مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٢) ٢٠٢٦
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (2) 2026

تقييم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والتضاد البكتيري لفلم قابل للأكل محضر من النشاء والكيتوزان المعدل بزيت القرفة

د. مصعب غانم*

م. أريج معلا*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٨/٢١ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٦/١/٢٧)

□ ملخّص□

في سياق التوجه العالمي نحو تطوير مواد تغليف مستدامة وفعالة وآمنة صحياً من مواد طبيعية قابلة للتفكك الحيوي، تبرز الأغلفة القابلة للأكل كبديل واعد للمواد البوليميرية التقليدية.

تم في هذه الدراسة تحضير أفلام قابلة للأكل من مزيج (نشاء–كيتوزان) بطريقة صب المذيب (solvent casting) وتقييم تأثير إضافة زيت القرفة بنسب مختلفة (3%–2–1) إلى الأفلام المحضّرة، بهدف تحسين خصائصه الوظيفية في تطبيقات التغليف الحيوي، خاصة لحفظ اللحوم.

تم تقييم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للأفلام المحضّرة والتي تراوحت سماكتها بين (0.18–0.30mm)، حيث بينت نتائج الاختبارات الميكانيكية الحصول على أعلى مقاومة شد للأفلام (7.4MPa) عند نسبة إضافة من زيت القرفة (3%)، مقارنة بـ (11MPa) في الفلم المرجعي. أما الاستطالة عند القطع (Eb) فقد وصلت إلى (3.8%)، مما يدل على مرونة جيدة للأفلام المحضّرة. كما انخفض معدل انتقال بخار الماء (WVTR)بنسبة (67%) عند إضافة زيت القرفة نتيجة لتكوين بنية أكثر هيدروفوبية وأقل مسامية، مما يُحسن من خصائص الحجز المائي للفلم. بالتالي يعزز قدرة الفلم على منع فقدان الرطوبة وتحسن النشاط المضاد للأكسدة بشكل تدريجي، حيث ارتفعت قدرة الفلم على كسح الجذور الحرة بفضل المركبات الفينولية لتصل (85%) مع ارتفاع نسبة زيت القرفة المضافة. أما الخصائص المضادة للبكتريا ((*E. coli*) و (*S.aureus*)) زاد قطر منطقة التثبيط مع ارتفاع تركيز الزيت، مما ساهم في تقليل النمو الميكروبي على سطح العينات. ولوحظ ذلك في انخفاض معدل التلف في العينات المغلفة مقارنة بالعينات المرجعية، حيث انخفض بمقدار (40%) بعد (12) يوماً، مما يدل على فعالية الفلم في إطالة مدة صلاحية اللحوم.

تُظهر هذه النتائج أن فلم الكيتوزان/نشاء المدعم بزيت القرفة يُعد خيارًا واعدًا في مجال التغليف النشط، لما يتمتع به من خصائص مضادة للأكسدة والبكتيريا، وقدرته على تحسين جودة وسلامة المنتجات الغذائية أثناء التخزين.

الكلمات المفتاحية: فلم صالح للأكل – النشاء – الكيتوزان– زيت القرفة –حفظ اللحوم – مضاد بكتريا – مضاد للأكسدة.

* مدرس في قسم هندسة تقانة الأغذية – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس– طرطوس – سوريا.

** حاصلة على درجة الماجستير في قسم هندسة تقانة الأغذية – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس– طرطوس – سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٢) ٢٠٢٦
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (2) 2026

Evaluation of physical, mechanical, and antibacterial properties of starch/ chitosan edible films incorporated with cinnamon oil

Dr. Mosab Ghanem*
Eng. Arij Moalla**

(Received 21/8/2025 . Accepted 27/1/2026)

□ ABSTRACT □

In the context of the global trend towards developing sustainable and efficient packaging materials, edible films are emerging as a promising alternative to traditional materials.

In this study, edible films were prepared from a starch–chitosan blend using the solvent casting technique. The aim was to evaluate the effect of incorporating cinnamon oil at varying concentrations (1%, 2%, and 3%) into the formulated films, in order to enhance their functional properties for active packaging applications, particularly for meat preservation.

The physical and mechanical properties of the films were assessed, with thickness ranging between 0.18 and 0.30 mm. Mechanical testing revealed that the highest tensile strength (7.4 MPa) was achieved at a cinnamon oil concentration of 3%, compared to 11 MPa in the control film. The elongation at break (Eb) reached 3.8%, indicating good flexibility of the prepared films.

Water vapor transmission rate (WVTR) decreased by 67% upon the addition of cinnamon oil, due to the formation of a more hydrophobic and less porous structure, which improved the film's moisture barrier properties. This enhancement contributed to reduced moisture loss and a gradual increase in antioxidant activity. The film's ability to scavenge free radicals reached 85% at 3% cinnamon oil, attributed to the presence of phenolic compounds such as cinnamaldehyde.

Antibacteria activity((*E.coli* و (*S.aureus*))also improved with increasing oil concentration, as demonstrated by the expansion of inhibition zones and reduced microbial growth on the surface of treated samples. This was reflected in the spoilage rate, Compared to the control samples, microbial growth decreased by 40% after 12 days. These findings confirm the film's effectiveness in extending the shelf life of meat.

Overall, the starch/chitosan film enriched with cinnamon oil presents a promising candidate for active packaging, offering antioxidant and antimicrobial properties, and contributing to the improved quality and safety of food products during storage.

Keywords:

Edible film – Starch – Chitosan – Cinnamon essential oil – Antibacterial– antioxidant

*Lecturer- Department of Food Technical, Faculty of Technical Engineering Tartous University – Syria
** Master- Department of Food Technical, Faculty of Technical Engineering Tartous University – Syria.

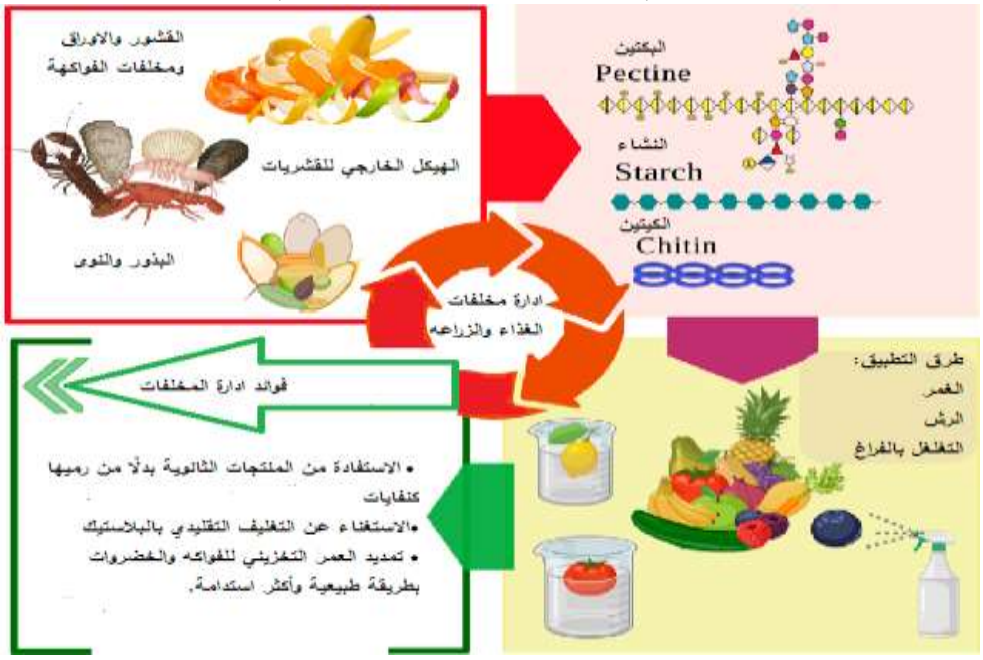
1-المقدمة:

تواجه صناعة الأغذية في الوقت الراهن تحديات كبيرة تتعلق بفقدان الجودة والسلامة الصحية، لا سيما في المنتجات سريعة التلف، وذلك خلال المراحل الممتدة من الحصاد وحتى الاستهلاك ضمن سلسلة الإمداد الغذائي[1]. وترتبط هذه الخسائر بشكل رئيسي بتلف الأغذية الناتج عن التلوث الميكروبي، وأكسدة المركبات الحيوية مثل الدهون والبروتينات، إضافةً إلى تدهور الخصائص الحسية كالمظهر والطعم والرائحة[2]. تؤثر هذه العوامل مجتمعة على سلامة المنتجات الغذائية، وتشكل تهديدًا محتملاً لصحة المستهلك، كما تقلل من قبول المنتج في السوق[3].

وفي ظل التوجه العالمي نحو تقليل الاعتماد على مواد التغليف البلاستيكية غير القابلة للتحلل[4]. برزت الأفلام الحيوية الصالحة للأكل كحل مبتكر وصديق للبيئة في مجال حفظ الأغذية، والتي تعتمد على بوليمرات طبيعية قابلة للتحلل، وتُعزز غالبًا بمواد فعالة ذات خصائص مضادة للبكتيريا ومضادة للأكسدة[5].

ولإنتاج هذه الطلاءات، يمكن استخدام تركيبات متنوعة تعتمد على مركبات هيكلية مختلفة. وبناءً على طبيعة مكوناتها، يمكن تصنيف الطلاءات الصالحة للأكل إلى ثلاث مجموعات: الهيدروكولويدات مثل السكريات المتعددة والبروتينات، والدهون، والخليط بين الهيدروكولويدات والدهون[6].

وقد تم بالفعل النظر في استخدام المخلفات الثانوية الناتجة عن الصناعات الغذائية والزراعية لإنتاج البوليمرات الحيوية المستخدمة في هذه الطلاءات. وتُعد هذه الاستراتيجية القائمة على الاقتصاد الدائري وسيلة فعالة لتقليل هدر الطعام وخفض الأثر البيئي لصناعة الأغذية كما هو موضح في الشكل(1) [7].



الشكل(1): فوائد ادارة مخلفات الغذاء والزراعة

يُعد النشاء من أكثر البوليمرات النباتية استخدامًا في تصنيع الأفلام الحيوية، نظرًا لتوفره الواسع، وانخفاض تكلفته، وقدرته على تشكيل أغشية شفافة[8]. ومع ذلك، فإن استخدامه يواجه تحديات تتعلق بضعف خصائصه الميكانيكية، مثل انخفاض قوة الشد، مما يؤدي إلى هشاشة الأغشية، بالإضافة إلى محدودية خصائصه الوظيفية، كارتفاع نفاذيته للرطوبة، الأمر الذي يقلل من فعاليته في حفظ الأغذية. وللتغلب على هذه

القيود، يُدمج النشاء غالبًا مع بوليمرات أخرى مثل الكيتوزان، وهو بوليمر حيوي مشتق من الكيتين، يتميز بخصائصه المضادة للميكروبات، وقدرته على تحسين قوة الشد ومقاومة الرطوبة في الأفلام المركبة[9]. وقد أظهرت دراسات متعددة [10]. أن دمج النشاء والكيتوزان يُنتج أفلامًا أكثر كفاءة في التغليف، خاصة عند إضافة مواد فعالة مثل الزيوت العطرية. ويُعد زيت القرفة من أبرز هذه المواد، لما له من خصائص مضادة للبكتيريا ومضادة للأكسدة، كما أثبتت دراسات [11] فعاليته في إطالة مدة صلاحية اللحوم وتقليل نمو البكتيريا الممرضة مثل E. coli و .S. aureus إن تحضير فلم صالح للأكل يجمع بين النشاء، الكيتوزان، وزيت القرفة يُعد خطوة متقدمة نحو إنتاج مادة تغليف فعالة، آمنة، وصديقة للبيئة، قادرة على حماية اللحوم الطازجة من عوامل الفساد، وتحسين خصائصها الحسية والميكروبية. ويأتي هذا البحث ليساهم في تطوير هذا النوع من الأفلام، من خلال دراسة خصائصه الفيزيائية، الميكانيكية، والوظيفية، وتقييم فعاليته في حفظ اللحوم الطازجة تحت ظروف التخزين المختلفة[12]

مشكلة البحث:

تعد ظاهرة التلف السريع للمنتجات الغذائية الطازجة وخاصة اللحوم، مشكلة رئيسية في صناعة الاغذية، مما يؤدي الى هدر غذائي واقتصادي كبير. كما ساهم الاستخدام الواسع للمواد البلاستيكية المشتقة من البترول في تغليف هذه المنتجات في تفاقم مشكلة التلوث البيئي وتراكم النفايات الغير قابلة للتحلل. وبالرغم من أنّ أفلام تغليف الأغذية التي تستند في تركيبها على بوليميرات طبيعية مثل النشاء والكيتوزان، إلا أنّ الأخيرة تحتاج لتحسين خصائصها الوظيفية لتكون فعالة في حفظ الأغذية، ولا تزال هناك حاجة لتطوير أفلام تغليف صالحة للأكل تجمع بين الاستدامة البيئية والفعالية الحيوية، وهو ما يسعى هذا البحث لتحقيقه من خلال إضافة زيت القرفة بنسب مختلفة كمكون نشط.

أهداف البحث:

- تحضير فلم صالح للأكل من النشاء والكيتوزان مدعم بزيت القرفة (كمادة فعالة طبيعية) لتحسين الخصائص الوظيفية.
- تقييم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والوظيفية بما في ذلك النشاط المضاد للأكسدة والفعالية المضادة للبكتريا.
- اختبار كفاءتها العملية في حفظ اللحوم الطازجة والحفاظ على جودتها أثناء التخزين.
- مقارنة اداء الفلم المدعم بزيت القرفة مع الافلام الغير مدعمة لتحديد مدى التحسن في الخصائص الحيوية والحفظ.

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في مساهمته في تقديم حل عملي ومبتكر يجمع بين متطلبات الاستدامة البيئية (من خلال استخدام مواد قابلة للتحلل) والفعالية الوظيفية (من خلال الخصائص النشطة لزيت القرفة)، مما يدعم الانتقال نحو نظم تغليف أكثر أماناً واستدامة في الصناعات الغذائية.

2 –المواد والطرائق المستخدمة:

2–1المواد: تم الحصول على النشا المستخلص من الذرة المستخدم كأساس لتشكيل الفلم القابل للأكل من شركة (Loba chemie,India)، كما تم الحصول على الكيتوزان من نفس الشركة وهو يتميز بدرجة نقاء

عاليـة(98%) ودرجـة نـزع الأسـتلة لـه (deacetylation95%) وزن جزيئـي (MW=149kDa) يُسـتخدم لتعزيـز الخصـائص الميكانيكيـة والوظيفيـة للفلـم، زيـت القرفـة طبيعـي مـزود مـن شـركة (Cassia Co-op) فـي الصـين، نقطـة الغليـان لـه(220°C)، الكثافـة (1.03g/mL) عنـد درجـة الحـرارة (25°C) يُضـاف كمكـون نشـط مضـاد للأكسدة والبكتيريا، بينما تم الحصول على حمض الخليك من شركة (Vardaan House Ansari Road) فـي الهنـد، وزنـه الجزيئـي (60.05) درجـة الحموضـة) (acidimetric=99.8%) لتحضـير محلـول الكيتـوزان الجلسرين يُستخدم كمُلدّن لتحسين مرونة الفيلم، إضافة لاستخدام ماء مقطر لتحضير المحاليل.

2-2تحضير فلم النشاء -كيتوزان المدعم بزيت القرفة:

تحضـير محلـول الكيتـوزان: تـم إذابـة الكيتـوزان فـي حمـض الخليـك بتركيـز (2wt%) باسـتخدام مـازج مغناطيسـي بسـرعة دوران (200rpm)، مـع التحريـك المسـتمر لمـدة (4) سـاعات حتـى الـذوبان الكامـل، وتـم ضـبط درجـة الحموضـة لمحـول الكيتـوزان عنـد(pH=5) باسـتخدام (NaOH) [13]. بشـكل تـدريجي حتـى الوصول إلى القيمة المطلوبة. تركيز NaOH المستخدم 0.1M، وذلك لتجنب التغيرات الحادة في pH وللسيطرة الدقيقة على التعديل.

- **تحضير محلول النشا:** إذابة النشا في الماء المقطر بنسبة(5wt%) عند درجة حرارة (90°C) والتحريك باستخدام المازج المغناطيسي عند سرعة دوران (200rpm) لمدة ساعة كاملة.
- **مزج المحاليل:** تم مزج المحلولين المحضّرين من الكيتوزان والنشا بنسبة (1:1) مع تحريك مغناطيسي عند سرعة دوران (200rpm) وإضافة الجلسرين بنسبة (2wt%) كمُلدّن.
- **إضافة زيت القرفة:** يضاف زيت القرفة بتراكيز وزنية مختلفة(1,2,3%) إلى الخليط، مع التحريك المستمر للحصول على مزيج متجانس.
- **صب الفيلم:** يُصب الخليط في أطباق بيتري، ويُترك ليجف في درجة حرارة الغرفة لمدة (48) ساعة كما في الشكل (2).

الشكل(2)الاغلفة المتشكلة

3- الطرائق المستخدمة لتحديد خصائص الأغلفة:

1.3الخصائص الفيزيائية:

3-1-1 السـماكة: تـم قيـاس سـماكة الفلـم باسـتخدام ميكرومتـر رقمـي تـم إجـراء عشـرة قياسـات للسماكة علـى كـل عينـة اختبـار فـي نقـاط مختلفـة وتـم اسـتخدام القـيم المتوسـطة فـي حسـابات النفاذيـة وقـد تـم اعتمادها فـي دراسـات سـابقة مثـل تلـك التـي أجراهـا[14] والتـي أثبتـت فعاليـة الميكرومتـر الرقمـي فـي قيـاس سماكة الأغشية البلاستيكية بدقة عالية.

3-1-2 معدل انتقال بخار الماء بخار الماء :(water vapor transmission ratio):

ويرمز له اختصاراً (WVTR): ويعرف بأنه كمية بخار الماء المنتقلة عبر وحدة المساحة من الغلاف خلال زمن محدد في ظل شروط خاصة من الرطوبة ودرجة الحرارة واحدتها ($g/m^2.day$). وعند الأخذ بالاعتبار سماكة الغلاف($g.mm/m^2.day$). الأغلفة المستخدمة في حفظ الأغذية يجب أن تتميز بنفاذية منخفضة لبخار الماء، بحيث يقل قبطها للرطوبة إلى الحد الأدنى لكون الوسط الرطب يعتبر مناسب لنمو الأحياء الدقيقة وتسريع فساد الأغذية.

تم تقدير نفاذية الأغلفة لبخار الماء باستخدام نظام الكوب الرطب (Wet cup method) عند درجة حرارة الغرفة وفقاً للمواصفة القياسية (ASTM E96)، والتي تستند لاستخدام وعاء بلاستيكي أسطواني، نصف قطر المقطع الدائري له (3.5cm) مملوء بحوالي (3/4) من حجم الوعاء بالماء المقطر، وبعد ذلك تم تغطية فوهته بعينة الغلاف بأبعاد (4×4cm) وأغلق بإحكام باستخدام مادة لاصقة موضوعة على حواف العينة وفوهة الوعاء لمنع تسرب البخار، من ثم يتم وزن الوعاء مع محتوياته والتقريب إلى (0.01g).

ويتم مراقبة التغير في الوزن كل يوم لمدة أسبوع عند درجة حرارة الغرفة، ويتم رسم المنحني البياني بين انخفاض الوزن (g) في مقابل الزمن (day)، لحساب ميل الخط البياني الناتج ثم يتم حساب معدل انتقال بخار الماء عبر الغلاف (Water vapourTransmission Rate)(WVTR) من خلال العلاقة:

$$\mathbf{(1)} \qquad \boldsymbol{WVTR = \frac{dw \times l}{dt \times s}}$$

يتم تقدير (WVTR) بواحدة ($g.mm/cm^2.day$).

dw/dt: التغير في الوزن على التغير في الزمن ويتم حسابه من ميل العلاقة بين تغير الوزن والزمن.

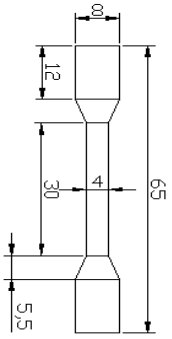
L: سماكة الفلم (mm).

S: مساحة الفلم التي ينتقل عبرها بخار الماء (cm^2).

2.3 الخصائص الميكانيكية:

تم إجراء اختبار الشد للأفلام المحضرة وفق المواصفة العالمية (ASTMD882) في الشركة العامة لمرفأ طرطوس عند درجة حرارة الغرفة باستخدام آلة الشد متعددة الأغراض الموضحة بالشكل(3) باستخدام سرعة شد (50mm/min). بينما يوضح الشكل(4) أبعاد عينات اختبار الشد المستخدمة:

الشكل(3): جهاز اختبار الشد



الشكل (4): نموذج اختبار الشد

تم تحديد السلوك الميكانيكي للعينات المختبرة :

- **إجهاد الشد الاعظمي:** وهي أعلى قيمة على الرسم البياني (σ_M).
- **الاستطالة عند الكسر(Eb)(Elongation at break):** تعكس قدرة المادة على التمدد قبل أن تنكسر أي هي أقصى تشوة يمكن ان تتحمله المادة قبل ان تنقطع.

3.3. النشاط المضاد للأكسدة:

تم تحديد النشاط المضاد للأكسدة للفلم المحضر باستخدام اختبار-1-(2,2-diphenyl-picrylhydrazyl)DPPH من خلال تحديد قدرة الفلم على تثبيط الجذور الحرة كما في دراسة حديثة أجراها [15] **وذلك وفق مايلي:**

- تحضير محلول DPPH: يُذاب DPPH في الميثانول بتركيز (0.1) ملي مولار، ويُحفظ في الظلام لتجنب التحلل الضوئي.
- تحضير العينة: تُقطع الأفلام الحيوية إلى قطع صغيرة وتُغمر في (5) مل من المحلول المحضر .
- التحضين: تُترك العينات في الظلام عند درجة حرارة الغرفة لمدة 30 دقيقة لضمان التفاعل الكامل بين مضادات الأكسدة والجذور الحرة.
- يتم قياس الامتصاصية عند طول موجة517 نانومتر باستخدام مطيافية الضوء المرئي (Spectrophotometric V-780, JASCO, Japan) في مخبر تقانة الأغذية في مديرية المخابر المركزية في الشركة العامة لمرفأ طرطوس، والموضحة في الشكل(5):

الشكل(5): مطيافية الضوء المرئي (Spectrophotometric V-780, JASCO)

- تُحسب نسبة التثبيط المئوية لمقارنة الفعالية بين العينات من خلال المعادلة:

$$DPPH\ scavenging\ activity(\%) = \frac{\text{Abscontrol} - \text{Abssample}}{\text{Abscontrol}} \times 100 \quad (2)$$

$A_{control}$: الامتصاص الضوئي لمحلول DPPH بدون العينة (أي بدون مضاد أكسدة).

A_{sample}: الامتصاص الضوئي لمحلول DPPH بعد إضافة العينة (الفيلم أو المستخلص).

4.3 الفعالية المضادة للبكتيريا:

يتم تحديد الفعالية المضادة للبكتريا باستخدام طريقة الانتشار في الأطباق(Agar Diffusion Method)

كما ورد في دراسة [16]. مع بعض التعديلات الطفيفة وفق الخطوات الأساسية التالية:

استُخدم وسط Müller-Hinton Agar (MHA) كوسط زرعي قياسي لنمو البكتيريا المستهدفة، نظرًا لملاءمته لنمو كل من السلالتين(*E. coli*) و (*S.aureus*).

تم تحضير المعلق البكتيري من مزرعة حديثة (48–18) ساعة وذلك بزراعة السلالتين(*E. coli*) و (*S.aureus*) في وسط المرق المغذي(Nutrient) وقد تم الحصول على الزرعات البكتيرية من كلا السلالتين لمسحات من الأمراض مجموعة من مخبر الأحياء الدقيقة في المشفى الوطني بطرطوس.

بعد ذلك، تم تلقيح سطح وسط Müller-Hinton Agar (MHA) المُحضّر مسبقًا في أطباق بتري معقمة، وذلك باستخدام ممسحة قطنية معقمة مغموسة في المعلق البكتيري، لضمان توزيع متجانس للبكتيريا على كامل سطح الوسط الزرعي. وضع أقراص ورقية معقمة بقطر 10 مم مشبعة بـ 10 ميكرولتر من المحلول المراد اختباره (كيتوزان نشا مع نسب مختلفة من زيت القرفة) حُضنت بعدها الأطباق عند 37°C لمدة 24ساعة في حجرة التحضين موديل (BA1101) مزودة من شركة (iLABOT) في نيودلهي بالهند كما في الشكل(6).

بعد انتهاء فترة الحضانة، تم قياس نصف قطر منطقة التثبيط حول كل قرص باستخدام مسطرة ، وهي المنطقة الشفافة التي لم يظهر فيها أي نمو بكتيري، مما يدل على فعالية المادة المختبرة في تثبيط نمو البكتيريا. ثم حساب قطر منطقة التثبيط الكامل بمضاعفة نصف القطر تم تسجيل القيم بوحدة المليمتر.

الشكل(6): الحاضنة المستخدمة لتحضين الزرعات البكتيرية

5.3 تطبيق الفلم على عينات من اللحوم:

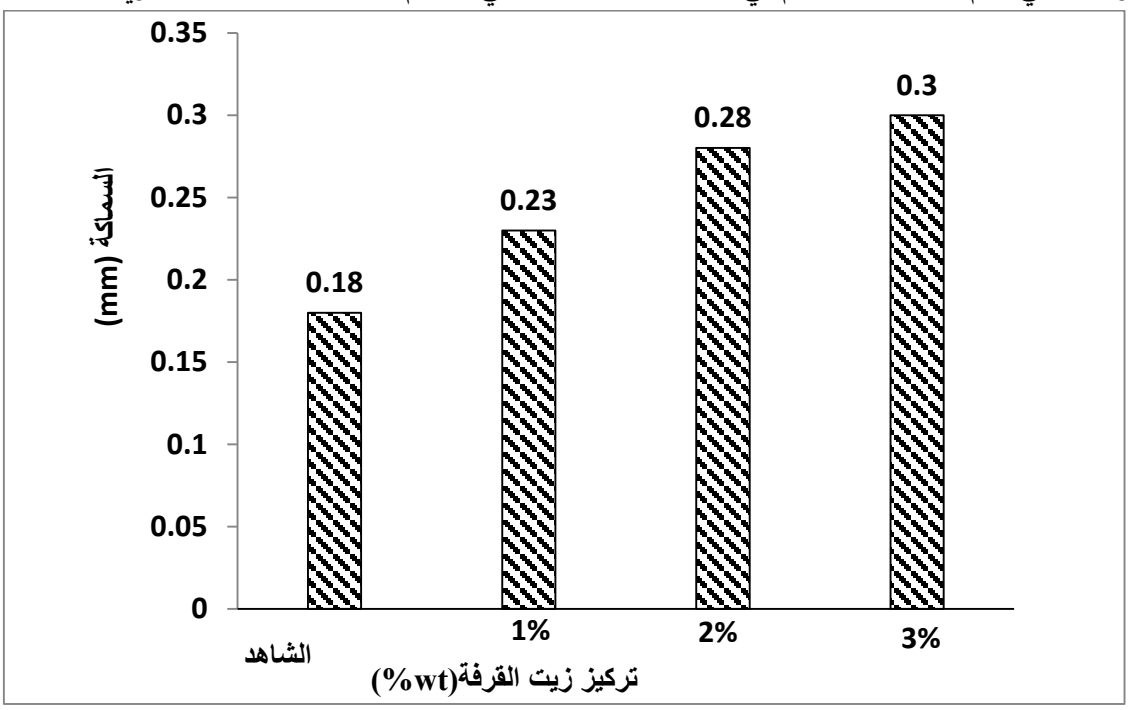
- تم الحصول على اللحم من لحام محلي في مدينة طرطوس وهي عبارة عن لحم عجل طازج أحمر، قبل إجراء التجارب بوقت قصير، تم إزالة بقايا الدهن والأنسجة الضامة وقطعت العينات يدوياً على شكل مكعبات بأبعاد (2×2×2cm) غسلت بالماء المقطر، ومن ثم أزيل بقايا الماء باستخدام ورق ترشيح.
- تُغلف عينات من اللحم الطازج بالفيلم المحضر لمدة (12) يوم عند درجة حرارة (4°C).
- تُراقب التغيرات في:
  - ✓ اللون والرائحة.
  - ✓ النمو الميكروبي.
  - ✓ مدة الصلاحية مقارنة بعينات غير مغلفة أو مغلفة بفلم غير مدعم.

4- النتائج والمناقشة:

4-1الخصائص الفيزيائية:

سماكة الفلم القابل للأكل:

تؤثر سماكة الغلاف بشكل كبير على فعالية التغليف، نظراً لتأثيرها المباشر على الخصائص الحجزية للرطوبة ونفاذية الغازات وبخار الماء، إضافة إلى انعكاسها على كلفة تصنيع الأفلام القابلة للأكل [17]. إن التغير في سماكة الفلم الناتج عن اختلاف تركيبة البوليمر والمكونات المضافة يؤثر على الأداء الحجزي والميكانيكي للفلم، مما يجعل التحكم في السماكة عاملاً أساسياً في تصميم أغشية فعالة للتغليف الحيوي.



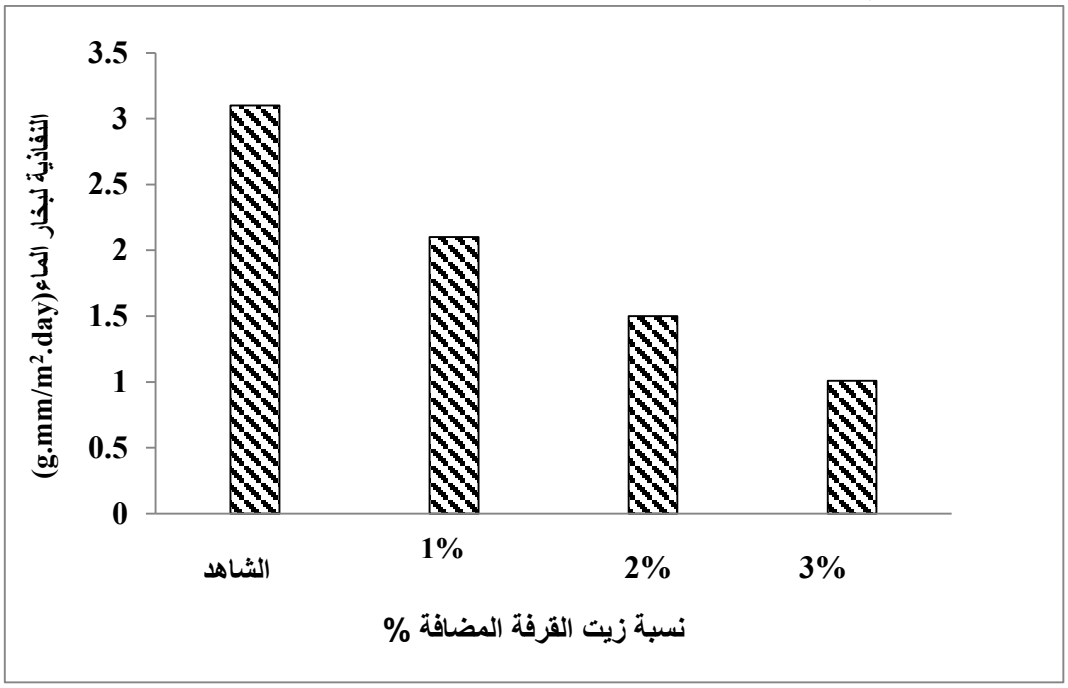
الشكل (7): سماكة الأفلام المحضّرة كتابع لتركيز زيت القرفة

أدت إضافة زيت القرفة إلى زيادة طفيفة في سماكة الفلم الحيوي مع ارتفاع تركيز الزيت، نتيجة لتداخل الجزيئات الزيتية في البنية البوليمرية، حيث لوحظ أن إدخال الزيوت العطرية في أفلام الكيتوزان يؤدي إلى تغيرات في البنية المجهرية وزيادة السماكة كما في الشكل (7). وهو ما يتفق مع ما أوردته Dazaوزملاؤها[18]، تبين إن ارتفاع تركيز الزيت يعزز الطابع الهيدروفوبي للفلم، مما يقلل من ذوبانيته في الماء، بسبب انخفاض قدرة الماء على اختراق البنية البوليمرية وتفكيك الروابط الهيدروجينية، وهو ما تم توثيقه أيضًا في دراسات أخرى [19] التي أظهرت انخفاضًا في الذوبانية بنسبة تصل إلى 25% عند إضافة زيت إكليل الجبل إلى أفلام الكيتوزان.

النفاذية لبخار الماء:

تفيد دراسة نفاذية الأفلام القابلة للأكل لبخار الماء في فهم آلية انتقال الكتلة عبر الفلم، والتأثير المتبادل بين السلاسل البوليميرية والمذيب، وهو مؤشر مهم جداً لانتقال الرطوبة بين المنتج الغذائي والوسط المحيط والعكس، وله التأثير الأكبر على مدة صلاحية المنتج الغذائي المغلف، كما أوضح Avena [20] في دراسة

حول نفاذية بخار الماء للأفلام الهيدروفيلية، حيث أكد أن دقة قياسWVPضرورية لضمان استقرار المنتج الغذائي وتحديد ملاءمة الفلم لتطبيقات التغليف المختلفة.



الشكل (8): معدل انتقال بخار الماء عبر الأفلام المحضرة

يتبين من خلال الشكل(8) أنه كلما زادت نسبة زيت القرفة في غلاف الكيتوزان/نشاء، انخفضت نفاذية بخار الماء نتيجة لتكوين بنية أكثر هيدروفوبية وأقل مسامية، مما يُحسن من خصائص الحاجز المائي للفلم ويجعله أكثر كفاءة في حفظ الأغذية وتقليل فقدان الرطوبة.

أي ان وجود طبقة هيدروفوبية داخل الفلم عند دمج الزيت في مصفوفة الكيتوزان/نشاء، تؤدي الى توزع قطرات الزيت داخل البنية البوليمرية، مما يُكوّن حواجز دقيقة تمنع مرور بخار الماء بالإضافة الى تحسين التراص الجزيئي وتقليل المسامية فالزيت يعمل كعامل ملدن"plasticizer" جزئي بالتالي يُقلل من المسارات التي يمر منها بخار الماء.

هذه الخصائص تتماشى مع ما توصل إليهOyekunle[21]، حيث أظهرت دراسته أن دمج الكيتوزان والنشاء باستخدام ملدنات مثل الجليسرول والبولي إيثيلين غليكول أدى إلى تحسين مرونة الأغلفة وزيادة قوة الشد نتيجة البنية المتماسكة التي يوفرها الكيتوزان، في حين انخفضت الاستطالة وزادت نفاذية بخار الماء بفعل تأثير الملدنات على البنية المجهرية للفلم.

4-2الخصائص الميكانيكية:

يجب أن تتمتع الأفلام القابلة للأكل المستخدمة بتغليف المواد الغذائية بمقاومة ميكانيكية جيدة تمنع أي ضرر قد يصيبها خلال عمليات التصنيع، المناولة، النقل، التخزين، وتعتبر مقاومة الشد(tensile strength) المؤشر الأكثر أهمية عند دراسة السلوك الميكانيكي للمواد [22].

الجدول (1): الخصائص الميكانيكية للأغلفة

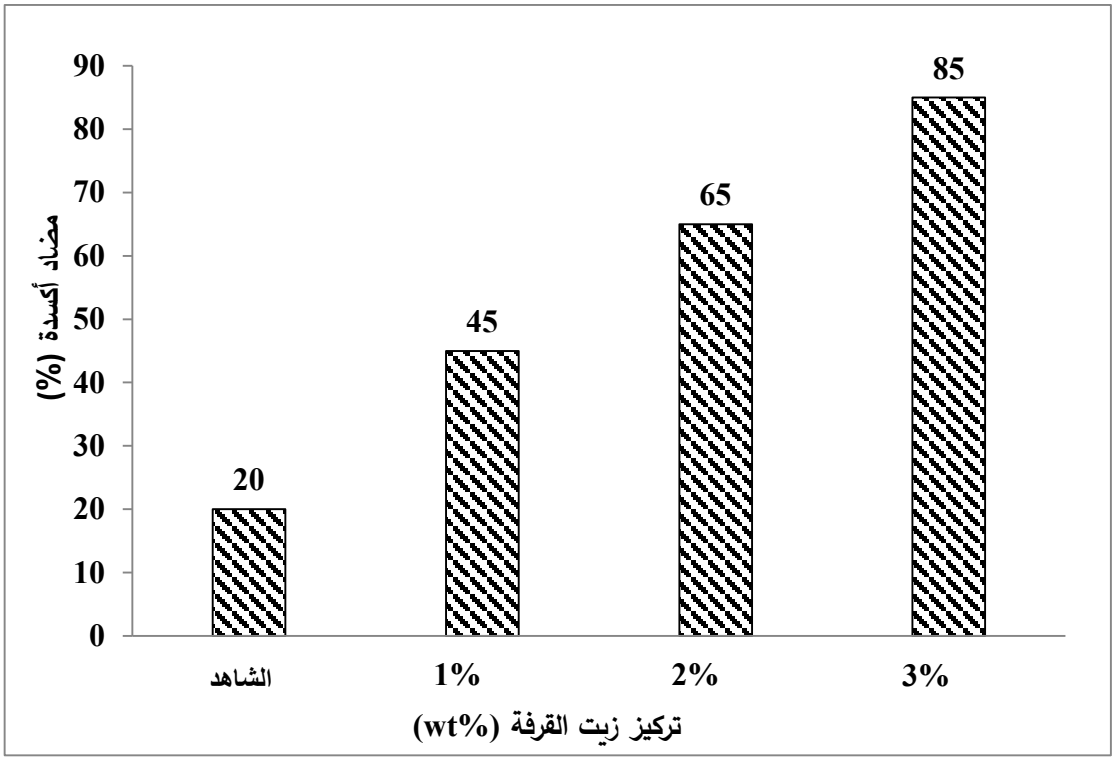
الخاصية	الشاهد	الغلاف مع نسبة 1%زيت القرفة	الغلاف مع نسبة 2%زيت القرفة	الغلاف مع نسبة 3%زيت القرفة
إجهاد الشد الاعظمي (σ_M)	11	10.1	8.5	7.4
الاستطالة عند القطع(Eb%)	2.3	2.7	3	3.8

يلاحظ من خلال الجدول (1)أن الأفلام المحضرة من الكيتوزان والنشاء تتمتع بخواص ميكانيكية جيدة (العينة الشاهد)، تنخفض مقاومة الشد بشكل بسيط بعد إضافة زيت القرفة، إذ يعمل هذا الزيت كملدن حيث يؤدي إلى زيادة الحجم الحر بين سلاسل الكيتوزان الجزيئية والنشاء، وبالتالي يضعف الترابط الهيدروجيني ويخفض مقاومة الشد للفلم المحضّر. وفي الوقت ذاته يؤدي إلى زيادة المرونة إذ يمنح حرية أكبر لحركة السلاسل البوليميرية للنشاء والكيتوزان، ويسهل إعادة توجيهها والتي تسبب زيادة في الاستطالة عند القطع مع زيادة تركيز زيت القرفة ضمن الفلم القابل للأكل. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Sun[23]، عندما قام بتصنيع أغلفة من الكيتوزان (1.5%)، الجليسرين (0.5%)، وزيت الزعتر العطري (0.5%) بطريقة صب المذيب.

حيث أدت إضافة الزيت بالنسبة المذكورة إلى تخفيض مقاومة الشد بنسبة (16%) مقارنة بالفلم المحضّر من الكيتوزان النقي، وزيادة الاستطالة عند الكسربنسبة (19.01%) مما يشير الى مرونة أعلى بعد إضافة بزيت الزعتر.

4-3 النشاط المضاد للأكسدة :

يؤدي النشاط المضاد للأكسدة للأفلام القابلة للأكل المستخدمة في تغليف الأغذية إلى إطالة فترة صلاحية الغذاء من خلال تثبيط تفاعلات الأكسدة وإبطاؤها التي تؤثر بشكل رئيسي على الدهون والبروتينات، مما يقلل من التلف الناتج عن الجذور الحرة ويُحسن استقرار المنتج أثناء التخزين [24].



الشكل(9): النشاط المضاد للأكسدة للأفلام المقاسة بواسطة (DPPH)

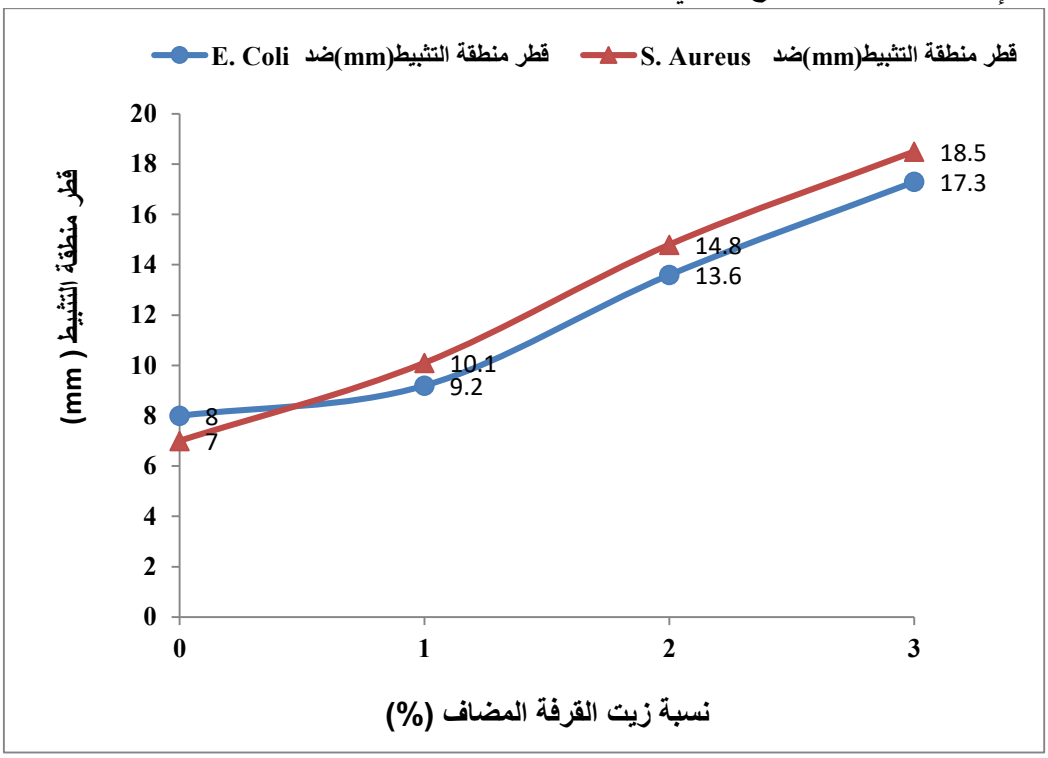
يتضح من خلال الشكل(9) بأن الأفلام المدعمة بزيت القرفة تظهر قدرة عالية على تثبيط الجذور الحرة، حيث يزداد نشاط تثبيط الجذور الحرة (DPPH) مع ارتفاع تركيز زيت القرفة، حيث وصل إلى(85%) عند تركيز 3%.

فمن المعروف أن الكيتوزان يتميز بنشاط مضاد للأكسدة بفضل مجموعات الأمين التي يمكنها كسح الجذور الحرة.

ويرجع ذلك إلى أنّ زيت القرفة غني بمركبات فينولية مثل ألدهيد القرفة (Cinnamaldehyde) وأوجينول(Eugenol) ، وهي مركبات قوية مضادة للأكسدة، وبالتالي كلما زادت نسبة زيت القرفة، زادت كمية المركبات الفينولية في الغلاف، مما يؤدي إلى تحسين قدرة الغلاف على كسح الجذور الحرة (FreeRadicalscavengering)، كما يؤدي إلى منع الأكسدة الذاتية للدهون أو البروتينات في الأغذية المغلفة حيث ينتشر الزيت ضمن الأغلفة على شكل قطرات دقيقة، مما يُوفر سطحًا فعالًا للتفاعل مع الجذور الحرة، كما تحصل تفاعلات بين المجموعات الفعالة في الكيتوزان والمركبات الفينولية، مما يُعزز النشاط التكاملي المضاد للأكسدة[25]. تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Wang [26] بتطوير أغلفة غذائية نشطة تعتمد على الكيتوزان، وذلك من خلال دمج مستحلبات نانوية مكونة من جسيمات الكيتوزان والزين، مع مركبين طبيعيين فعالين هما ألدهيد القرفة وبوليفينولات الشاي، بهدف تعزيز الخصائص المضادة للأكسدة والمضادة للبكتيريا، وقد أظهرت الأغلفة المحسّنة نشاطًا مضادًا للأكسدة أعلى بكثير مقارنة بالأغلفة التقليدية، كما ساهمت الأغلفة في إطالة مدة صلاحية اللحوم الطازجة، إذ يعطّل ألدهيد القرفة الوظائف الحيوية للبكتيريا كما توفّر البوليفينولات الموجودة في الشاي حماية قوية ضد الأكسدة.

4-4 الفعالية المضادة للبكتيريا(Inhibition Zone Diameter):

يعتبر التضاد البكتيري لأفلام التغليف من أهم الشروط التي يجب أن تتمتع بها هذه الأفلام للمحافظة على المحتوى الغذائي طازجاً أطول فترة ممكنة، وهو من العوامل الأساسية التي تؤدي للقضاء على العوامل الممرضة وإطالة مدة صلاحية المنتج الغذائي المغلف [27].

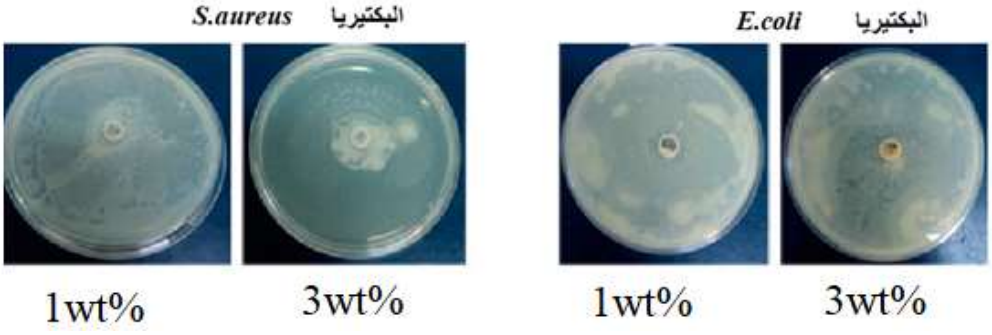


الشكل (10): الخصائص المضادة للبكتريا

يتبين من خلال الشكل(10) ازدياد الفعالية المضادة لنوعي البكتيريا بشكل تدريجي مع زيادة نسبة زيت القرفة، ويرجع ذلك لارتفاع تركيز المركبات الفينولية النشطة مثل ألدهيد القرفة الموجودة في الزيت، والتي تعمل بشكل تآزري مع المجموعات الأمينية($-NH_2$)الموجودة في الكيتوزان على تثبيط نمو البكتيريا، حيث ترتبط بالغشاء السيتوبلازمي للخلية وتمزيقه، وتفريغ محتوياته، وبالتالي القضاء على البكتيريا[28].

كما يعمل ألدهيد القرفة (Cinnamaldehyde) على تثبيط إفراز الإنزيمات البكتيرية واختراق الغشاء الخلوي لها، كما أن زيت القرفة غني بالأوجينول والذي يسبب تلف الجدار الخلوي، ويؤثر على نفاذيته [29]وبالتالي يزداد النشاط المضاد لنوعي البكتيريا مع زيادة تركيز زيت القرفة في الأفلام المحضرة بحيث يزداد نصف قطر التثبيط البكتيري مع زيادة تركيز الزيت كما يتضح من الشكل(11) وهذا يتفق مع دراسة أجراها Hosseini[30]حيث تم دمج جسيمات الكيتوزان النانوية المحمّلة بألدهيد القرفة داخل مصفوفة بوليمرية مكونة من بولي فينيل الكحول، وجيلاتين السمك والتي أظهرت نشاطًا قويًا ضد العديد من السلالات البكتيرية مثل (Staphylococcus aureus) (Listeria monocytogenes) و(Escherichia coli)

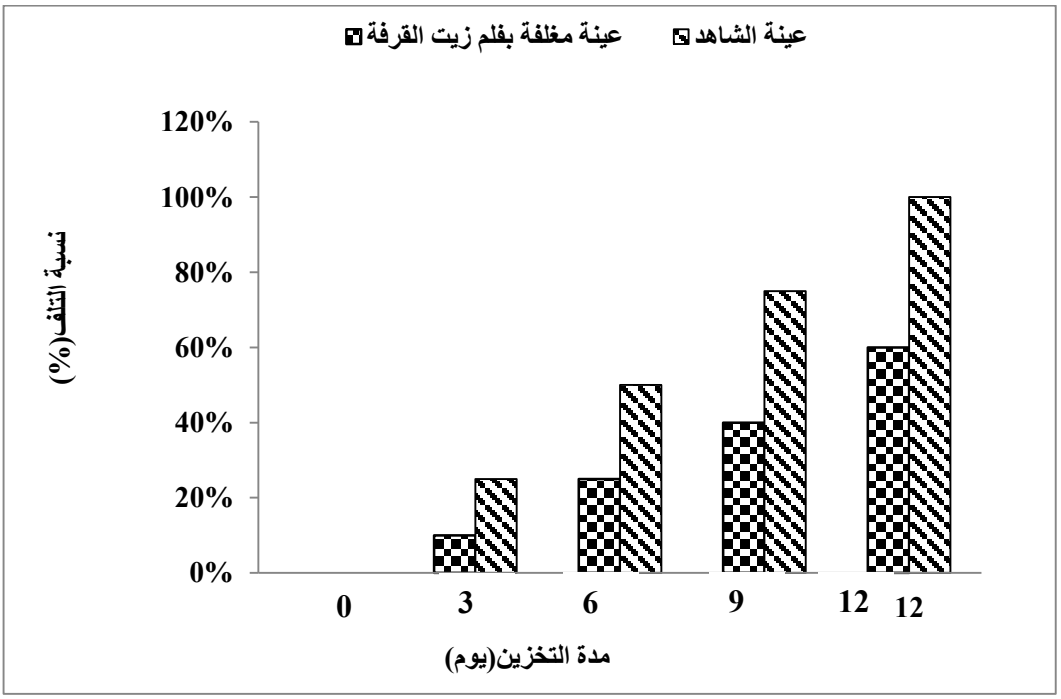
وتحسين الخصائص الفيزيائية والوظيفية للأغلفة، مما يجعلها خيارًا فعالًا لتغليف الأغذية الطازجة، خاصة الأسماك، مع تعزيز السلامة والجودة الغذائية.



الشكل (11): النشاط المضاد للبكتيريا للأغلفة المحضرة

4-4 حفظ اللحوم خلال التخزين:

من المعروف أن الأفلام المصنعة من الكيتوزان تشكل حاجزاً ضد تبادل الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون والذي يؤدي للحفاظ على نوعية المنتج الغذائي ويطيل فترة صلاحيته، كما أن زيت القرفة يؤدي لتثبيط بعض المواد المسببة لتلف اللحوم وإبطال تأثيرها، وبالتالي زيادة مدة صلاحيتها. وتم اختيار الغلاف الذي أضيفت له نسبة (3wt%) من زيت القرفة لكونه أعطى المعدل الأقل لنفاذية بخار الماء وأعلى نشاط مضاد للأكسدة وأعلى فعالية مضادة لنوعي البكتيريا المدروستين:



الشكل(12): نسبة تلف اللحم

يتبين من خلال الشكل (12) أن التلف قد أصاب العينات المرجعية غير المغلفة بعد (12) يومًا من التخزين، أما العينات المغلفة بالفلم المدعم بزيت القرفة فقد أظهرت انخفاضًا بنسبة %(40) في معدل التلف.

يُعزى انخفاض معدل التلف في العينات المغلفة بفلم الكيتوزان/النشاء المدعّم بزيت القرفة إلى التأثير التآزري بين الخصائص المضادة للبكتيريا ومضادات الأكسدة، حيث تُسهم هذه الخصائص في تقليل الأكسدة الذاتية للدهون والبروتينات في اللحوم، مما يُبطئ من ظهور الروائح الكريهة والتغيرات اللونية المرتبطة بالتلف.

كما يعمل الفلم الحيوي كـ حاجز مائي، يُقلل من فقدان الرطوبة ويُخفض النشاط المائي(Water Activity)، وهو عامل رئيسي في نمو الكائنات الدقيقة، مما يُساهم في إطالة مدة صلاحية اللحوم وتقليل الفساد الميكروبي والفيزيائي أثناء التخزين.

تتفق هذه النتائج مع ما ورد في دراسة Yong [31]، التي هدفت إلى تطوير فلم حيوي مكوّن من بروتين الصويا المعزول (SPI) والكيتوزان(CS)، حيث تم تشابك بنية الفيلم باستخدام الكركمين (Curcumin) كمادة طبيعية ذات خصائص مضادة للبكتيريا ومضادة للأكسدة. وقد أظهرت صور المجهر الذري (AFM) أن الفلم ألحق ضررًا كبيرًا ببنية الخلايا البكتيرية Staphylococcus aureus و Escherichia coli، مما يدل على فعالية التأثير التآزري بين الكركمين والكيتوزان في تثبيط النمو البكتيري وإطالة مدة صلاحية اللحوم.

5-الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات: أمكن من خلال هذا البحث:

دراسة الفلم الحيوي المحضر من النشاء، الكيتوزان، وزيت القرفة الذي يُعد خيارًا واعدًا لحفظ اللحوم الطازجة بطريقة فعالة وصديقة للبيئة. إذ ساهم في تحسين الخصائص الفيزيائية بحيث انخفض معدل انتقال بخار الماء بمقدار 67% بالغلاف الذي يحوي نسبة 3% زيت القرفة بالمقارنة مع غلاف العينة المرجعية أما الخصائص الميكانيكية لوحظ انخفاض مقاومة الشد للغلاف الذي يحوي 3% زيت القرفة بمقدار 32% مقارنة مع غلاف العينة المرجعية وزيادة في الاستطالة بمقدار 39% وقدم حماية ميكروبية وتبين ذلك في انخفاض معدل التلف في عينات اللحم المغلفة، حيث بلغت نسبة التلف(60%) فقط بعد (12) يومًا مقارنة ب(100%) في عينات التحكم و ارتفعت قدرة الفلم على كسح الجذور الحرة لتصل 85%، مع ارتفاع نسبة زيت القرفة المضافة مما أدى إلى إطالة مدة صلاحية اللحوم وتقليل مظاهر الفساد.

التوصيات النهائية للبحث:

- توسيع نطاق تطبيق الفلم الحيوي ليشمل أنواعًا متعددة من اللحوم وتقييمه حسيًا تحت ظروف تخزين مختلفة، بمشاركة المستهلكين.
- يُقترح تحسين التركيبة البوليمرية عبر تعديل نسب المكونات واستخدام أنواع مختلفة من النشاء، إلى جانب دمج تقنيات التغليف الذكي لتعزيز التحكم في إطلاق المواد الفعالة.
- يُنصح أيضًا بتقييم الأثر البيئي والجدوى الاقتصادية للفلم مقارنةً بمواد التغليف التقليدية، تمهيدًا لتطبيقه الصناعي. يُوصى بالتعاون مع الجهات التنظيمية لتسجيل الفلم كمنتج تغليف صالح للأكل وتوثيق خصائصه الوظيفية والبيئية لاعتماده تجاريًا.

References:

- [1]SHEN, T., Fan, S., Li, Y., Xu, G., & Fan, W. (2020). Preparation of edible non-wettable coating with soybean wax for repelling liquid foods with little residue. *Materials*, *13*(15), 3308.
- [2]VAHEDIKIA, N., GARAVAND, F., TAJEDDIN, B., CACCIOTTI, I., JAFARI, S. M., OMIDI, T., & ZAHEDI, Z. 2019. Biodegradable zein film composites reinforced with chitosan nanoparticles and cinnamon essential oil: Physical, mechanical, structural and antimicrobial attributes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *177*, 25-32.
- [3]MOMIN, M. C., JAMIR, A. R., ANKALAGI, N., HENNY, T., & DEVI, O. B. (2021). Edible coatings in fruits and vegetables: A brief review. *Pharma Innov. J*, *10*(7), 71-78.
- [4]MOHAMED, S. A., EL-SAKHAWY, M., & EL-SAKHAWY, M. A. M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. *Carbohydrate polymers*, *238*, 116178.
- [5] PERUGINI, F., MASTELLONE, M. L., & ARENA, U. 2005. A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. *Environmental Progress*, *24*(2), 137-154
- [6] GEYER, R., JAMBECK, J. R., & LAW, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science advances, 3(7), e1700782
- [7]WAGH, Y. R., PUSHPADASS, H. A., EMERALD, F. M. E., & NATH, B. S. 2014. Preparation and characterization of milk protein films and their application for packaging of Cheddar cheese. *Journal of food science and technology*, *51*(12), 3767-3775.
- [8]VIEIRA, J. M., FLORES-LÓPEZ, M. L., DE RODRÍGUEZ, D. J., SOUSA, M. C., Vicente, A. A., & Martins, J. T. 2016. Effect of chitosan–Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (Vaccinium corymbosum) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *116*, 88-97.
- [9]PEREZ-VAZQUEZ, A., BARCIELA, P., CARPENA, M., & PRIETO, M. A. 2023. Edible Coatings as Alternative to Traditional Food Packaging: Enhancing Fruits and Vegetables Shelf-Life.
- [10] MOHAMMED, A., GADUAN, A., CHAITRAM, P., POORAN, A., LEE, K. Y., & WARD, K. 2023. Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging. Food Hydrocolloids, 135, 108192
- [11] GANDINI, A. 2008. Polymers from renewable resources: a challenge for the future of macromolecular materials. Macromolecules, 41(24), 9491-9504
- [12]SANTACRUZ, S., RIVADENEIRA, C., & CASTRO, M. 2015. Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food hydrocolloids*, *49*, 89-94.
- [13] LIANG,F., LIO,J.,"Chitosan-Fucoidan Encapsulating Cinnamaldehyde composite coating films: Preparation, pH-Responsive Release, Antibacterial Activity and Preservation for Litchi, Carbohydrate Polymer333:121968.
- [14] TEIXEIRA, C. E. F., DE ALMEIDA REBECHI, I., & FONTANELI, R. S. 2017. Digital micrometer used in thickness measurement of plastic film compared to standardized instrument. *Materials Sciences and Applications, 8*(7), 577–583.

- [15] YAMAUCHI, M., KITAMURA, Y., NAGANO, H., KAWATSU, J., & GOTOH, H. 2024. DPPH measurements and structure–activity relationship studies on the antioxidant capacity of phenols. *Antioxidants, 13*(3), 309
- [16] XING, Y., LIN, H., CAO, D., & XU, Q**.** 2015. Effect of chitosan coating with cinnamon oil on quality and physiological attributes of China jujube fruits. *BioMed Research International, 2015*, Article 835151
- [17] SYARIFUDDIN, A., HALIZA, N., IZZAH, N., TAHIR, M. M., & DIRPAN, A. 2025. Physical, mechanical, barrier, and optical properties of sodium alginate/gum arabic/gluten edible films plasticized with glycerol and sorbitol. *Foods, 14*(7), 1219.
- [18] DAZA, L. D., MONTEALEGRE, M. Á., ALDANA, A. S., OBANDO, M., VÁQUIRO, H. A., EIM, V. S., & SIMAL, S. 2023. Effect of essential oils from lemongrass and Tahiti lime residues on the physicochemical properties of chitosan-based biodegradable films. *Foods, 12*(9), 1824.
- [19] ABDOLLAHI, M., REZAEI, M., & FARZI, G. 2012. Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. *International Journal of Food Science and Technology, 47*(4), 847–853.
- [20] AVENA-BUSTILLOS, R. J., KLAUSNER, N. M., & MCHUGH, T. H. 2024. Water vapor permeability of hydrophilic films. In *Food Packaging Materials* (pp. 205–217). Springer.
- [21] OYEKUNLE, D. T., NIA, M. H., & WILSON, L. D. 2024. Recent progress on the application of chitosan, starch and chitosan–starch composites for meat preservation—a mini review. *Journal of Composites Science, 8*(8), 302.
- [22] SHAH, Y. A., BHATIA, S., AL-HARRASI, A., AFZAAL, M., SAEED, F., ANWER, M. K., KHAN, M. R., JAWAD, M., AKRAM, N., & FAISAL, Z. 2023. Mechanical properties of protein-based food packaging materials. *Polymers, 15*(7), 1724.
- [23] SUN, J., PAN, X., WANG, T., LIU, L., LI, Z., & WANG, X. 2025. Preparation, characterization and application of chitosan/thyme essential oil composite film. *Scientific Reports, 15*(1), 7934
- [24] LEYVA-PORRAS, C., ROMÁN-AGUIRRE, M., CRUZ-ALCANTAR, P., PÉREZ-URIZAR, J. T., & SAAVEDRA-LEOS, M. Z. 2021. Application of antioxidants as an alternative improving of shelf life in foods. *Polysaccharides, 2*(3), 594–607.
- [25] XU, T., GAO, C., FENG, X., YANG, Y., SHEN, X., & TANG, X. 2019. Structure, physical and antioxidant properties of chitosan-gum arabic edible films incorporated with cinnamon essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules, 134*, 230–236
- [26] WANG, Z., ZHANG, M., LIANG, S., & LI, Y. 2024. Enhanced antioxidant and antibacterial activities of chitosan/zein nanoparticle Pickering emulsion-incorporated chitosan coatings in the presence of cinnamaldehyde and tea polyphenol. *International Journal of Biological Macromolecules, 266*, 131181
- [27] ABD-ALHADI, R., ABOU-GHORRAH, S., & AL OKLAH, B. 2023. Physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of chitosan edible films containing essential oils. *Journal of Nutrition and Food Sciences, 8*(2), 212–220.
- [28] YUAN, G., LV, H., ZHANG, Y., SUN, H., & CHEN, X. 2016. Combined effect of cinnamon essential oil and pomegranate peel extract on antioxidant,

antibacterial and physical properties of chitosan films. *Food Science and Technology Research, 22*(2), 291–296

- [29] JARAMILLO JIMENEZ, B. A., AWWAD, F., & DESGAGNÉ-PENIX, I. 2024. Cinnamaldehyde in focus: Antimicrobial properties, biosynthetic pathway, and industrial applications. *Antibiotics, 13*(11), 1095
- [30] HOSSEINI, S. F., GHADERI, J., & GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. 2022. Tailoring physico-mechanical and antimicrobial/antioxidant properties of biopolymeric films by cinnamaldehyde-loaded chitosan nanoparticles and their application in packaging of fresh rainbow trout fillets. *Food Hydrocolloids, 124*, 107249.
- [31] YONG, Y., WANG, S., LI, L., LI, R., AHMAD, H. N., MUNAWAR, N., & ZHU, J. 2023. A curcumin-crosslinked bilayer film of soy protein isolate and chitosan with enhanced antibacterial property for beef preservation and freshness monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules, 247*, 125778