الخصائص الفيزوكيميائية والميكانيكية والتشخيصية لأغلفة البكتين القابلة للأكل

The physicochemical, mechanical, and diagnostic properties of edible pectin-based films.

إعداد

نغم فرحان ربيع — **Nagham F .Al-Qatrani**

روضة محمود علي — **Rawdah M.Al-Ali**

بتول محمود محمد
Batool Al Ansari

جامعة البصرة / كلية الزراعة / قسم علوم الاغذية

Doi: 10.21608/asajs.2025.443282

استلام البحث : ٥ / ٤ /٢٠٢٥

قبول النشـر : ٢٢ / ٥ / ٢٠٢٥

ربيع، نغم فرحان وعلي، روضة محمود ومحمد، بتول محمود (٢٠٢٥). الخصائص الفيزوكيميائية والميكانيكية والتشخيصية لأغلفة البكتين القابلة للأكل. ***المجلة العربية للعلوم الزراعية***، المؤسسة العربية للتربية والعلوم والآداب، مصر، ٨(٢٧)، ٥١-٧٤.

http://asajs.journals.ekb.eg

الخصائص الفيزوكيميائية والميكانيكية والتشخيصية لاغلفة البكتين القابلة للأكل

المستخلص:

يهدف البحث الحالي الى دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للاغلفة القابلة للاكل المحضرة من البكتين بتركيز١ % والكليسيرول كملدن بتركيز٥٠% و٧٠%، وقد اثر تركيزي البكتين والكليسيرول على خصائص الغلاف القابل للاكل بشكل ملحوظ ، اذ لوحظ زيادة في السمك والاذابة و النسبة المئوية للاستطالة ونفاذية بخار الماء, في حين لوحظ انخفاض قوة الشد ونفاذية الضوء والشفافية مع زيادة تركيز الكليسيرول من ٥٠- ٧٠% . واظهر منحنى TGA ان اقصى فقدان للوزن ٦٣.٣٦١% حدث بين درجة حرارة ١٩٥.٩٦- ٣٥٨.٤٦ م بسبب تحلل البوليمر اما نتائج تحليل FTIR بينت ظهور قمة مجاميع فعالة عند العدد ١٦٣١.٤٨ سم-١ مما يدل على وجود مجاميع الكاربوكسيل COO^- ، واشارت نتائج فحص DSC انخفاضا كبيرا في تدفق الحرارة وظهور قمة للأسفل، كانت في مدى حراري من درجة حرارة المختبر الى حوالي درجة حرارة ١٠٠ م و يشير هذا الى فقدان الماء او المذيب المتبقي من الغلاف.

Abstract

The present study aims to investigate the physical and mechanical properties of edible films prepared from pectin at a concentration of 1% and plasticized with glycerol at concentrations of 50% and 70%. The concentrations of pectin and glycerol significantly influenced the properties of the edible films. An increase was observed in thickness, solubility, elongation at break (%), and water vapor permeability with the increase in glycerol concentration from 50% to 70%. In contrast, tensile strength, light transmission, and transparency decreased with higher glycerol content. The TGA curve showed a maximum weight loss of 63.361% occurring between 195.96°C and 358.46°C due to polymer decomposition. FTIR analysis revealed the presence of characteristic peaks in the range of 1740–1750 cm^{-1}, indicating the existence of carboxyl groups (COO^-). Additionally, DSC results showed a significant decrease in heat flow, with a downward peak appearing in the temperature

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

range from room temperature to approximately 100°C, which is attributed to the loss of water or residual solvent from the film.

المقدمة :

استعملت مواد التغليف الصناعية على نطاق واسع في تغليف الأغذية ، وبسبب المخاوف بشأن البيئة وصحة الإنسان شجعت على استعمال مواد تغليف قابلة للتحلل الحيوي بدلًا من التغليف الصناعي ، اذ تعمل مواد تغليف الأغذية على حماية الأغذية من الملوثات مثل الاحياء المجهرية وتمنع انتقال بخار الماء ، بالإضافة إلى كبح جذور الأوكسجين الضارة والأشعة فوق البنفسجية، تعد البوليمرات الحيوية من أكثر مواد التغليف الطبيعية شيوعًا نظراً لطبيعتها غير السامة، وقابليتها للتحلل الحيوي، علاوة على ذلك فهي صديقة للبيئة تعمل على تحسين الجودة الحسية والقيمة الغذائية للمنتجات المغلفة (Kusuma et al., 2024; Kannan et al.,, ٢٠٢٣)).

تستعمل البوليمرات الحيوية مثل البروتينات والدهون والسكريات المتعددة بشكل واسع في تصنيع مواد التغليف ، تعرف السكريات المتعددة بانها بوليمرات طبيعية على شكل سلاسل طويلة مكونة من وحدات من السكريات الاحادية او الثنائية المرتبطة مع بعضها البعض بواسطة الاواصر الكلايكوسيدية، توجد بشكل كبير في الطبيعية وهي مواد رخيصة الثمن، ويمكن تصنيفها حسب مصدرها الى سكريات حيوانية وسكريات ميكروبية وسكريات بحرية (Saklani et al٢٠١٩,.).

تتمتع السكريات المتعددة بقابليتها على تشكيل الأغلفة بسبب خصائصها الميكانيكية والهيكلية الممتازة وتم استعمالها على نطاق واسع في انتاج الاغلفة القابلة للأكل ولكن تظهر حساسية عالية لبخار الماء بسبب طبيعتها المحبة للماء ويمكن تحسين خصائصها الحجزية والميكانيكية وذلك باضافة المواد الملدنة او دمج السكريات المتعددة المختلفة مع بعضها

(Marangoni Gunior et al .,2021;Huang et al.,2021;Rajeswari et al.,2021)

البكتينات هي عبارة عن مزيج معقد من السكريات المتعددة وهي جزءاً من جدار الخلية في النباتات يتم استخراجها من قشور الحمضيات وقشور التفاح و تتألف البكتينات من سلسلة طويلة من وحدات حامض الكالاكتورونيك المؤسترة بمجموعة المثيل المرتبطة مع بعضها بأصرة كلايكوسيدية١,٤ -α ، اذ تؤثر درجة الاسترة على خواص الذوبان والتصلب للبكتين، فأذا كانت درجة الاسترة أكثر من٥٠٪، يعد البكتين عالي الميثوكسيل، واذا كانت أقل من ٥٠٪، فهو واطئ الميثوكسيل، ولديه القدرة على تكوين التشابك مع أيونات الكالسيوم لتكوين الهلام والمربيات وهو مادة جيدة لتغليف المواد الغذائية نظرا لقابليته

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

للتحلل الحيوي، وخصائصه الهلامية وعدم سميته ولتحسين الخصائص الوظيفية لأغلفة البكتين يتم مزجه مع بوليمرات أخرى مثل البروتينات والدهون والسكريات المتعددة (Subroto et al.,2021;Marangoni Júnioret al., 2022 ; Kannan et al.,٢٠٢٣)

يعد البكتين من البوليمرات الطبيعية التي يتأثر سلوكها بشكل كبير بالعوامل الداخلية المرتبطة بتركيبه الجزيئي أو بالعوامل الخارجية مثل الأس الهيدروجيني، التركيب الأيوني، درجة الحرارة والرطوبة ، هذه العوامل تؤثر على قدرة البكتين على الترطيب، الذوبان، وسلوكه في تكوين الهلام، كما أن له قدرة على حجز الماء داخل الهلامات التي يشكلها إضافة الى خصائصه الفيزيائية والكيميائية، يلعب دوراً مهماً في الحماية الطبيعية للنباتات، كما أنه يقدم فوائد صحية متعددة للإنسان ، تشمل هذه الفوائد دوره كعامل منظم للمناعة وبروبيوتيك، بالإضافة إلى خصائصه كمضاد للتكاثر الخلوي، مضاد للأكسدة، مضاد للميكروبات يساعد في تقليل مستويات الكوليسترول والسكر في الدم Miran et al.,٢٠٢٣;) ; Dang et al.,2024)

يستعمل البكتين في تصنيع أغلفة قابلة للأكل ذات سطح لماع وغير لزجة، اذ تتميز هذه الأغلفة بنفاذية عالية لبخار الماء نتيجة لطبيعة البكتين المحبة للماء تفضل الأغلفة المصنعة من السكريات المتعددة، خصوصا في صناعة الأغذية، نظراً لمتانتها الميكانيكية الممتازة وقدرتها الجيدة على حجب الأوكسجين وثناني أوكسيد الكاربون في بيئات ذات رطوبة منخفضة إلى متوسطة (Nair et al., 2020 ; Kusuma et al ,.٢٠٢٤)

تهدف الدراسة الحالية الى تحضير اغلفة قابلة للاكل باستعمال تراكيز مختلفة من البكتين والمادة الملدنة الكليسيرول ودراسة خصائصها النوعية والتشخيصية.

المواد وطرائق العمل

المواد

استعملت المواد الكيميائية في هذه الدراسة من النوع التحليلي

طرائق العمل

تحضير اغلفة البكتين

حضرت محاليل اغلفة البكتين حسب طريقة Guals et al. (٢٠١٣) مع اجراء بعض

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

التحويرات البسيطة، اذ ذوب البكتين ببطء في الماء المقطر بتركيز٠.٥ ،١و١.٥%

واضيف الكليسيرول كملدن بتركيز ١٠ ،٣٠ ، ٥٠ و٧٠ % على التوالي، ثم سخنت المحاليل الى درجة حرارة ٧٠ درجة مئوية وصبت في اطباق بتري قطر ٩.١ سم و بحجم ١٥ مل ثم جففت الاطباق عند درجة حرارة الغرفة ٢٥ م– ٣٠ م ولمدة ثلاثة ايام بعدها كيفت على رطوبة نسبية ٥٢ % لحين اجراء الفحوصات اللاحقة.

تقدير السمك وقوة الشد والاستطالة حد القطع:

تم تحديد سمك، قوة الشد، والاستطالة المئوية عند الكسر لأغشية العينات المُنتجة. استخدم في القياس جهاز تحليل القوام (Texture Analyzer) الموجود في مركز أبحاث البوليمرات التابع لجامعة البصرة. اعتمدت عملية تحضير العينات على الطريقة القياسية رقم (D-٨٨٢-١٠) الصادرة عن الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM). تم الاستناد في وصف الإجراءات إلى المنهجية التي قدمها Gheorghita وآخرون في عام ٢٠٢٠.

تقدير قابلية الاغشية على الاذابة بالماء

قدرت قابلية الأغشية للإذابة بالماء حسب طريقة Jancikova (٢٠٢٠) et al.وذلك بحساب النسبة المئوية لمادة الأغشية الذائبة بعد ٢٤ ساعة من الغمر في الماء المقطر. اذ قطعت الاغشية الى قطع مربعة بأبعاد ٢×٢ سم وجففت على ١٠٥ م لحين ثبات الوزن ووزنت بدقة بميزان حساس ثم غمرت ب ٥٠ مل من الماء المقطر عند ٢٥ مْ وجففت مرة اخرى على نفس الدرجة ثم اعيد وزنها للحصول على الوزن النهائي.

حسبت قابلية الاغشية على الاذابة بالماء وفقا للمعادلة الاتية: -

$$\text{الذوبانية (\%)} = \frac{\text{الوزن الابتدائي للعينة (غم)} - \text{الوزن النهائي للعينة (غم)}}{\text{الوزن الابتدائي للعينة (غم)}} \times ١٠٠$$

تقدير نفاذية الاغشية لبخار الماء:

تم تحديد معدل نفاذية بخار الماء (WVTR) للأغشية باستخدام الطريقة القياسية ASTM E٩٦-١٦، مع بعض التعديلات الطفيفة على الإجراء الموصوف من قبل Mehdizadeh وآخرون (٢٠١٦). تضمنت التجربة استخدام أوعية بلاستيكية دائرية بقطر خارجي ٣.٩ سم، وقطر داخلي ٣.٧٥ سم، وعمق ٦.٢٥ سم.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

تم ملء كل وعاء بـ ١٠ مل من الماء المقطر، ثم تم تغطية فتحة الوعاء بغشاء دائري الشكل، بحيث يتجاوز قطر الغشاء قليلاً القطر الخارجي للوعاء. لضمان إحكام الإغلاق، تم تثبيت الغشاء على فوهة الوعاء باستخدام حلقة مطاطية مزدوجة. بعد ذلك، تم وزن الوعاء ومحتواه من الماء، ثم وُضع في مجفف يحتوي على كبريتات النحاس اللامائية كمادة مجففة. سُجلت قراءات الوزن كل ٦ ساعات حتى الوصول إلى وزن ثابت. بالإضافة إلى ذلك، تم قياس المسافة العمودية بين سطح الماء داخل الوعاء وسطح الغشاء. تم تكرار هذه العملية مرتين لكل عينة. لاحقًا، تم حساب نفاذية بخار الماء بناءً على البيانات المسجلة، وفقًا للمعادلات التالية:"اولاً: يتم حساب معدل انتقال بخار الماء

حسب المعادلة التالية وكما يلي:

$$WVT = G/tA = (G/t)/A$$

الفقد في الوزن (غم)= G

مقدار وقت التجربة (ساعة) = T

مقدار الانحدار عن الخط المستقيم (غم / ساعة) Slop = G/t

وذلك برسم علاقة ما بين الفقد في الوزن (غم) مع مرور الوقت (ساعة) وصولاً الى ثبات الوزن.

A = مساحة الغشاء(م ٢)

WVT = معدل انتقال بخار الماء(غم/ساعة. م ٢)

ثانياً: يتم حساب مقدار النفاذية لبخار الماء من المعادلة التالية

$$Permeance = WVT/\Delta p = WVT/S\ (R1 - R2)$$

$$WVP = WVT/S \times (R1-R2)$$

S = مقدار ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة ٢٥م °

R = ١ مقدار الرطوبة التي تم تكييف الغشاء عليها (٥٢%)

R =٢ مقدار الرطوبة في المجفف (٠%)

تقدير نفاذية الضوء والشفافية للأغلفة المحضرة

قدرت نفاذية الضوء للاغلفة وذلك باستعمال جهاز السبيكتروفوتومتر التابع الى قسم الفيزياء – جامعة البصرة على الطول الموجي ٦٠٠ نانومتر وحسب الطريقة التي وصفها Niroomand et al.(٢٠١٦).

الاختبارات التشخيصية

التشخيص بالأشعة تحت الحمراء Fourier Transform Infrared FTIR Spectrophotomet

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

تم تشخيص غلاف البكتين المحضر بتركيز ١% والكليسيرول ٥٠% بجهاز الاشعة التحت الحمراء FTIR-8400S في مركز ابحاث البوليمر / جامعة البصرة.

التشخيص بتقنية التحلل الحراري الوزني Thermo gravimetric analysis TGA

التابع لكلية التربية للعلوم TGA -٥٠ بجهازTGA شخص الغلاف المحضر قيد الدراسة بتقنية

الصرفة / قسم الكيمياء / جامعة البصرة.

التشخيص بتقنية التحلل الحراري التفاضلي المسعري Differential scanning calorimetry analysis DSC

تم تشخيص الغلاف قيد الدراسة بتقنية التحلل الحراري المسعري بجهاز TA Q100-DSC التابع لمركز ابحاث البوليمر / جامعة البصرة.

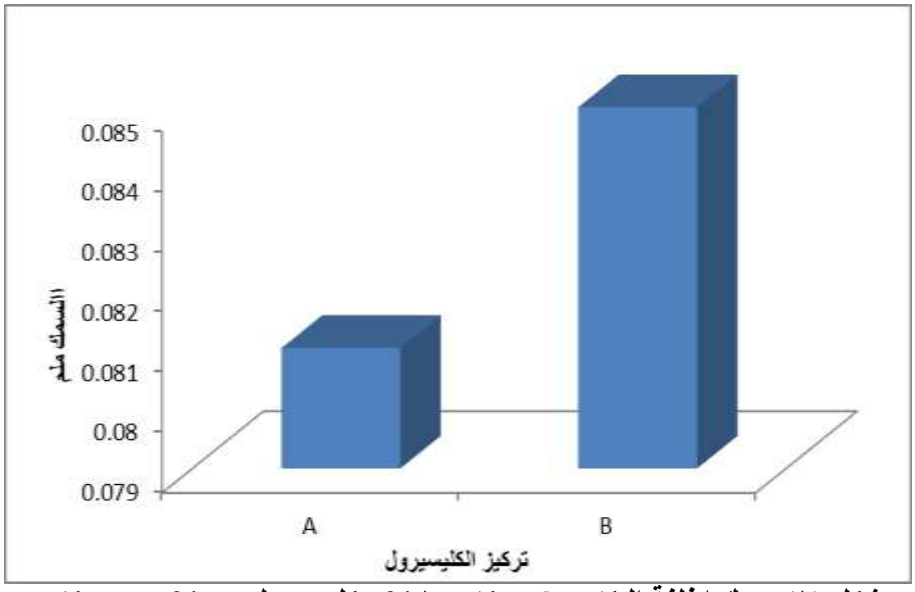
النتائج والمناقشة:

وصفت الاغلفة المحضرة من البكتين بتركيز ٠.٥ % و ١٠ ،٣٠ ،٥٠ و٧٠% كليسيرول بانها رقيقة جدا يصعب ازالتها من الاطباق ولزجة جدا ، اما الاغلفة المحضرة من البكتين بتركيز1 % و١٠ ، ٣٠% كليسيرول فكانت هشة سهلة التمزق عند ازالتها من الاطباق ، في حين تميزت الاغلفة المحضرة بتركيز ١% وكليسيرول بتركيز ٥٠ و ٧٠ % بالشفافية واللمعان ونعومة الملمس ويمكن نزعها من الطبق بسهولة وذات لون مائل للاصفرار، بينما اتسمت كل الاغلفة المحضرة من البكتين بتركيز١.٥% و كل التراكيز من الكليسيرول بانها سميكة ، غير شفافة ومعتمة ، ونظرا لصعوبة اجراء الفحوصات اللاحقة عليها اهملت هذه التراكيز.

سمك الغشاء:

يوضح الشكل (١) سمك الاغلفة المحضرة من البكتين بتركيز ١ % والملدنة بالكليسيرول بتركيز ٥٠ و٧٠ % ، اذ لوحظ وجود اختلاف في السمك بزيادة تركيز مادة الغلاف وتركيز الكليسيرول، اذ بلغ سمك الاغلفة المحضرة من ١% و٥٠ % كليسيرول ٠.٠٨١ ملم بينما بلغ ٠.٠٨٥ ملم عند زيادة تركيز الكليسيرول الى ٧٠ %، عزي سبب زيادة سمك الأغلفة الى حدوث تداخل للمادة المكونة للغلاف مع المادة الملدنة مما ادى الى زيادة المواد الصلبة وبالتالي زيادة تماسك الغلاف ولابد من الاشارة الى ان السمك يمكن ان يزداد مع زيادة نسبة الملدن (الكليسيرول) نتيجة التداخل بين مكونات الملدن مع مكونات الغشاء مما يجعل الغشاء اكثر سمكا(٢٠١٨ ,.Khairunnisa et al)

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855



شكل (١) سمك اغلفة البكتين A : بكتين ١% وكليسيرول ٥٠%, B : بكتين ١% وكليسيرول ٧٠%

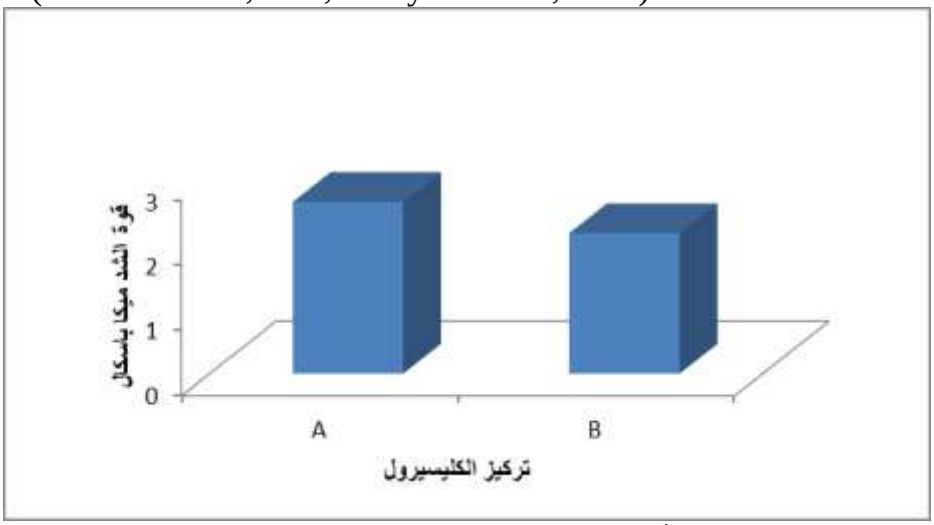
اتفقت النتائج مع ما وجده Dhanapal et al. (٢٠١٢) عند دراستهم لخواص الاغلفة المحضرة من البكتين اذ وجد ان سمك الاغلفة ازداد من ٠.٠٦ ملم - ٠.١١ ملم عند زيادة تركيز البكتين من ٠.٧٥ الى ١.٢٥ %, كما لاحظ Singh et al. (٢٠١٥) زيادة سمك اغلفة الكايتوسان من ١٠٥ - ١١١ مايكرومتر عند زيادة تركيز الكايتوسان من ١.٥- ٢.٥ % و بين Karlan and Rahmadhia (٢٠٢٢) ان سمك الاغلفة المحضرة من بكتين قشور البرتقال ازداد من ٠.١٥ - ١.٤٩ ملم عند زيادة تركيز البكتين من١٥ - ٣٥ % والكليسيرول من ١٠ - ٣٠ %, و ذكر Apriliyani et al.(٢٠٢٠) ان سمك الاغلفة القابلة للأكل يتأثر بطبيعة المركبات الغروية وبالتداخل بين مكونات مادة الغلاف, لذا يجب تعديل سمك الغلاف القابل للاكل عند الاستعمال حسب المنتج الذي يتم تعبئته(Fransisca et al.,2020; Khairunnisa et al.,٢٠١٨) علاوة على ذلك يمكن ان يتأثر سمك الغشاء الناشيء من المحلول بطريقة التصنيع وعملية التجفيف (Racmayani and Husni ٢٠٢٠).

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

قوة الشد :

يبين الشكل (٢) قوة الشد لاغلفة البكتين المحضرة بتركيز١ % والملدنة بالكليسيرول بتركيز ٥٠ و٧٠% اذ يلاحظ انخفاض قوة شد الاغلفة بزيادة تركيز الكليسيرول اذ بلغت ٢.٦٤ ميكاباسكال للأغلفة المحضرة من البكتين بتركيز ١% و٥٠ % كليسيرول بينما بلغت ٢.١٦ ميكاباسكال للاغلفة المحضرة من البكتين بتركيز ١% و ٧٠% كليسيرول ، ادت زيادة الكليسيرول الى زيادة المسافات البينية بين جزيئات البوليمر وزيادة الحجم الحر بين جزيئات البوليمر على الرغم من زيادة تركيز البكتين وبالتالي انخفاض قوة شد للأغلفة

(Costanza et al.,2019;Febriyanti et al.,2023)



شكل (٢) قوة شد اغلفة البكتين A : بكتين ١% وكليسيرول ٥٠%، B : بكتين ١% وكليسيرول ٧٠%

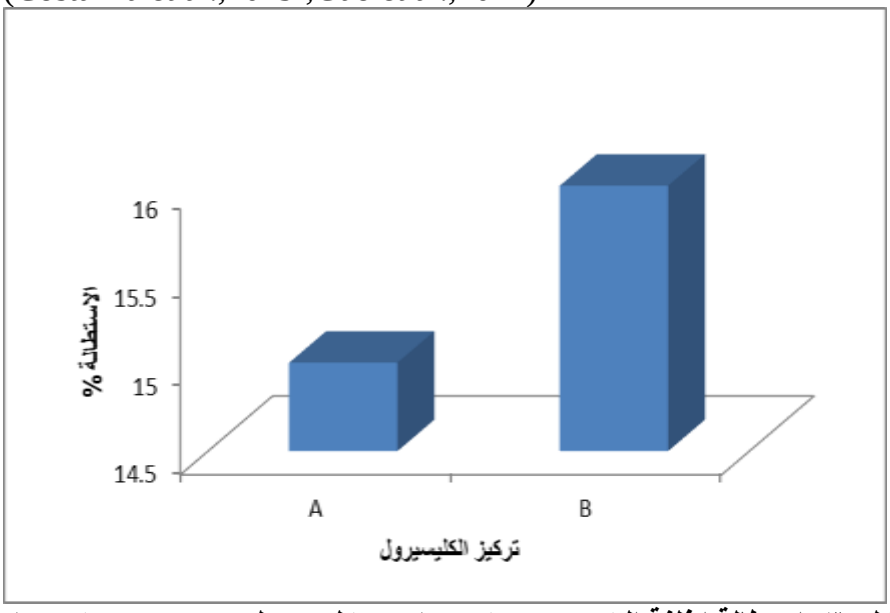
اتفقت النتائج مع ما توصل اليه (Asfaw etal.(٢٠٢٣ اذ لوحظ انخفاض قوة الشد للاغلفة المحضرة من البكتين عند زيادة تركيز البكتين من ٣ – ٥ % والكليسيرول بالتراكيز ١٥- ٢٥% ذكر ان زيادة تركيز الكليسيرول الى ٧٠% ادى الى زيادة الحجم الحر بين الجزيئات وبالتالي زيادة حركة سلاسل البوليمر وانخفاض قوة الشد للاغلفة المحضرة. بين Racmayani and Husni (٢٠٢٠) ان السبب في زيادة قوة الشد تعود الى زيادة الروابط بين الجزيئات المكونة لسلسلة البوليمر المكونة للغلاف وبالتالي يجعل الغلاف اكثر صلابة وهشاشة بدون اضافة الملدن. كانت النتائج اقل مع ماوجده Galus et al.(٢٠١٣) اذ لوحظ زيادة قوة الشد لاغلفة

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

البكتين من ٨.٩ - ١٤. ١٣ميكاباسكال عند زيادة تركيز البكتين من ١.٥- ٢.٥ % والكليسيرول من ٥٠ - ٧٠% .

النسبة المئوية للاستطالة :

تعد الاستطالة عند الكسر صفة اساسية بالنسبة للاغلفة فهي تقيس لدونتها, وتشير الى قدرة الغلاف على مقاومة تغيرات الشكل اثناء تطبيقها على الغذاء دون تمزق ويظهر من الشكل)٣(ان اعلى نسبة استطالة بلغت ١٦% للغلاف المحضر من ١% بكتين و٧٠% كليسيرول واقل نسبة استطالة بلغت ١٥ % للغلاف المحضر من ١% بكتين و٥٠% كليسيرول ويلاحظ من الشكل اذ كلما زاد تركيز الكليسيرول زادت نسبة الاستطالة ويعزى سبب ذلك الى الاصرة الجزيئية الموجودة بين البوليمر والملدنات اذ ان وجود الملدن بين سلاسل البوليمر يجعلها اكثر حرية في الحركة وتزداد مرونتها تؤدي الملدنات الى زيادة استطالة اغلفة البوليمرات الحيوية.
(Costanza et al.,2019 ;Gao et al.,2017)



شكل (٣) استطالة اغلفة البكتين A : بكتين ١% وكليسيرول ٥٠%, B : بكتين ١ % وكليسيرول ٧٠%

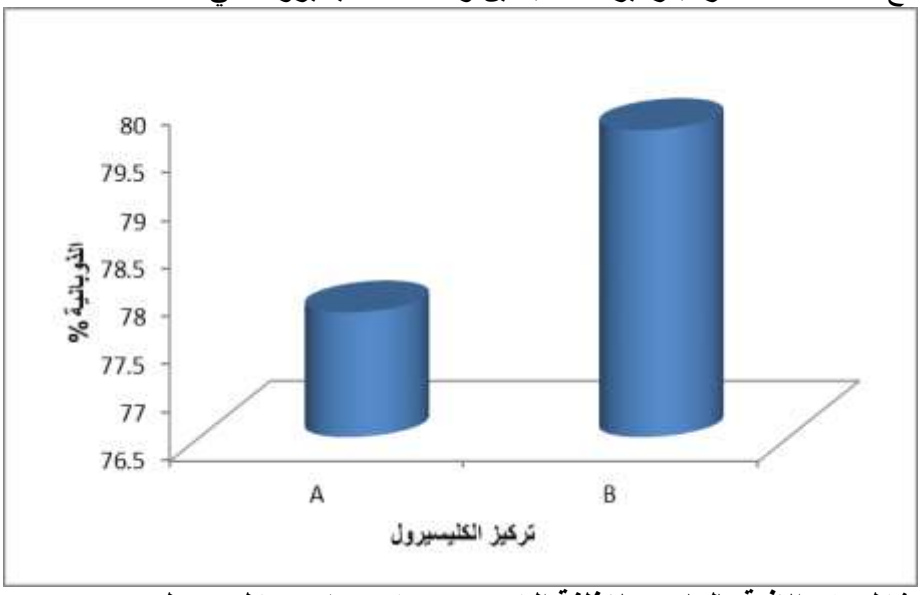
اتفقت النتائج مع ماتوصل اليه Asfaw etal.(٢٠٢٣) اذ تبين ان استطالة الاغلفة المحضرة من البكتين ازدادت من ٢٢.١ - ٢٨.٦ % عند زيادة تركيز البكتين ٣ – ٥ % والكليسيرول من ١٥-٢٥% وعزي السبب الى ان زيادة تركيز

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

الكليسيرول ادت الى زيادة المسافات البينية بين جزيئات البوليمر وزيادة الحجم الحر وبالتالي زيادة الاستطالة، وكذلك توافقت النتائج مع ما وجده Galus et al.(٢٠١٣) اذ ان استطالة الاغلفة المحضرة من البكتين ازدادت من ٦.٢ - ١٢.٤% عند زيادة تركيز البكتين من ١.٥ - ٢.٥ % والكليسيرول من ٥٠ - ٧٠%.

النسبة المئوية للإذابة بالماء :

يوضح الشكل (٤) النسب المئوية لإذابة اغلفة البكتين المحضرة بتركيز ١% وللكليسيرول بتركيز ٥٠ و٧٠ % بالماء ، اذ بينت النتائج ارتفاع النسبة المئوية لذوبان اغلفة البكتين تركيز ١ % بكتين و٧٠ % كليسيرول البالغة ٧٩.٧٠% مقارنة مع الاغلفة المحضرة بتركيز ١ % بكتين و ٥٠ % كليسيرول التي كانت ٧٧.٨٠%.



شكل (٤) الاذبة بالماء% لاغلفة البكتين A : بكتين ١% وكليسيرول ٥٠% ، B : بكتين ١% وكليسيرول ٧٠%

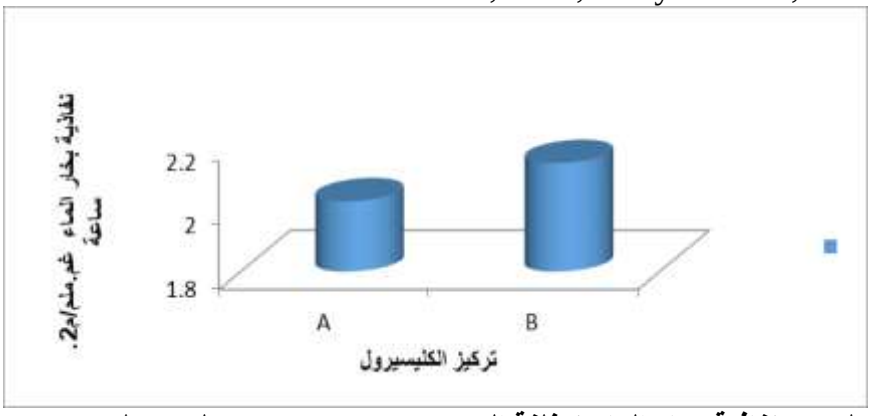
اتفقت النتائج مع ماتوصل اليه Rahmadhia Karlan and (٢٠٢٢) اذ لاحظوا زيادة الاذابة لاغلفة البكتين من ٦٢.٤٨ -٨٧.٨٧ % عند زيادة تركيز البكتين من ١٥ - ٣٥ % والكليسيرول من ١٠ – ٣٠ % وعزي السبب الى ان البكتين مادة محبة للماء و ان زيادة تركيزه ادت الى زيادة قابلية الاذابة في الماء اضافة الى ان زيادة تركيز الكليسيرول ادت الى زيادة حركة السلاسل وقلة تماسك الغلاف وبالتالي زيادة نسبة الذوبان في الماء.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

تعد الاغلفة القابلة للاكل ذات القابلية العالية للذوبان مثالية للاستعمال في المنتجات الغذائية الجاهزة للاكل بسبب سهولة ذوبانها عند الاكل. تتأثر قابلية التحلل الحيوي للغلاف ايضا بقيمته العالية للذوبان ومن ناحية اخرى ، تعد قيمة الذوبان المنخفضة احد اهم المتطلبات للاغلفة القابلة للأكل خاصة المستعملة في تغليف المواد الغذائية والتي تحتوي على نسبة عالية من الرطوبة (Fernsisca et al., 2020; Cazon et al., ٢٠١٧).

نفاذية بخار الماء

يظهر الشكل (٥) نتائج نفاذية بخار الماء لاغلفة البكتين المحضرة بتركيز ١ % والملدنة بالكليسيرول بتركيز٥٠ و٧٠ %, اذ ازدادت مع زيادة الكليسيرول من ٥٠ - ٧٠% ، اذ سجلت اعلى نفاذية لبخار الماء ٢.١٤غم.ملم / م٢ . ساعة كيلوباسكال للأغلفة المحضرة من ١% بكتين و٧٠% كليسيرول، بينما بلغت نفاذية الغلاف المحضر من بكتين ١% و٥٠% كليسيرول ٢.٠٢ غم . ملم / م٢ . ساعة كيلوباسكال، عزي السبب الى العلاقة الطردية بين تركيز المادة الداخلة في تحضير الغلاف او الطلاء وبين النفاذية، كذلك ادت زيادة تركيز الكليسيرول الى زيادة مساحة الحجم الحر بين الجزيئات وسهولة حركة سلاسل البوليمر ونتيجة لذلك تزداد المسامية داخل المادة مما يزيد من نفاذية الغلاف او الطلاء لبخار الماء(Bharti et al., 2020; Asriyanti et al, 2022).



شكل (٥) نفاذية بخار الماء لاغلفة البكتين A : بكتين ١% وكليسيرول ٥٠%, B : بكتين ١% وكليسيرول ٧٠%

اتفقت النتائج مع ما لاحظه Galus et al.(٢٠١٣) اذ بين ان نفاذية بخار الماء ازدادت للاغلفة المحضرة من البكتين من ١.٢١ - ١.٦٨ غم . ملم / م٢ . ساعة كيلو باسكال عند زيادة تركيز البكتين من ١.٥% - ٢.٥ % والكليسيرول من ٥٠% -

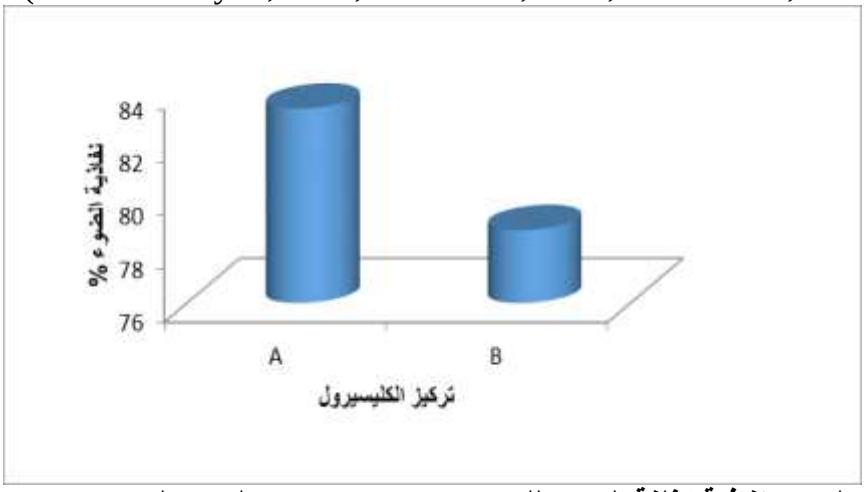
ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

٧٠% ، وعزي السبب الى طبيعة البكتين المحبة للماء والى زيادة حركة سلاسل البوليمر نتيجة زيادة الحجم الحر بسبب زيادة تركيز الكليسيرول. واتفقت النتائج مع ماتوصل اليه Karlan and Rahmadhia(٢٠٢٢) بان نفاذية بخار الماء لاغلفة البكتين المستخلص من البرتقال ازدادت ٩.٥٣ غم . ملم / م٢ . ساعة كيلو باسكال عند زيادة الكليسيرول من ١٠% - ٣٠ % .

تقدير نفاذية الضوء والشفافية للاغلفة

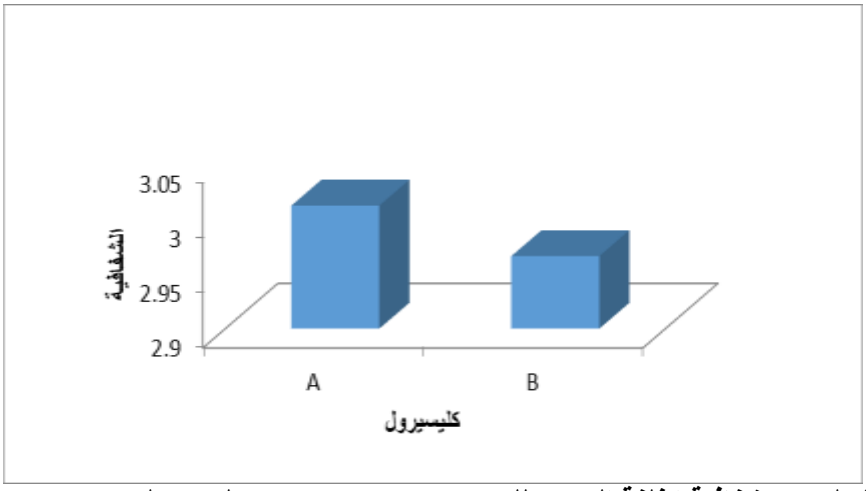
اشار الشكل (٦) الى النسب المئوية لنفاذية الضوء المقدرة عند الاطوال الموجية من ٢٠٠ -٩٠٠ نانومتر لاغلفة البكتين بتركيز ١ % مع كليسيرول بتركيز ٥٠ ، ٧٠% ، اذ لوحظ من الشكل ان النفاذية انخفضت وبلغت ٧٨.٧٣٨% للأغلفة المحضرة بتركيز كليسيرول ٧٠%، في حين بلغت ٨٣.٣٠٧% للاغلفة المحضرة بتركيز بكتين ١ % وكليسيرول ٥٠%، في حين يلاحظ من الشكل (٧) انخفاض الشفافية مع زيادة كل من تركيز الكليسيرول اذ بلغت ٢.٩٦٦ عند تركيز٧٠% كليسيرول بينما بلغت الشفافية ٣.٠١٢ عندما كان تركيز البكتين ١% و الكليسيرول ٥٠ % , ويعزى السبب الى ان زيادة تركيز الكليسيرول من ٥٠% - ٧٠% ساهمت في انخفاض نفاذية الاغلفة للضوء بسبب زيادة المواد الصلبة الذائبة وتركيب وحجم جزيئات الكليسيرول الذي يعرقل نفاذية الضوء عبر الاغلفة

(Nazir and Sayuti, 2019;Matta et al., 2020;Karlan et al.,2022).



شكل (٦) نفاذية اغلفة البكتين للضوء A : بكتين ١% وكليسيرول ٥٠% ، B : بكتين ١% وكليسيرول ٧٠%

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855



شكل (٧) شفافية اغلفة البكتين للضوء A : بكتين ١% وكليسيرول ٥٠%، B : بكتين ١% وكليسيرول ٧٠%

اتفقت هذه النتائج مع ماتوصل اليه Galus et al.(٢٠١٣) اذ لاحظوا انخفاض نفاذية الضوء لاغلفة البكتين من ٩٠.٢ - ٨٩.٥ عند زيادة تركيز البكتين من ١.٥ - ٢.٥ % والكليسيرول من ٥٠ - ٧٠%, في حين وجد Asfaw et al.(٢٠٢٣) ان عتمة اغلفة البكتين ازدادت بزيادة تركيز البكتين من ٣ - ٥% والكليسيرول من ١٥ - ٢٥% اذ بلغت ١-A mm ٠.٠٦٧٦ ، وعزي السبب الى ان زيادة تركيز البكتين ادت الى تشكيل شبكة بوليمر كثيفة واكثر سمك ، وكذلك زيادة تركيز الكليسيرول ادت الى زيادة المواد الصلبة الذائبة وبالتالي انخفاض نفاذية الضوء للأغلفة.

الاختبارات التشخيصية

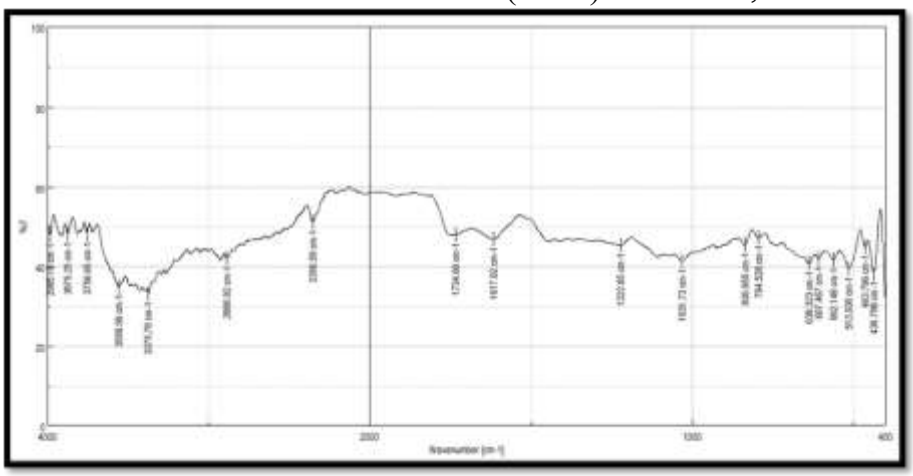
التشخيص الطيفي باستخدام الاشعة تحت الحمراء (FTIR)

يوضح الشكل(٨) مرتسم المجاميع الفعالة للغلاف المحضر من البكتين ١% و٥٠% الكليسيرول، أظهر المرتسم الطيفي وجود نطاق امتصاص عند العدد الموجي ٣٤٢٩.٧٨ سم$^{-1}$ يُعزى إلى اهتزازات التمدد لرابطة الهيدروكسيل -OHالتي تعكس وجود مجموعات هيدروكسيلية ناتجة عن التفاعلات بين مونومرات البكتين ، وكذلك تعود جزئياً إلى مجموعات الهيدروكسيل في جزيئات الكليسيرول ، ظهر نطاق امتصاص عند المديات ٢٩١٩.٧ – ٢٣٥٨.٥٢ سم$^{-1}$ التي تشير إلى اهتزازات تمددية لرابطة C–H في المجموعات الاليفاتية، وتحديداً مجموعات الميثيل المرتبطة بالسلاسل الجزيئية لبوليمر البكتين كما ظهرت قمة ضمن النطاق ١٧٥٠ –

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

١٦٣١.٤٨ سم$^{-1}$ يمكن إرجاعها إلى نوعين من الاهتزازات الأول يمثل اهتزازات التمدد لرابطة الكاربونيل C=O في مجموعة استر الميثيل CH_3–CO والثاني يعزى إلى الاهتزازات غير المتماثلة لمجموعة الكاربوكسيل الأيونية -COO^-مما يعكس وجود كل من المجموعات المؤسترة وغير المؤسترة في بنية البكتين ، أما العدد الموجي ١١٠٨.٨٧ سم$^{-1}$ اشار الى وجود روابط الإيثر C–O–C التي تعد من السمات المميزة لتركيب البكتين.اتفقت النتائج مع ماتوصل اليه Darni et al.(٢٠١٧) عند تشخيص المجاميع الفعالة للأغلفة المحضرة من البكتين والكليسيرول والسوربيتول ، كذلك توافقت النتائج مع ماتوصل اليه Asfaw et al.(٢٠٢٣)عند تشخيصهم المجاميع الفعالة في الاغلفة المحضرة من البكتين . و اشار Weldearegay et al).(٢٠٢٤ الى ان الكليسيرول يمتلك مدى عريض يتراوح بين ٣٢٠٠ – ٣٦٠٠ سم-١ يشير الى مجاميع O-Hومجاميع اليفاتية C-H تقع ضمن المدى ٢٨٠٠ – ٢٩٥٠ سم-١ اما مجاميع C-O تظهر ضمن الاعداد الموجية ١٠٠٠- ١١٠٠ سم-١ وهي مميزة للكحولات .

تعد تقنية مطيافية الاشعة تحت الحمراء من التقنيات المهمة المستعملة في تشخيص المجاميع الفعالة للبوليمرات الناتجة من التفاعل الكيميائي للمواد المكونة للغلاف.Suderman, Mhd (٢٠١٩)



شكل(٨) مرتسم طيف الاشعة تحت الحمراء لغلاف البكتين ١% و٥٠% كليسيرول

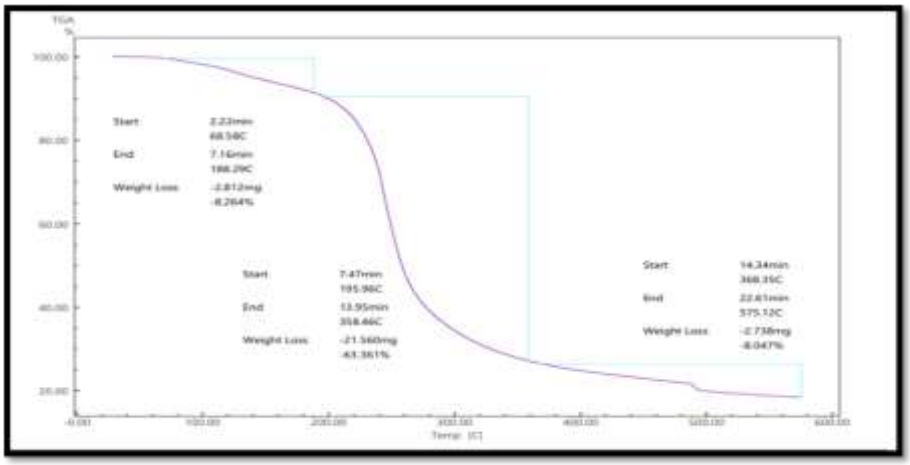
التحلل الحراري الوزني (TGA)

يشير الشكل (٩) الى مرتسم التحلل الحراري الوزني للغلاف المحضر من البكتين بتركيز ١% والكليسيرول بتركيز ٥٠% ، اذ لوحظ تحلل وفقدان في وزن

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

البوليمر على مراحل عدة : الاولى حدث فيها فقدان للوزن بمقدار ٨.٢٤٦ % عند درجة حرارة ٦٨.٥٨ - ١٨٨.٢٩ م ويعود السبب الى تبخر الماء والجزء الاكبر من الكليسيرول ، اما المرحلة الثانية فقد كان مقدار الفقدان في الوزن ٦٣.٣٦١ % عند درجة حرارة ١٩٥.٩٦ - ٣٥٨.٤٦ م وهذا الفقدان يمثل التحلل الحراري للبكتين والجزء المتبقي من الكليسيرول ، اما المرحلة الثالثة بلغ مقدار الفقدان ٨.٠٤٧ % عند درجة حرارة ٣٦٨.٣٥ - ٥٧٥.١٢ م وهذا الفقدان يمثل التحلل الكامل للبقايا الكاربونية الناتجة عن تحلل البكتين. وجاءت النتائج مقاربة لما وجده Siracusa et al.(٢٠١٨) اذ وجد ان عملية التحلل الحراري الوزني لاغلفة البكتين كانت على ثلاث مراحل ، كذلك اتفقت النتائج مع ما ذكرهAsfaw et al.(٢٠٢٣) حول التحلل الحراري الوزني لاغلفة البكتين.

يعد التحلل الوزني الحراري TGAضروريا لتحديد الخواص الحرارية للمواد وتحللها الحراري وفقدان وزنها عند درجات حرارة مختلفة ، يمثل المرتسم الحراري وزن العينة المتبقي بالنسبة لتغير درجة الحرارة ويعطي معلومات نوعية وكمية عن العينة.



شكل (٩) مرتسم التحلل الحراري الوزني لغلاف البكتين ١% مع ٥٠% كليسيرول

التحلل الحراري التفاضلي المسعري (DSC)

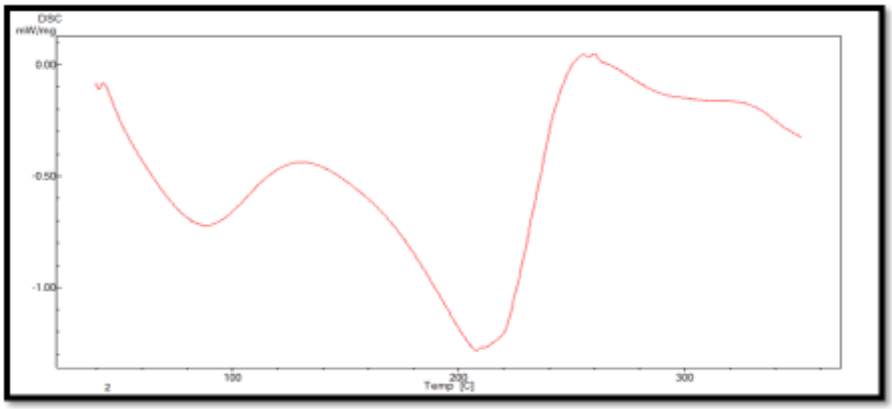
يظهر الشكل (١٠) نتائج DSC للغلاف المحضر من البكتين بتركيز ١% والكليسيرول بتركيز ٥٠% اذ اشار الى مناطق عدة وتحولات في المنحنى منها منطقة الانخفاض الاول كانت في مدى حراري من درجة حرارة المختبر الى حوالي درجة حرارة ١٠٠ م اذ لوحظ انخفاضا كبيرا في تدفق الحرارة وظهور قمة للأسفل ،

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

هذا يشير الى فقدان الماء او المذيب المتبقي من الغلاف، كل من البكتين والكليسيرول محبان للماء لذا يتم امتصاص بعض الرطوبة من الجو ويعمل التسخين على تبخر هذا الماء لذا فهي عملية ماصة للحرارة، اما منطقة التحول الثاني تكون في مدى حراري تقريبا بين درجة ١٥٠- ٢٠٠ مْ وتظهر تحولا ماصا للحرارة ولكنه اقل من الاول وقد يشير الى انتقال زجاجي Tg Glass Transition Temperature اذ يظهر البكتين انتقالا زجاجيا وكذلك وجود الكليسيرول كمادة ملدنة من شانه ان يخفض درجة حرارة الانتقال الزجاجي للبكتين وهذه القمة تمثل Tg المخفض للغلاف وقد تحدث تغييرات في البنية الداخلية للأغلفة في هذا المدى الحراري، يلاحظ في المدى الحراري بعد ٢٢٠ مْ ارتفاعا حادا في تدفق الحرارة وظهور قمة للأعلى تشير الى حدث باعث للحرارة الذي يكون مرتبطا اما بتحلل المادة اي بداية تحلل او احتراق البكتين والكليسيرول وهي عملية باعثة للحرارة او حدوث تفاعلات كيميائية بين البكتين والكليسيرول او نواتج تحللهما مما يؤدي الى انبعاث الحرارة، يظهر المنحنى منطقة اكثر استقرار بعد حدوث التحلل الرئيسي وقد تستمر بعض التغييرات الطفيفة في تدفق الحرارة، اما الكليسيرول فانه يعمل كملدن للبكتين فهو يزيد من مرونته ويقلل من درجة حرارة الانتقال الزجاجي مما يفسر احتمال ظهور قمة ماصة للحرارة اقل حدة في مدى حراري متوسط، قد يؤثر الكليسيرول على درجة حرارة التحلل الحراري للبكتين في بعض الحالات مما يؤدي الى تحلل عند درجة حرارة اقل، اتفقت النتائج مع ماتوصل اليه Siqueira et al.(2022) عند دراستهم تحليل DSC لاغلفة البكتين ، كذلك لاحظ(٢٠١٧) Jantrawut ظهور قمة ماصة عند درجة حرارة ١١٥ مْ لاغلفة البكتين منخفض الميثوكسيل ناتجة عن تبخر الماء من شبكة البكتين.

تقيس تقنية المسح التفاضلي DSC تدفق الحرارة المرتبط بالتغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث في المادة عند تسخينها أو تبريدها وذلك كدالة لدرجة الحرارة أو الزمن يعكس المنحنى الناتج كمية الحرارة التي تمتصها العينة اذ تظهر التفاعلات الماصة للحرارة على شكل قمم متجهة للأسفل وتشير الى التبخر او الذوبان او الانتقال الزجاجي بينما تظهر التفاعلات الطاردة للحرارة على شكل قمم متجهة للأعلى وتشير الى التبلور او التحلل او التفاعلات الكيميائية (٢٠٢٠,.Akash et al.,2020)

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855



شكل (١٠) التحلل الحراري التفاضلي لغلاف البكتين ١% مع ٥٠% كليسيرول

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

References

Akash, M. S. H., Rehman, K., Akash, M. S. H., & Rehman, K. (2020). Differential scanning calorimetry. Essentials of harmaceutical analysis, 199-206.

Apriliyani, M. W.; Purwadi; Abdul Manab; Mulia W. A. and Alvira, D. K.(2020). Characteristics of Moisture Content, Swelling, Opacity and Transparency with Addition Chitosan as Edible Films/Coating Base on Casein, Advance Journal of Food Science and Technology 18(1): 9-14.

Asriyanti, E. W., Munisah, M., Dewanto, E. R., & Mujiburohman, M.(2022). Effect of Temperature, Concentration, and Type of Plasticizer on Edible Pectin Film Characteristics of Mango Peel (Mangifera indica L.). CHEMICA : Jurnal Teknik Kimia 9, (1) : 1-9.

Asfaw,W. A. ;Tafa, K. D. ,Satheesh,N.(2023). Optimization of citron peel pectin and glycerol concentration in the production of edible film using response surface methodology, journal of Heliyon, 9 : 1-11.

Bharti, S. K.; Pathak, V.; Alam, T.; Arya, A.; Basak, G.; and Awasthi, M. G. (2020). Materiality of edible film packaging in muscle foods: A worthwhile conception. Journal of Packaging Technology and Research, 4, (1): 117-132.

Jancikova, S.; Dordevic, D.; Jamroz, E.; Behalova, H. and Tremlova,B. (2020). Chemical and physical characteristics of edible films, based on κ-and ι-carrageenans with the addition of lapacho tea.

Jantrawut, P., Chaiwarit, T., Jantanasakulwong, K. Brachais, C., & Chambin, O. (2017). Effect of plasticizer type on tensile property and in vitro indomethacin release of thin films based on low methoxyl pectin. Polymers, 9(7): 289.

Joshi, P. R., & Lee, Y. P. (2024). Identification of HOC• HC (O) H, HOCH2C• O, and HOCH2CH2O• intermediates in the

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

reaction of H+ glycolaldehyde in solid para-hydrogen and its implication to the interstellar formation of complex sugars. Journal of the American Chemical Society, 146, (33): 23306-23320.

Cazón, P.; Velazquez, G.; Ramírez, J. A. and Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: Areview. Food Hydrocolloids, 68: 136-148.

Costanza, V., Bonanomi, L., Moscato, G., Wang, L., Choi, Y. S., & Daraio, C. (2019). Effect of glycerol on the mechanical and temperature-sensing properties of pectin films. Applied Physics Letters, 115(19).

Darni, Y., Utami, H., Septiana, R., & Fitriana, R. A. (2017). Comparative studies of the edible film based on low pectin methoxyl with glycerol and sorbitol plasticizers. Jurnal Bahan Alam Terbarukan, 6(2): 158-167.

Dang, G., Li, J., Yin, C., Wang, W., Zhang, K., Zhong, R., ... & Schroyen, M. (2024). Deciphering Pectin: A Comprehensive Overview of Its Origins, Processing, and Promising Utility. ACS omega, 10(1), 1-15.

Dhanapal, A., Sasikala, P., Rajamani, L., Kavitha,V., Yazhini, G., Banu, M.S. (2012).Edible films from polysaccharides.Food Science and Quality Management, 3: 9-17.

Febriyanti, R., Elma, M., Nata, I. F., Saraswati, N. K. D. A., and Simatupang, P. F. A. (2023). Hydrogel Films Derived Water Hyacinth Stems And Banana Peels Pectin: Tensile Performance And Swelling Ability. Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology, 9 (1): 81-98.

Foschi, E.; Bonoli, A.(2019). The Commitment of Packaging Industry in the Framework of the European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Adm. Sci ,9, 18.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Frasisca, S.; Rostini,L. ; Asep Agus Handaka Suryana, Rusky Intan Pratama(2020). Effect of Addition Glycerol Plasticizer to the Characteristics of Catfish (Pangasius sp.) Surimi Protein Edible Film World News of Natural Sciences 30(2) :243-256.

Galus, S., Uchanski, P., and Lenart, A. (2013). Colour, mechanical properties and water vapour permeability of pectin films. Acta Agrophysica, 20 (3): 375- 384.

Gheorghita, R.; Amariei, S.; Norocel, L. and Gutt, G. (2020). New edible packaging material with function in shelf life extension:applications for the meat and cheese industries. Foods, 9(5), 562. 1-13.

Gao, C.; Pollet, E. and Avérous, L. (2017). Properties of glycerol-plasticized alginate films obtained by thermo-mechanical mixing. Food Hydrocolloids, 63: 414-420.

Huang, Q.; Wan, C.; Zhang, Y.; Chen, C.; Chen, J.(2021). Gum Arabic Edible Coating Reduces Postharvest Decay and Alleviates Nutritional Quality Deterioration of Ponkan Fruit during Cold Storage. Front. Nutr, 8, 717596. [CrossRef]

Kannan, A., Dheeptha, M., & Sistla, Y. S. (2023). Development of Pectin and Sodium Alginate Composite Films with Improved Barrier and Mechanical Properties for Food-Packaging Applications. Engineering Proceedings, 37(1), 80.

Karlan, L. S., & Rahmadhia, S. N. (2022). Physicochemical characteristics of baby java orange peel pectin (Citrus sinensis) And corn starch-based edible film with glycerol plasticizer. Jurnal Teknologi Pertanian, 23(2), 119-128.

Khairunnisa, S.; Junianto; Zahidah; Rostin,L.(2018).The effect of glycerol concentration as a plasticizer on edible films made from alginate towards its physical characteristic Internatinol Scientific Journal,112: 130-141.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Kusuma, I., Rahmadhia, S. N., & Ma'arif, A. (2024). Polysaccharides based materials as active packaging for food applications: A review. In BIO Web of Conferences (148) : 04001. EDP Sciences.

Mahmoudian, A. (2020). Chitosan-starch film containing pomegranate peel extract and Thymus kotschyanus essential oil can prolong the shelf life of beef. Meat Science, 163, 108073.

Marangoni Júnior, L., Fozzatti, C. R., Jamróz, E., Vieira, R. P., and Alves, R. M. V. (2022). Biopolymer-based films from sodium alginate and citrus pectin reinforced with SiO2. Materials, 15(11), 3881.

Marangoni Júnior, L., Rodrigues, P. R., da Silva, R. G., Vieira, R. P., and Alves, R. M. V. (2021). Sustainable packaging films composed of sodium alginate and hydrolyzed collagen: preparation and characterization. Food and Bioprocess Technology, 14, 2336-2346.

Matta, E., and Bertola, N. (2020). Development and characterization of high methoxyl pectin film by using isomalt as plasticizer. Journal of Food Processing and Preservation, 44(8), e14568.

Mehdizadeh, T.; Tajik, H.; Langroodi, A. M.; Molaei, R. And Niroomand, F.; Khosravani, A. and Younesi, H. (2016). Fabrication and properties of cellulose-nanochitosan biocomposite film using ionic liquid. Cellulose, 23(2): 1311-1324.

Mendelovici, E., Frost, R. L. and Kloprogge, T. (2000). Cryogenic Raman spectroscopy of glycerol. Journal of Raman Spectroscopy, 31(12): 1121-1126.

Miran, M., Salami, M., Emam-Djomeh, Z., Moreno, F. J., & Montilla, A. (2023). Isolation and structural evaluation of

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

pectin, pectin-based polymer blends, composites, IPNs and gels. Handbook of Natural Polymers, Volume 1, 369-398.

Nair, M. S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., &

Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan-and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 164: 304-320.

Nazir, N., and Sayuti, K. (2019). Application of Pectin Extracted from Cocoa Pod in the Production of Edible Film. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 347, No. 1, p. 012060). IOP Publishing.

Niroomand, F.; Khosravani, A.and Younesi, H. (2016). Fabrication and properties of cellulose-nanochitosan biocomposite film using ionic liquid. Cellulose, 23(2): 1311-1324.

Rachtanapun, P. and Rattanapanone, N. (2011). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose powder and films from Mimosa pigra. Journal of Applied Polymer

Scienc. 122(5): 3218-3226.

Racmayai, N. and Husni, A. (2020). Effect of different formulations on characteristic of biobase alginate edible films as biodegradable packaging. E3S Web of conferences 147, 03003. 3rd ISMFR.

Rajarajeswari, P., Sreevani, M., & Suryakumari, P. L. (2021, November). Secure Cloud Risk Architecture analysis for Mobile Banking system and its performance analysis based on Machine learning approaches. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2089, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.

Rossi-Márquez, G.; Helguera, M.; Briones, M.; Dávalos-Saucedo, C.A.; Di Pierro, P.(2023).Edible Films and Coatings Applied in the Food Industry . Coatings, 13, 670.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855

Saklani, P.; Siddhnath, D. S. and Singh, S. M. (2019). A review of edible packaging for foods. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 8(07): 2885-2895.

Siracusa, V., Romani, S., Gigli, M., Mannozzi, C., Cecchini, J. P., Tylewicz, U., & Lotti, N. (2018). Characterization of active edible films based on citral essential oil, alginate and pectin. Materials, 11(10), 1980.

Suderman, N.; Mhd, N. (2019). Optimization of chicken skin gelatin film production with different glycerol concentrations by response surface methodology (RSM) approach, J. Food Sci. Technol.

Subroto, E., Indiarto, R., Pangawikan, A. D., and Prakoso, F. (2021). Production and Characteristics of Composite Edible Films Based on Polysaccharides and Proteins. International Journal, 9 (2).

Siqueira, R. A., Veras, J. M. L., Sousa, T. L. D., Farias, P. M. D., Oliveira Filho, J. G. D., Bertolo, M. R. V. and Plácido, G. R. (2022). Pequi mesocarp: a new source of pectin to produce biodegradable film for application as food packaging. Food Science and Technology, 42, e71421.

Weldearegay, S. G., Gaddala, B., Fentie, E. G., Sundramurthy, V. P., and Priya, L. S. (2024). Valorization of waste prickly pear peels: optimization for pectin extraction, characterization, and development of edible film. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-23.

ISSN: 2537-0804 eISSN: 2537- 0855