09±0.863
10	^{bC}0.16±0.863	^{aB}0.08±0.862	^{aB}0.04±0.862	^{aA}0.07±0.861
15	^{aA}0.09±0.860	^{bA}0.07±0.859	^{bA}0.13±0.859	^{bA}0.13±0.859
20	^{aA}0.08±0.861	^{bA}0.09±0.860	^{bA}0.17±0.859	^{bA}0.05±0.859
25	^{bC}0.14±0.868	^{aB}0.12±0.866	^{aB}0.09±0.865	^{aA}0.11±0.864
30	^{bC}0.12±0.869	^{aB}0.17±0.867	^{aB}0.11±0.865	^{aA}0.16±0.864

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،

أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-3 محتوى الرماد للخبز: الرماد (%) هو مقياس للمحتوى المعدني في الخبز، ويعكس كمية الأملاح والمعادن المتبقية بعد الحرق الكامل للمادة العضوية عند درجات حرارة مرتفعة .يبين الجدول (5) قيم الرماد لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال زمن التخزين (1-5-10-14) يوم ، لوحظ أن محتوى الرماد ارتفع تدريجياً مع زيادة نسبة إضافة دقيق الكينوا؛ فمثلاً، الشاهد سجل 0.86-0.90% خلال 14 يوماً من التخزين المبرد، بينما عينة 30% كينوا بلغت (1.25-1.30)%. كما أظهرت النتائج زيادة طفيفة في محتوى الرماد مع الزمن لكل نسبة، ما يعكس تأثير تبخر الرطوبة وتركيز المعادن أثناء التخزين. أما تأثير النسبة، فكان أكبر بكثير من تأثير مدة التخزين، إذ أن العينات ذات نسب الكينوا العالية حافظت على محتوى مرتفع ومستقر نسبياً. يمكن تفسير هذه الزيادة بأن الكينوا غنية بالمعادن الأساسية مثل الكالسيوم، المغنيسيوم، الحديد، والبوتاسيوم، مما يجعل أضافتها للعجين يعزز القيمة المعدنية للخبز .(Turkut *et al.*, 2016) كما أن الزيادة الطفيفة مع التخزين المبرد تدعم ما أشارت إليه الدراسات السابقة حول تأثير فقد الرطوبة على تركيز الأملاح والمعادن في المنتجات المخبوزة .(Rizzello *et al.*, 2016; Enriquez *et al.*, 2003)هذه النتائج تؤكد أن إضافة الكينوا في الخبز لا يزيد القيمة الغذائية فحسب، بل يسهم أيضاً في استقرار خصائص الخبز المعدنية خلال التخزين المبرد.

الجدول (5) قيم الرماد(%) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	$^{Aa}0.04\pm0.86$	$^{Aa}0.09\pm0.87$	$^{Ba}0.12\pm0.88$	$^{Ba}0.07\pm0.90$
5	$^{Ab}0.09\pm0.90$	$^{Ab}0.06\pm0.91$	$^{Bb}0.11\pm0.92$	$^{Bb}0.09\pm0.94$
10	$^{Ac}0.06\pm0.95$	$^{Ac}0.04\pm0.95$	$^{Bc}0.09\pm0.97$	$^{Bc}0.11\pm0.98$
15	$^{Ad}0.12\pm1.09$	$^{Ad}0.11\pm1.09$	$^{Bd}0.08\pm1.10$	$^{Bd}0.13\pm1.11$
20	$^{Ae}0.09\pm1.17$	$^{Ae}0.16\pm1.18$	$^{Ae}0.16\pm1.18$	$^{Be}0.17\pm1.19$

25	^{Af}0.08±1.21	^{Af}0.14±1.22	^{Bf}0.14±1.23	^{Bf}0.16±1.25
30	^{Ag}0.11±1.25	^{Ag}0.09±1.26	^{Bg}0.09±1.28	^{Bg}0.12±1.30

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-4 محتوى الألياف الخام للخبز: يوضح الجدول (6) قيم الألياف لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال زمن التخزين (1-5-10-14) يوم أظهرت نتائج جدول الألياف الخام (%) وجود زيادة معنوية واضحة ($P \leq 0.05$) في محتوى الألياف مع ارتفاع نسبة إضافة دقيق الكينوا ، إذ ارتفع محتوى الألياف من 0.55% في عينة الشاهد إلى (1.09-1.14)% في عينات 30% كينوا، وهو ما تؤكده الأحرف الصغيرة المختلفة ضمن العمود الواحد، مما يعكس التأثير القوي لنسبة الإضافة. ويُعزى هذا الارتفاع إلى أن دقيق الكينوا يُعد مصدرًا غنيًا بالألياف الغذائية، خاصة الألياف غير الذائبة، مقارنة بدقيق القمح التقليدي، مما يؤدي إلى رفع المحتوى الكلي للألياف في الخبز الناتج، وهو ما يتفق مع ما ذكره (Tang *et al.*, 2015) و(Kaur *et al.*, 2022). كما أظهرت النتائج، من خلال الأحرف الكبيرة داخل الصف الواحد، وجود زيادة طفيفة لكنها معنوية في محتوى الألياف مع تقدم مدة التخزين المبرد، حيث لوحظ الانتقال من الحرف A في اليوم الأول إلى B أو C في اليومين 10 و14 لبعض العينات، ويمكن تفسير ذلك بتأثير التخزين المبرد في تقليل الرطوبة النسبية للخبز وزيادة تركيز المواد الصلبة، مما ينعكس بزيادة ظاهرية في محتوى الألياف. إضافة إلى ذلك، فإن الألياف الغذائية في الكينوا تمتلك قدرة عالية على الارتباط بالماء والتفاعل مع مكونات العجين مثل النشاء والبروتين، مما يساهم في استقرار البنية الداخلية للخبز أثناء التخزين ويحد من التغيرات السلبية في الجودة .(Rosell *et al.*, 2014) وقد أشارت دراسات حديثة إلى أن تدعيم الخبز بمكونات غنية بالألياف، مثل الكينوا، لا يقتصر تأثيره على تحسين القيمة الغذائية فحسب، بل يسهم أيضاً في تحسين الخصائص الوظيفية خلال التخزين، خاصة في ظروف التخزين المبرد

(Sahu *et al.*, 2021)وبناءً على ذلك تؤكد هذه النتائج أن إضافة دقيق الكينوا، تُعد استراتيجية فعالة لزيادة محتوى الألياف الخام في الخبز والحفاظ على استقراره الغذائي خلال التخزين.

الجدول (6) قيم الألياف الخام(%) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{Ag}0.08±0.55	^{Ag}0.11±0.56	^{Bg}0.10±0.58	^{Bg}0.11±0.59
5	^{Af}0.06±0.57	^{Af}0.08±0.58	^{Bf}0.07±0.59	^{Bf}0.07±0.60
10	^{Ae}0.11±0.59	^{Ae}0.08±0.60	^{Be}0.11±0.61	^{Be}0.03±0.62
15	^{Ad}0.09±0.62	^{Ad}0.09±0.62	^{Ad}0.06±0.63	^{Bd}0.05±0.64
20	^{Ac}0.08±0.66	^{Ac}0.08±0.67	^{Bc}0.04±0.68	^{Bc}0.08±0.69
25	^{Ab}0.09±0.84	^{Ab}0.08±0.85	^{Bb}0.08±0.86	^{Cb}0.11±0.88
30	^{Aa}0.06±1.09	^{Ba}0.12±1.11	^{Ba}0.13±1.12	^{Ca}0.07±1.14

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-3 صلابة الخبز: تُظهر النتائج الجدول (7) من حيث نسبة الإضافة، لوحظ ارتفاع معنوي ($P \leq 0.05$) في قيم الصلابة مع زيادة نسبة الإضافة من 5% حتى 30% في جميع أيام التخزين، حيث سجلت عينة الشاهد أقل قيم صلابة (9.38–11.73) N، في حين حققت عينة 30% أعلى القيم (13.91–14.26) N. ويُعزى هذا السلوك إلى الزيادة في محتوى الألياف والبروتينات غير الغلوتينية المصاحبة

للإضافة، والتي تؤدي إلى تقليل مرونة شبكة الغلوتين وزيادة كثافة بنية اللب، مما ينعكس على ارتفاع مقاومة الانضغاط وزيادة الصلابة. وقد أشار (Mironeasa *et al.*, 2022) و (Abugoch James 2009)إلى أن إدخال دقيق غني بالألياف والبروتينات، مثل الكينوا، يؤدي إلى تكوين بنية أكثر تماسكاً وأقل مرونة مقارنة بالخبز المصنوع من دقيق القمح وحده.

أما من حيث مدة التخزين، فتُظهر البيانات زيادة تدريجية في الصـــلابة مع تقدم زمن التخزين، وكانت هذه الزيادة أكثر وضوحاً في عينة الشاهد، كما يتضح من اختلاف الأحرف الكبيرة (A–C)، بينما بدت العينات المدعمة أكثر ثباتاً نســـبياً عبر أيام التخزين (ثبات الحرف A) .ويُفســـر ذلك بظاهرة تراجع النشـــاء (Starch retrogradation) وفقدان الرطوبة الحرة أثناء التخزين، والتي تؤدي إلى تصـــلب اللب بمرور الوقت، وهي ظاهرة شائعة في الخبز الأبيض. في المقابل، ساهمت الإضافات الغنية بالألياف في الاحتفاظ بالماء داخل البنية الداخلية للخبز، مما أبطأ من معدل التصلب خلال التخزين. وقد أكدت دراسات (Gray & Bemiller, 2003) و(Mironeasa & Codină, 2013) أن وجود الألياف والمكونات البروتينية غير النشوية يقلل من سرعة تراجع النشاء ويحد من زيادة الصلابة أثناء التخزين.

نستنتج مماسبق أن الإضافة رفعت الصلابة الابتدائية للخبز، لكنها حسّنت ثبات القوام أثناء التخزين مقارنة بعينة الشاهد، مما يشير إلى دور مزدوج للإضافة في تعديل الخواص القوامية: زيادة الصلابة الهيكلية من جهة، وتقليل التأثير السلبي للتخزين من جهة أخرى. وتتفق هذه النتائج مع ما ورد في الدراسات السابقة حول تأثير الدقيق البديل والمواد الغنية بالألياف على الخصائص الريولوجية وخصائص القوام للمخبوزات.

الجدول (7) قيم الصلابة (N) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14

عينة الشاهد	^{gA}0.12±9.38	^{gAB}0.06±9.94	^{gBC}0.08±10.69	^{gC}0.07±11.73
5	^{fA}0.22±11.04	^{fA}0.15±11.11	^{fA}0.16±11.19	^{fA}0.17±11.23
10	^{eA}0.09±11.89	^{eA}0.08±11.94	^{eA}014.±12.01	^{eA}0.07±12.08
15	^{dA}0.21±12.27	^{dA}0.18±12.32	^{dA}0.22±12.38	^{dA}0.12±12.49
20	^{cA}0.17±12.76	^{cA}0.08±12.83	^{cA}0.09±12.99	^{cA}0.15±13.01
25	^{bA}0.09±13.71	^{bA}0.21±13.89	^{bA}0.16±13.99	^{bA}0.08±14.05
30	^{aA}0.25±13.91	^{aA}0.16±14.12	^{aA}0.07±14.21	^{aA}0.13±14.26

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$، أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-4-تأثير إضافة نسبة مختلفة من دقيق الكينوا في وزن الخبز خلال زمن التخزين: يوضح الجدول (8) تأثير نسب الإضافة المختلفة ومدة التخزين (1، 5، 10 و14) يوماً في وزن الخبز، حيث أظهرت النتائج وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) بين المعاملات المختلفة.

أظهرت النتائج ارتفاعاً معنوياً في وزن الصمون بزيادة نسبة الإضافة مقارنة بعينة الشاهد في جميع فترات التخزين، إذ سجلت عينة الشاهد أقل وزن، في حين حققت المعاملات ذات نسب الإضافة المرتفعة، ولاسيما 25% و30%، أعلى قيم للوزن. ويُعزى هذا الارتفاع إلى زيادة قدرة العجين على امتصاص واحتجاز الماء نتيجة احتواء مادة الإضافة على نسب أعلى من الألياف الغذائية والبروتينات، والتي تمتلك قابلية عالية للارتباط بالماء وتكوين شبكة أكثر تماسكاً داخل العجين. وقد انعكس ذلك بشكل مباشر على الوزن النهائي للمنتج بعد الخَبز.

وأظهرت النتائج انخفاضاً تدريجياً ومعنوياً في وزن الصمون مع زيادة مدة التخزين من اليوم الأول حتى اليوم الرابع عشر لجميع المعاملات. ويُفسر هذا الانخفاض بفقدان الرطوبة نتيجة انتقال بخار الماء من داخل المنتج إلى الوسط المحيط أثناء التخزين، إضافة إلى حدوث ظاهرة إعادة تبلور النشاء (Starch

retrogradation) ، والتي تؤدي إلى تحرير الماء المرتبط داخل بنية النشـــاء–البروتين، مما يســـرّع من فقدان الوزن بمرور الزمن.

وعلى الرغم من الانخفاض العام في الوزن مع تقدم مدة التخزين، إلا أن العينات المدعّمة بنســـب إضـــافة مرتفعة احتفظت بأوزان أعلى مقارنة بعينة الشـــاهد خلال جميع فترات التخزين. ويشـــير ذلك إلى الدور الإيجابي للإضافة في تحسين ثبات الرطوبة وتقليل معدل الفقد الوزني أثناء التخزين، الأمر الذي يُعد مؤشراً على تحسن الخصائص التخزينية وإمكانية إطالة العمر التخزيني للمنتج.

كما لوحظ أن الفروق بين فترات التخزين كانت أقل وضـــوحاً في المعاملات ذات نســـب الإضـــافة المرتفعة مقارنة بالشاهد، مما يدل على أن زيادة نسبة الإضافة ساهمت في تقليل تأثير التخزين السلبي على الوزن.

تتفق هذه النتائج مع ما توصـــل إليه (Mironeasa *et al.*, 2022) ، حيث أشـــاروا إلى أن تدعيم المخبوزات بمكونات غنية بالألياف يؤدي إلى زيادة امتصـــاص الماء وتحســـين ثبات الخصـــائص الفيزيائية أثناء التخزين. كما أوضـــح (Gómez *et al.*, 2012)أن الانخفاض في وزن الخبز أثناء التخزين يرتبط بفقدان الرطوبـة وإعـادة تبلور النشـــاء، وهو مـا يتطـابق مع الاتجـاه العـام للنتـائج الحـاليـة. وأكـد (Rosell *et al.*, 2009) أن وجود الألياف الغذائية في تركيبة الخبز يســـهم في تقليل الجفاف والمحافظة على جودة المنتج لفترة أطول، في حين أشـــار (Abdelghafor *et al.* 2011) إلى أن اســـتخدام الدقيق المركب يزيد من الوزن النهائي ويحسّن الاستقرار الفيزيائي للمنتج خلال التخزين.

نستنتج أن زيادة نسبة الإضافة أسهمت في رفع وزن الخبز وتحسين ثباته خلال مدة التخزين، في حين أدت زيادة مدة التخزين إلى انخفاض الوزن نتيجة فقدان الرطوبة. كما أظهرت النتائج أن المعاملات المدعّمة كانت أكثر قدرة على مقاومة الفقد الوزني مقارنة بعينة الشـــاهد، مما يعكس تحســـن الخصـــائص الخزنية للمنتج المدعّم.

الجدول (8) قيم الوزن (غ) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{dA}2.55±176.71	^{dAB}1.76±175.21	^{dBC}2.83±173.62	^{dC}1.96±171.13
5	^{cA}2.47±178.38	^{cAB}2.99±177.61	^{cB}1.21±176.87	^{cC}1.57±175.72
10	^{bcA}3.01±178.83	^{bcA}3.05±178.10	^{bcAB}2.12±177.62	^{bcB}1.67±176.17
15	^{bcA}1.99±179.22	^{bA}1.81±178.88	^{bcB}1.88±177.53	^{bcB}1.37±176.64
20	^{bA}2.21±179.42	^{bAB}2.19±178.51	^{bcB}1.96±177.47	^{bcB}2.11±176.61
25	^{abA}3.14±180.45	^{abAB}1.76±179.32	^{abB}2.58±178.67	^{abC}1.78±177.31
30	^{aA}1.97±181.76	^{aB}2.76±179.76	^{aB}3.12±178.99	^{aB}2.56±178.45

تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-7-تأثير إضافة نسبة مختلفة من دقيق الكينوا في مردود الخبز خلال زمن التخزين: تشير نتائج مردود الخبز إلى وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) بين نسب الإضافة المختلفة ومدة التخزين، كما هو موضح بالأحرف الصغيرة والكبيرة في الجدول. فقد سجلت عينة الشاهد أقل قيمة لمردود الخبز في جميع أيام التخزين، في حين حققت المعاملات المدعمة بنسبة إضافة مرتفعة، وخاصة 15% و20%، أعلى قيم للمردود. يُعزى ذلك إلى أن المواد المضافة، مثل دقيق الكينوا، تحتوي على نسب عالية من الألياف الغذائية والبروتينات، مما يزيد من قدرة العجين على امتصاص الماء واحتجاز الرطوبة أثناء الخَبز، وبالتالي رفع وزن العجين بعد الخَبز وزيادة مردوده النهائي، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه (Mironeasa *et al.*, 2022) و(Rosell *et al.*, 2009) حول تأثير الألياف على تحسين ثبات الرطوبة والمردود في المخبوزات.

كما لوحظ انخفاض تدريجي في مردود الخبز مع زيادة مدة التخزين من اليوم الأول حتى اليوم الرابع عشر لجميع المعاملات، حيث يمثل اليوم 14 أقل قيمة. يُعزى هذا الانخفاض إلى فقدان الرطوبة وإعادة تبلور

النشـــاء (starch retrogradation) أثناء التخزين، مما يؤدي إلى تحرير الماء المرتبط داخل شـــبكة النشـــاء–البروتين وتقليـل الوزن النهـائي للمخبوزات، وهو مـا ذكره (Gómez *et al.*, 2012) و(Abdelghafor *et al.*, 2011) في دراساتهم حول تأثير التخزين على الخبز.

على الرغم من الانخفاض العام، حافظت المعاملات المدعمة بنسبة إضافة (15–20)% على مردود أعلى مقارنة بالشاهد خلال فترة التخزين، مما يدل على أن زيادة نسبة الإضافة ساهمت في تحسين ثبات المردود وتقليل الفقد الوزني، وبالتالي تحسـين الخصـائص التخزينية للمنتج. تشـير الأحرف الكبيرة ضـمن السـطر الواحد إلى الفروق المعنوية بين أيام التخزين لكل نسبة إضافة، حيث لوحظ أن العينات ذات نسب الإضافة العالية أظهرت انخفاضاً أبطأ في المردود مقارنة بالعينات ذات النسب المنخفضة أو الشاهد.

الجدول (9) قيم المردود (%) الخبيز لعينات الصمون بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{Da}1.26±77.96	^{dAB}1.39±77.30	^{dBC}1.74±76.44	^{dC}1.19±75.79
5	^{Ca}1.29±79.94	^{cAB}1.26±79.31	^{cBC}1.65±78.91	^{cC}1.32±78.56
10	^{bcA}1.64±80.45	^{bcAB}1.76±79.94	^{bcAB}1.52±79.54	^{bcC}1.72±79.25
15	^{aA}1.01±80.89	^{aAB}1.53±80.37	^{aAB}1.62±80.05	^{aC}1.57±79.78
20	^{abA}1.42±80.37	^{abAB}1.66±79.92	^{bcAB}1.73±79.54	^{bcC}1.53±79.19
25	^{Da}1.73±78.26	^{dAB}1.63±77.58	^{dAB}1.15±77.16	^{dC}1.79±76.80
30	^{dA}1.69±78.79	^{dAB}1.57±78.13	^{dAB}1.52±77.56	^{dC}1.63±77.01

تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،

أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-9 التقييم الحسي للخبز:

يظهر الجدول (10) التقيم الحسي للخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال التخزين (14-10-5-1) يوم ، حيث أظهرت نتائج أن الإجمالي الكلي للقيم الحسية للصمون ينخفض تدريجياً مع زيادة نسبة دقيق الكينوا من 0% إلى 30% وكذلك مع طول فترة التخزين من 1 إلى 14 يوماً، حيث سجل الشاهد عند اليوم الأول أعلى تقييم كلي (33.6) وأدنى تقييم كان عند إضافة 30% بعد 14 يوماً (24.7)، ويعكس هذا التراجع تأثير انخفاض محتوى الغلوتين وزيادة البروتينات غير الغلوتينية ونوع النشويات المختلفة في الكينوا على مرونة العجينة وقوام الخبز، مع تأثير التخزين على فقدان الرطوبة والنكهة؛ كما لوحظ انخفاض تدريجي في لون القشرة من 4.8 للشاهد يوم 1 إلى 3.4 عند 30% بعد 14 يوماً، نتيجة انخفاض تفاعل ميلارد، بينما انخفضت بنية اللب وانفصال الشطرين تدريجياً بسبب ضعف الشبكة الغلوتينية، وانخفضت أيضاً الرائحة والطعم والمضغ مع إضافة الكينوا وزيادة مدة التخزين، حيث أضاف الكينوا نكهة خفيفة (تشبه طعم المكسرات) قد لا تكون مفضلة لكل المتذوقين، وانخفضت القابلية للحفظ من 4.7 إلى 3.5 مع زيادة النسبة وطول التخزين، مما يعكس سرعة جفاف الخبز وتفتته، وتتفق هذه النتائج مع دراسات (Mironeasa et al., 2022) و(Abdel-Migid et al., 2016) و(Zhang et al., 2019) . التي أشارت إلى أن إضافات الكينوا تقلل من اللون البني، ومرونة العجين، والطعم والمضغ عند نسب عالية أو تخزين طويل، بينما تعتبر إضافات 10-15% مثالية لتحقيق التوازن بين القيمة الغذائية والحفاظ على الخصائص الحسية، ويُنصح بعدم تجاوز 25% للحفاظ على اللون والنكهة وبنية الخبز وقابليته للحفظ.

الجدول (10) التقييم الحسي لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال مدة التخزين

الإضافة	التخزين (يوم)	لون القشرة	انفصال الشطرين	الطعم	المضغ	الرائحة	بنية اللب	القابلية للحفظ	الإجمالي
الشاهد	1	4.8 ± 0.30^{Aa}	4.7 ± 0.17^{Aa}	4.9 ± 0.15^{Aa}	4.8 ± 0.32^{Aa}	4.9 ± 0.11^{Aa}	4.8 ± 0.11^{Aa}	4.7 ± 0.28^{Aa}	33.6^{Aa}
	5	4.7 ± 0.25^{Aa}	4.6 ± 0.32^{Aa}	4.8 ± 0.23^{Aa}	4.7 ± 0.22^{Aa}	4.8 ± 0.25^{Aa}	4.7 ± 0.32^{Aa}	4.6 ± 0.15^{Ba}	33^{Ba}
	10	4.6 ± 0.15^{Aa}	4.5 ± 0.34^{Aa}	4.7 ± 0.17^{Aa}	4.5 ± 0.35^{Ba}	4.8 ± 0.19^{Aa}	4.6 ± 0.14^{Aa}	4.5 ± 0.28^{Ca}	32.2^{Ca}
	14	4.5 ± 0.14^{Ba}	4.1 ± 0.19^{Bb}	4.4 ± 0.15^{Bb}	4.2 ± 0.25^{Cb}	4.6 ± 0.14^{Ba}	4.4 ± 0.15^{Ba}	4.1 ± 0.22^{Da}	30.3^{Dd}
5%	1	4.7 ± 0.08^{Aab}	4.6 ± 0.16^{Aab}	4.8 ± 0.23^{Aab}	4.7 ± 0.18^{Aab}	4.8 ± 0.11^{Aab}	4.7 ± 0.13^{Aab}	4.6 ± 0.25^{Aa}	32.9^{Aab}
	5	4.6 ± 0.14^{ab}	4.5 ± 0.07^{Aab}	4.7 ± 0.22^{Aab}	4.6 ± 0.22^{Aab}	4.7 ± 0.24^{Aab}	4.6 ± 0.28^{Aab}	4.5 ± 0.29^{Ba}	32.2^{Bab}
	10	4.5 ± 0.16^{Aab}	4.4 ± 0.19^{Aab}	4.6 ± 0.18^{Aab}	4.5 ± 0.14^{Aab}	4.6 ± 0.32^{Aab}	4.5 ± 0.17^{Aab}	4.4 ± 0.21^{Ca}	31.5^{Cab}
	14	4.4 ± 0.22^{Ba}	4.3 ± 0.17^{Aa}	4.5 ± 0.17^{Ba}	4.4 ± 0.16^{Ba}	4.6 ± 0.18^{Aa}	4.4 ± 0.19^{Ba}	4.3 ± 0.19^{Db}	30.9^{Ca}
10%	1	4.6 ± 0.16^{Ab}	4.5 ± 0.25^{Abc}	4.7 ± 0.30^{Abc}	4.6 ± 0.32^{Ab}	4.7 ± 0.26^{Ab}	4.6 ± 0.11^{Ab}	4.6 ± 0.17^{Aa}	32.3^{Abc}
	5	4.5 ± 0.12^{Ab}	4.4 ± 0.12^{Abc}	4.6 ± 0.16^{Ab}	4.5 ± 0.13^{Ab}	4.6 ± 0.22^{Ab}	4.6 ± 0.17^{Aab}	4.5 ± 0.32^{Ba}	31.7^{Bb}
	10	4.4 ± 0.19^{Bb}	4.4 ± 0.13^{Aab}	4.6 ± 0.32^{Aab}	4.4 ± 0.11^{Ab}	4.6 ± 0.17^{Aab}	4.5 ± 0.24^{Aab}	4.5 ± 0.19^{Ca}	31.4^{Bb}
	14	4.3 ± 0.20^{Ca}	4.3 ± 0.17^{Aa}	4.5 ± 0.24^{Aa}	4.3 ± 0.10^{Bab}	4.5 ± 0.19^{Bab}	4.4 ± 0.19^{Ba}	4.3 ± 0.15^{Db}	30.7^{Ca}

32.1^{Abc}	4.6 ± 0.32^{Aa}	4.5 ± 0.27^{Abc}	4.6 ± 0.32^{Abc}	4.6 ± 0.22^{Ab}	4.6 ± 0.11^{Ac}	4.5 ± 0.24^{Abc}	4.5 ± 0.08^{Abc}	1	15%
31.4^{Bb}	4.5 ± 0.18^{Ba}	4.5 ± 0.22^{Ab}	4.5 ± 0.19^{Abc}	4.5 ± 0.24^{Ab}	4.5 ± 0.12^{Ab}	4.4 ± 0.10^{Ab}c	4.4 ± 0.11^{Bbc}	5	
31.3^{Bb}	4.5 ± 0.25^{Ca}	4.5 ± 0.32^{Aab}	4.5 ± 0.14^{Ab}	4.5 ± 0.29^{Aab}	4.6 ± 0.16^{Aab}	4.4 ± 0.21^{Aab}	4.3 ± 0.13^{Cbc}	10	
30.7^{Ca}	4.4 ± 0.11^{Da}	4.4 ± 0.22^{Ba}	4.5 ± 0.26^{Aab}	4.4 ± 0.15^{Ba}	4.5 ± 0.22^{Aa}	4.3 ± 0.15^{Aa}	4.2 ± 0.09^{Db}	14	
30.7^{Ac}	4.4 ± 0.19^{Ab}	4.3 ± 0.17^{Ac}	4.4 ± 0.19^{Ac}	4.3 ± 0.14^{Ac}	4.6 ± 0.08^{Ac}	4.4 ± 0.16^{Ac}	4.3 ± 0.19^{Ac}	1	20%
30^{Bc}	4.3 ± 0.18^{Bb}	4.2 ± 0.16^{Ac}	4.3 ± 0.13^{Ac}	4.2 ± 0.19^{Ac}	4.5 ± 0.17^{Ab}	4.3 ± 0.17^{Ac}	4.2 ± 0.25^{Bc}	5	
29.8^{Bc}	4.3 ± 0.21^{Cb}	4.1 ± 0.17^{Bb}	4.3 ± 0.22^{Ac}	4.2 ± 0.14^{Ab}	4.5 ± 0.18^{Ab}	4.3 ± 0.19^{Ab}	4.1 ± 0.26^{Cc}	10	
29.2^{Cc}	4.2 ± 0.10^{Db}	4.1 ± 0.13^{Bb}	4.2 ± 0.14^{Bb}	4.1 ± 0.17^{Bb}	4.4 ± 0.15^{Bb}	4.2 ± 0.22^{Bb}	4.0 ± 0.33^{Dc}	14	
27.8^{Ad}	3.9 ± 0.12^{Ac}	4.0 ± 0.25^{Ad}	4.1 ± 0.22^{Ad}	3.9 ± 0.26^{Ad}	4.0 ± 0.19^{Ad}	3.9 ± 0.18^{Ad}	4.0 ± 0.18^{Ad}	1	25%
27.1^{Bd}	3.8 ± 0.13^{Bc}	3.9 ± 0.32^{Ad}	4.0 ± 0.17^{Ad}	3.8 ± 0.32^{Ad}	3.9 ± 0.22^{Bc}	3.8 ± 0.16^{Ad}	3.9 ± 0.17^{Bd}	5	
26.4^{Cd}	3.7 ± 0.17^{Cc}	3.8 ± 0.22^{Bc}	3.9 ± 0.25^{Bd}	3.7 ± 0.13^{Bc}	3.8 ± 0.32^{Cc}	3.7 ± 0.15^{Bc}	3.8 ± 0.23^{Cd}	10	
25.4^{Dd}	3.5 ± 0.16^{Dc}	3.7 ± 0.28^{Cc}	3.8 ± 0.33^{Cc}	3.6 ± 0.19^{Cc}	3.5 ± 0.16^{Dc}	3.6 ± 0.22^{Cc}	3.7 ± 0.29^{Dd}	14	
27.1^{Ad}	3.8 ± 0.18^{Ac}	3.9 ± 0.26^{Ad}	4.0 ± 0.26^{Ad}	3.8 ± 0.13^{Ad}	3.9 ± 0.13^{Ad}	3.8 ± 0.16^{Ad}	3.9 ± 0.25^{Ad}	1	30%
26.4^{Bd}	3.7 ± 0.19^{Bc}	3.8 ± 0.31^{Ad}	3.9 ± 0.24^{Ad}	3.7 ± 0.15^{Ad}	3.8 ± 0.19^{Bc}	3.7 ± 0.11^{Ad}	3.8 ± 0.22^{Bd}	5	

	10	3.7 ± 0.27^{Cd}	3.6 ± 0.23^{Bc}	3.7 ± 0.26^{Cc}	3.6 ± 0.18^{Bc}	3.8 ± 0.31^{Bd}	3.7 ± 0.22^{Bc}	3.6 ± 0.24^{Cc}	25.7^{Cd}
	14	3.6 ± 0.29^{Dd}	3.5 ± 0.32^{Cc}	3.4 ± 0.31^{Dc}	3.4 ± 0.19^{Cc}	3.7 ± 0.22^{Cc}	3.6 ± 0.27^{Cc}	3.4 ± 0.29^{Dc}	24.7^{Dd}

تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة على عدم وجود فرق معنوي بين أيام التخزين بينها عند $p \geq 0.05$،

أما الأحرف الصغيرة المتشابهة تدل على عدم وجود فرق معنوي عند نسبة الإضافة عند $p \geq 0.05$.

5 – الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 الاستنتاجات:

1. إضافة دقيق الكينوا بنسبة 15–20٪ يحقق توازناً مثالياً بين تحسين القيمة الغذائية والحفاظ على جودة الخبز.
2. زيادة النسبة فوق 25٪ تؤثر سلباً على القوام والقبول الحسي للخبز.
3. الكينوا تسهم في تحسين ثبات الرطوبة، تأخير البيات، وزيادة محتوى الألياف والمعادن.

5-2 -التوصيات:

1. يُوصى باستخدام دقيق الكينوا بنسبة 15–20٪ لتطوير خبز عربي وظيفي غني بالبروتينات والألياف.
2. يمكن استكشاف إضافة الكينوا في منتجات مخبوزة أخرى لتعزيز القيمة الغذائية دون التأثير الكبير على القوام والطعم.
3. إجراء دراسة مستقبلية على التأثير طويل المدى للتخزين وتحليل المؤشر الغلايسيمي للخبز المدعّم.

6-المراجع:

AACC International. (2010). **Approved Methods of Analysis** (11th ed.). Method 54–30.02: Alveograph Method.

Abdelghafor, R. F., Mustafa, A. I., Ibrahim, A. M. H., & Krishnan, P. G. (2011). **Quality of bread from composite flour of sorghum and hard white winter wheat**. Journal of Food Science and Nutrition, 62, 91–97.

Abdel-Migid, H., Jalal, F., & Asseg, K. (2016). **Characteristics of flour and quality of bread produced from wheat–quinoa blends**. Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, University of Sana'a, Yemen.

Abugoch James, L. E. (2009). **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties**. Advances in Food and Nutrition Research, 58, 1–31.

Al-Dmoor, H. M. (2013). **Quality characteristics of Arabic and Samoon bread as affected by flour properties and baking conditions**. Journal of Food Science and Technology, 50(5), 925–933.

Alomari, D. Z., et al. (2012). **Water activity and quality changes of Arabic bread during storage**. Journal of Food Quality, 35, 1–9.

Alomari, D. Z., et al. (2018). **Physicochemical and textural properties of Middle Eastern breads**. International Journal of Food Properties, 21(1), 112–125.

AOAC International. (2016). **Official methods of analysis** (20th ed.). AOAC International.

Bentley, A. (2013). **Texture analysis of baked products**. Stable Micro Systems Application Note.

Chinachoti, P., & Vodovotz, Y. (2000). **Water activity and food quality**. In Y. H. Hui (Ed.), Handbook of Food Science, Technology, and Engineering (pp. 1–12). CRC Press.

Chopin Technologies. (2019). **Mixolab Applications Handbook**. France.

Enriquez, N., Peltzer, M., Raimundi, A., Tosi, V., Pollio, M.L., (2003). **Characterization of the wheat and quinoa flour blends in relation to their bread making quality**. Journal of the Argentine Chemical Society 91, 47e54.

Enriquez, P., Rosell, C. M., & Rojas, J. A. (2003). **Quinoa flour in wheat bread: Effect on dough rheology and bread quality**. Journal of Food Science, 68(7), 2452–2457.

Gobbetti, M., (2014). **Manufacture and characterization of pasta made with wheat flour rendered gluten-free using fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria**. J.Cereal Sci. 59, 79-87.

Gómez, M., del Real, S., Rosell, C. M., Ronda, F., & Blanco, C. A. (2012). **Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of bread**. Food Hydrocolloids, 26(1), 158–164.

Graf, B. L., Poulev, A., Kuhn, P., Grace, M. H., Lila, M. A., & Raskin, I. (2014). **Quinoa seeds leach phytoecdysteroids and other compounds with anti-diabetic properties**. Food Chemistry, 163(3), 178–185.

Gray, J. A., & BeMiller, J. N. (2003). **Bread staling: Molecular basis and control**. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2(1), 1–21.

Hadnadev, M., et al. (2019). **Texture and staling of flat breads during storage**. Journal of Texture Studies, 50, 312–321.

Kaur, B., Sharma, S., & Singh, R. (2022). **Impact of quinoa supplementation on the nutritional and functional properties of baked bread: A comprehensive review**. Food Chemistry, 368, 130800.

Koksel, H., et al. (2009). **Potential utilization of Mixolab in quality evaluation of wheat flour**. Cereal Chemistry, 86(5), 522–526.

Konica Minolta Inc. (2020). **Precise Color Communication**. Japan.

Linnemann, A., Dijkstra, S., (2002). **Toward sustainable production of protein-rich foods: appraisal of eight crops for Western Europe. Part I**. Analysis of the primary links of the production Chain. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 42, 377e401.

Ma, Y., Wu, D., Guo, L., Yao, Y., Yao, X., Wang, Z., Wu, K., Cao, X., & Gao, X. (2022). **Effects of quinoa flour on wheat dough quality**, baking quality, and in vitro starch digestibility. Frontiers in Nutrition, 9, 846808.

Mironeasa, S., & Codină, G. G. (2013). **Effect of dietary fiber on wheat bread quality**. Food Technology and Biotechnology, 51(3), 331–337.

Mironeasa, S., Codină, G. G., & Codină, M. (2022). **Effect of quinoa flour addition on dough rheology and bread quality: A review**. Foods, 11(3), 412.

Mironeasa, S., Codină, G. G., & Mironeasa, C. (2022). **Effect of dietary fiber addition on bread quality and shelf life**. Journal of Cereal Science, 105, 103457.

Mironeasa, S., et al. (2022). **Impact of non-wheat flours on texture and staling of bread**. Foods, 11, 1–15.

Mironeasa, S., Stefanescu, I., & Codina, G. G. (2022). **Effect of storage conditions on the textural properties and in vitro digestibility of wheat bread containing whole quinoa flour**. Food Science and Technology International, 28(7), 592–605.

Ritva, A. M.; Repo-Carrasco-Valencia., Christian, R., Encina, Maria, J., Binaghi, Carola, B., Grecob, and Patr´ıcia A. Ronayne de Ferrer. (2010). **Effects of roasting and boiling of quinoa, kiwicha and ka˜niwa on composition and availability of minerals in vitro**. J. Sci. Food & Agric. 90: 2068 – 2073.

Rizzello, C. G., Calasso, M., Campanella, D., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2016). **Use of quinoa flour and quinoa sourdough in wheat bread making: Effects on protein digestibility, starch hydrolysis and sensory properties**. Food Microbiology, 59, 46–55.

Rizzello, C. G., Lorusso, A., Montemurro, M., & Gobbetti, M. (2016). **Use of sourdough made with quinoa (Chenopodium quinoa) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread**. Food Microbiology, 56, 1-13.

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2009). **Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources**. Food Research International, 42, 176–184.

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2014). **Protein–polysaccharide interactions in dough and bread quality**. Trends in Food Science & Technology, 36(1), 39–55.

Sahu, M., Rout, S., & Mishra, S. (2021). **Effect of refrigerated storage on quality characteristics of functional bread**. LWT – Food Science and Technology, 140, 110857.

See, E. F., Wan Nadiah, W. A., & Noor Aziah, A. A. (2007). **Physico-chemical evaluation of bakery products**. ASEAN Food Journal, 14(2), 123–130.

Stable Micro Systems. (2018). **TA-XT.plus Texture Analyser User Manual**. UK.

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S.E., Milovanovic, M.,(2012). **Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.) as an ingredient in bread formulations**. J.Cereal Sci. 55, 132-138.

Tang, Y., Li, X., & Zhang, B. (2015). **Nutritional and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)**. Food Science and Human Wellness, 4(2), 54–59.

Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). **Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality**. Journal of Cereal Science, 69, 174-181.

Turkut, S., Yildirim, E., & Demir, T. (2016). **Incorporation of quinoa flour in wheat bread: Effects on dough rheology and bread quality**. Journal of Cereal Science, 70, 27–33.

Wettasinghe, M., & Fan, M. Z. (2021). **Water activity and quality changes in bakery products during storage**. Journal of Food Science, 86(4), 1234–1245.

Wu, K., Sung, W. and Yang, C. (2009). **Characteristics of dough and bread as affected by the incorporation of sweet potato paste in the formulation**. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 17, No. 1. pp 13-22.

Zhang, Y., Li, H., & Chen, F. (2019). **Influence of quinoa flour substitution on the physical, chemical, and sensory properties of wheat bread**. Journal of Cereal Science, 86, 93–101.