

## تحسين خصائص الصدودية للماء والخصائص المضادة للميكروبات لأغلفة قابلة للأكل من خلال المحاكاة الحيوية لسطوح بعض أوراق النباتات

د. مصعب غانم\*

د. سوسن محمود\*\*

م. أريج معلا\*\*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/١/٢٢ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/٢/٢٣)  
□ ملخص □

تم في هذا البحث تحضير أغلفة غذائية أساسها بروتين الصويا المعزول SOY PROTIEN ISOLATE (SOI)

من خلال تقنية صب المذيب على الطبعة السلبية لبعض أوراق النباتات (اللوتس - الملفوف - الكراث)، بهدف محاكاة الشكل الهندسي لهذه السطوح، وتحسين خصائص الصدودية للماء، والخصائص المضادة للميكروبات، لكون تضاريس السطح تلعب دوراً كبيراً في منع تشكل الفلم الحيوي البكتيري وتطوره. ولهذه الغاية تم قياس زاوية التلامس والنفاذية لبخار الماء للأغلفة المحضرة، وإجراء تحليل جرثومي وفق المواصفات العالمية، كما تم قياس بعض الخصائص الميكانيكية للأغلفة المحضرة.

بينت نتائج الدراسة أن المحاكاة الحيوية لسطوح الأوراق قد لعبت دوراً كبيراً في رفع خصائص الصدودية للماء، وأبدت الطبعة السلبية لورقة زهرة اللوتس التحسن الأفضل، حيث سجلت زاوية تلامس للغلاف الذي أخذ تضاريس سطحها ( $140^\circ$ ) مقارنة بـ ( $45^\circ$ ) للعينة الشاهد، كما بينت نتائج التحليل الجرثومي أن سطح ورقة اللوتس قد أكسب الأغلفة أعلى فعالية مضادة للبكتيريا حيث أن التعداد البكتيري قد وصل أقل قيمة له في فاكهة الموز المغلفة به ( $2.2CFU/g$ )، أما الخصائص الميكانيكية انخفضت مقاومة الشد بمقدار (5%) في حين تحسنت الاستطالة عند القطع (26%) وزادت القساوة بمقدار (30%) بعد أخذ الطبعة السلبية لتضاريس اللوتس مقارنة بالعينة الشاهد.

**الكلمات المفتاحية:** المحاكاة الحيوية، أغلفة غذائية، بروتين الصويا المعزول، زاوية التلامس، النفاذية، التحليل الجرثومي.

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

\*\* مدرسة في قسم هندسة تقانة الأغذية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سوريا.

\*\*\* طالبة ماجستير في قسم هندسة تقانة الأغذية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سوريا.

## Improving the hydrophobic and antimicrobial properties of edible films by bioinspiration of some plant leaf

**Dr. MosabGhanem\***  
**Dr. Sawsanmahmod\*\***  
**Eng. ArijMoalla\*\***

(Received 22/1/2025 . Accepted 23/2/2025)

□ ABSTRACT □

In this research, food coatings based on soy protein isolate(SPI) (from defatted soy-bean flour)were prepared through the technique of solvent cast on to negative impression of some plant leaves (lotus - cabbage - leek) with the aim of simulating the geometric shapes of these surfaces and improving hydrophobicity and bacterial resistance.Because surface topography plays a major role in preventing the formation and development of bio-films. For this purpose, the contact angel and water vapor permeability of the prepared and bacterial analysis was performed according to international specifications. Some mechanical properties of the prepared coatings were also measured.

The results of the study showed that the biochemical effect of the leaves surfaces played a major role in increasing the hydrophobic properties, and a negative impression of the lotus leaf showed the best improvement as the contact angle of the cover that took on its surface topography reached ( $140^{\circ}$ ) compared to ( $50^{\circ}$ ) for the control sample. The results of the bacterial analysis showed that the lotus flower surface gave the films the highest antibacterial activity, as the banana fruit covered with it showed the lowest number of bacterial colonies (2.2 CFU/g), while the mechanical properties, the tensile strength decreased (5%) while the elongation at break improved (26%)and the hardness increased (30%) after taking the negative impression of the lotus topography compared to the reference sample.

**key words:** Bioinspired, food coatings, contact angle, permeability, bacteriological analysis.

---

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

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

\*\*\* Graduate student- Department of Food Technical, Faculty of Technical Engineering Tartous University – Syria.

## 1- مقدمة:

تستخدم عدة مواد بوليميرية صناعية من البلاستيك الحراري مثل البولي إيثيلين (PE) والبولي بروبيلين (PP) والبولي ستارين (PS) والبولي فينيل كلوريد (PVC) والبولي إيثيلين تيريفثاللات (PET) وغيرها، وهي مواد ذات أثر سمي تبقى على المواد الغذائية نتيجة تركيبها الكيميائي، وهجرة الأصبغة ومواد الإضافة الكيميائية منها على السطح، ويعتبر التلوث البلاستيكي أحد أكبر المخاطر التي تتهدد البيئة الطبيعية وصحة الإنسان في كل خطوة من دورة حياة البلاستيك، بدءاً من استخراج الموارد الأحفورية وحتى التخلص من النفايات، بما في ذلك تخليق المونومير والإنتاج على نطاق واسع، لها آثار سلبية على البيئة [1] فضلاً عن ذلك، تشير التقديرات إلى أن حوالي (9%) فقط من النفايات البلاستيكية يتم إعادة تدويرها، في حين يتم حرق حوالي (12%) منها، وحوالي (79%) منها تتراكم في مطامر النفايات وفي المحيطات كون المواد البلاستيكية المذكورة غير قابلة للتفكك الحيوي [2]. يؤدي استخدام المواد البوليميرية الصناعية ذات المنشأ البترولي إلى استنفاد الموارد الطبيعية، وزيادة النفايات المتراكمة منها، وتتميز هذه المواد بخصائص حجز وتبادل غازي ضعيفة، مما دفع الباحثين وعدد من الشركات للبحث عن بدائل لها [3].

فكانت البوليميرات الحيوية القابلة للتحلل الحيوي المشتقة من الكتل الحيوية [4-5] مثل (السكريات المتعددة والبروتينات بشكل أساسي) التي تتميز بوفرتها وقابليتها للتحلل البيولوجي وعدم سميتها [6]. وتشير التقديرات إلى أن البوليميرات الحيوية يمكن أن تحل محل ما يصل إلى (90%) من البوليميرات القائمة على النفط غير أن هناك بعض المشاكل الناتجة عن استخدام المصادر الطبيعية [7]، فعلى سبيل المثال، يتطلب استبدال المواد البلاستيكية الحيوية المعتمدة على الوقود الأحفوري بأخرى متجددة تكثيف الزراعة، والتنافس بهذه الطريقة مع إنتاج الغذاء، والنتيجة المباشرة للزراعة المكثفة هي الاستخدام المكثف للأسمدة، مما يؤدي إلى زيادة غازات الاحتباس الحراري [8]. إضافة لما تعانيه من ضعف خصائص حجز بخار الماء والغازات وكذلك الهيدروفيلية العالية التي تجعلها دون المستوى المطلوب.

فمن هنا برزت أهمية استخدام مبدأ الاستلهام الحيوي في تحضير أغلفة غذائية عبر محاكاة تضاريس سطوح أوراق بعض النباتات بهدف تعزيز الهيدروفوبية، وتقليل الامتصاصية للماء وتحسين الخصائص الحاجزة، وهذا السطح المستلهم حيوياً يمنع الالتصاق البكتيري وتشكل الفلم الحيوي [9].

إن الأنظمة الحيوية الموجودة في الحيوانات والنباتات والأحياء الدقيقة تعمل بشكل فريد متطور، وتستمر في أداء وظائفها على كوكب الأرض لوقت طويل، حتى أن أبرع المهندسين لا يمكنه مضاهاة التقنيات التي تعمل بها هذه الأنظمة. تؤدي المحاكاة الحيوية للنظم الطبيعية إلى ظهور أنظمة خضراء متاحة تجارياً، حيث تركز المحاكاة الحيوية على ترجمة المبادئ البيولوجية إلى تكنولوجيا من صنع الإنسان، إن الفكرة الأساسية لهذا العلم هي أن الطبيعة قد تمكنت فعلاً من حل الكثير من المشكلات التي لا نزال نعاني منها كمشكلات الطاقة وإنتاج الغذاء والتحكم بالمناخ وغيرها الكثير [10].

إن تكنولوجيا نظام (Superhydrophobic) (الأسطح فائقة الكرة للماء) هي نظام شائع جداً عند الحيوانات والنباتات مثل أوراق اللوتس.

أوراق نبات الرز والقلقاس (*Colocasia esculenta*) وأوراق الملفوف والكراث والقرنبيط وعين البعوض والفرشات وأجنحة الحشرات وجلود سمك القرش، واستخدام الأنظمة الكارهة للماء لتعزيز سلامة الأغذية وحماية الصحة من التقنيات تحظى باهتمام العديد من المصنعين والباحثين [11].

ركزت الجهود البحثية الحديثة على اكتساب المعرفة حول ظاهرة الصودوية للماء لإعادة إنتاج هياكل مماثلة بشكل مصطنع مع قابلية تطبيق محتملة في معاملة تصنيع الأغذية، ومكافحة التآكل في المعدات المستخدمة كالمقاييس وأجهزة الفرم والمبادلات الحرارية [12]. وخصائص التنظيف الذاتي لتقليل مخلفات الطعام المتبقية في العبوات الغذائية، وتكاليف التنظيف والتطهير لمعدات وحاويات إنتاج الأغذية بالتالي تقليل هدر المياه والحد من التلوث البيئي بمياه الصرف الصناعية. وهذا ما أكده الباحث Shen عام 2020 الذي قام بتصنيع طلاء شديد المقاومة للماء أساسه شمع فول الصويا حيث أظهر الغلاف قدرة على تخفيض بقايا الأطعمة السائلة بسبب هيدروفوبيته العالية. وذلك عند تطبيقه على سطح الزجاج كانت زاوية التلامس ( $159^\circ - 157^\circ - 154^\circ - 153^\circ - 156^\circ - 152^\circ$ ) على التوالي مع الماء وكوكا كولا والعصير والعسل والشاي واللبن [13].

وقد ركزت معظم الدراسات المتعلقة بتغليف المواد الغذائية، وحفظها على إطالة مدة صلاحية الغذاء وتقليل هدر الطعام ، ومنع الالتصاق البكتيري وتكون البيوفلم البكتيري لاحقا على الأسطح الهيدروفوبية للأغلفة المحضرة [14] وهذا ما أكده الباحث Hwang (2023) بتحقيق تأثير تثبيط بكتيري ممتاز ومنع تكوين الأغشية الحيوية بشكل أكبر بتصنيع طلاء Bio-PMMA بسطح كاره للماء من خلال تقنية القالب باستخدام بولي ديميثيل سيلوكسان لنقل سطح أوراق اللوف الأصفر سهمي الشكل (الخشيلاء) إلى سطح البوليمر [15].

إن مواد التعبئة والتغليف شديدة الصودوية للماء يجب أن تتمتع بقوة ميكانيكية كافية لحمل الطعام وتكون قادرة على تحمل القوى التي قد تمارس أثناء النقل والمناولة ومقاومة الحرارة ونفاذية الهواء والرطوبة والمتانة الكيميائية والميكانيكية وعدم سمية المواد المستخدمة وصديقة للبيئة [16].

ومما سبق كانت فكرة البحث تحضير أغلفة أساسها بروتين الصويا (95wt%) مع (3wt%) بولي فينيل الكحول و(2wt%) غليسرين من خلال محاكاة طبوغرافية سطوح أوراق بعض النباتات (اللوتس والملفوف والكراث) باستخدام طريقة القالب وذلك بهدف زيادة الصودوية للماء للأغلفة المحضرة وتعزيز الخصائص المضادة لتشكيل البيوفلم البكتيري.

**أهمية البحث:**

تكمن أهمية البحث في النقاط التالية:

- التخلص من المشاكل الناتجة عن استخدام المواد البلاستيكية ذات المنشأ البترولي (الصحية

والبيئية).

- تعديل هيدروفيلية الأغلفة المحضرة من البوليمرات المتفككة حيويًا بدون أي تعديل كيميائي أو

إضافات كيميائية.

- استخدام مبدأ الاستلهام الحيوي عبر محاكاة تضاريس سطوح أوراق بعض النباتات بما يعزز

الهيدروفوبية، ويمنع الالتصاق البكتيري وتشكل البيوفيلم البكتيري.

**أهداف البحث:**

يهدف هذا البحث إلى اختبار إمكانية استخدام أغشية محسنة بالطبقات السلبية لأوراق بعض النباتات لتغليف

المواد الغذائية، وذلك من خلال:

• استخدام مواد بوليميرية متفككة حيويًا (بروتين الصويا المعزول) في عملية التصنيع كمادة بديلة

لتغليف المواد الغذائية.

• محاكاة مورفولوجيا سطوح أوراق بعض النباتات (لوتس - ملفوف - كراث) بما يخفض معدل

انتقال بخار الماء لسطوح الأغلفة المحضرة

• زيادة الهيدروفوبية وتعزيز الخصائص المضادة للبكتيريا.

• دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للأغلفة المحضرة.

• دراسة فعالية الأغلفة المحضرة في عمليات حفظ الغذاء (فاكهة الموز).

**2- المواد والطرائق المستخدمة:****2-1 المواد:**

تم في هذا البحث استخدام بروتين الصويا المعزول (N×6.25mfb in dry basis) ذو درجة نقاء

(98%) مزود من شركة (FOODCHEM)، وبوليمير بولي دايميثيل سيلوكسان مزود من شركة (FENGCHEN) في

الصين، وقد استخدمت لنسخ سطوح الأوراق، وتعتبر من البوليميرات المرنة متوسطة الصلابة، وهي غير سامة متوافقة

حيويًا وشفافة بصريًا [17]. والغليسيرول وبولي فينيل الكحول مزودان من شركة (LOBA CHMIE) في الهند.

**2-2- تصنيع القالب السلبي:**

تم استخدام بولي دايميثيل سيلوكسان لإنتاج القالب السلبي للأوراق المدروسة، حيث تم جمع الأوراق الطازجة (لوتس- ملفوف - كراث) وغسلها بالماء الجاري لإزالة الشوائب ثم تجفيفها في الهواء ثم تم تثبيتها على ألواح زجاجية بأبعاد 20×15cm للعينة.

تم وزن خليط بولي دايميثيل سيلوكسان ومحفزه بنسبة (10:1wt%) وخطهما يدوياً لمدة (5) دقائق لتحسين التجانس، من ثم يترك لمدة عشر دقائق حتى تختفي جميع الفقاعات المتشكلة، بعد ذلك يتم صب الخليط على ألواح زجاجية المحضرة مسبقاً مع أوراق اللوتس والملفوف والكراث. ثم توضع الألواح في فرن جيد التهوية لمدة معالجة تبلغ (4) ساعات عند درجة حرارة (60°C) ثم تترك لمدة (48) ساعة عند درجة حرارة الغرفة [18] بعد ذلك يتم أخذ الختم الذي يحمل الأنماط العكسية الشكل (1) لاستخدامه كختم لطباعة الأغلفة الحيوية.



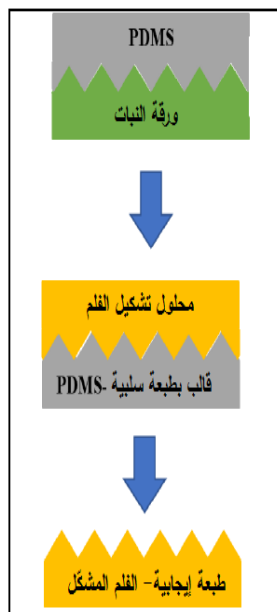
الشكل (1): الطبعة السلبية لأوراق الملفوف - الكراث - اللوتس

**2-3 تحضير الغلاف الحيوي:**

للحصول على محلول الصب المكون للغلاف تم تحضير محاليل مكوناته محلول بروتين الصويا وذلك بإذابة (10) غرام من بروتين الصويا في (150) مل ماء مقطر [19] ومحلول بولي فينيل الكحول بتركيز (10%) باستخدام الماء كمذيب واستخدم الميزان الإلكتروني من قبل شركة (Sartorius) الألمانية، حيث تبلغ دقة الميزان (0.0001) غرام.

**2-3-1 تحضير محلول الصب:**

من خلال مزج (95wt%) من محلول البروتين المحضر مع (3wt%) من محلول بولي فينيل الكحول مع (2wt%) غليسيرين لمدة ربع ساعة بالمازج الميكانيكي حتى تمام التجانس ويترك لمدة أربع ساعات حتى تختفي كامل الفقاعات. ثم بعد ذلك تم تركيب القالب السلبي لأوراق زهرة اللوتس والملفوف والكراث [20] وفق المراحل الموضحة بالشكل (2)، وتم ضبط الألواح الزجاجية أفقياً بواسطة زئبقية ثم تحضير الأفلام بطريقة صب المذيب:

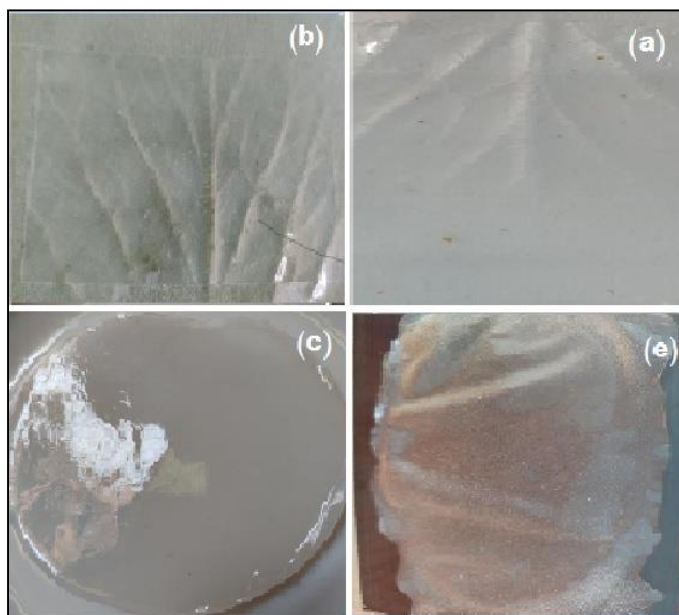


الشكل (2) مراحل أخذ الطبعة السلبية للأوراق المدروسة

أخذ (50) مل من المزيج المائي للبوليمر المستخدم وصبها مباشرة على القوالب السلبية المتشكلة من الأوراق المستخدمة لملء التجاويف الدقيقة، بينما تم صبّ غلاف كعينة مرجعية للمقارنة على أحد الألواح الزجاجية، بعدها وضعت الألواح ضمن فرن تجفيف عند درجة الحرارة (40°C) لمدة (24) ساعة.

حصلنا بالنهاية على الأفلام بنفس شكل السطح الهرمي لورقة النبات المدروس (positive replic)، كما هو

موضح في الشكل (3):



الشكل (3): أفلام الطبعة الايجابية (a) الكراد (b) الملفوف (c) اللوتس (e) الشاهد

## 3-الطرائق المستخدمة لتحديد خصائص الأغلفة:

## 1-3 الخصائص الفيزيائية:

## 1-3-1 خصائص الحاجز: معدل انتقال بخار الماء عبر الغلاف (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 واحدها (g/m<sup>2</sup>.day). وعند الأخذ بالاعتبار سماكة الغلاف (g.mm/m<sup>2</sup>.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) كما هو موضح في الشكل (4) 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 (WVTR) (Water vapourTransmission Rate) من خلال العلاقة:

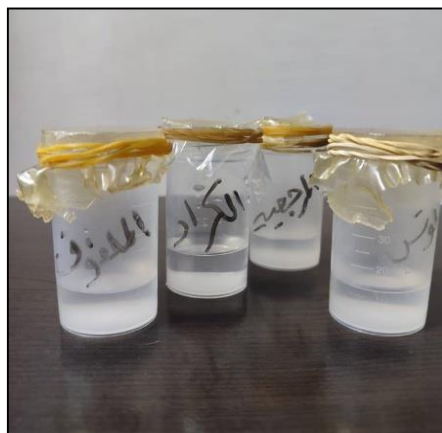
$$WVTR = \frac{dw \times l}{dt \times s}$$

يتم تقدير (WVTR) بوحدة (g.mm/cm<sup>2</sup>.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<sup>2</sup>).



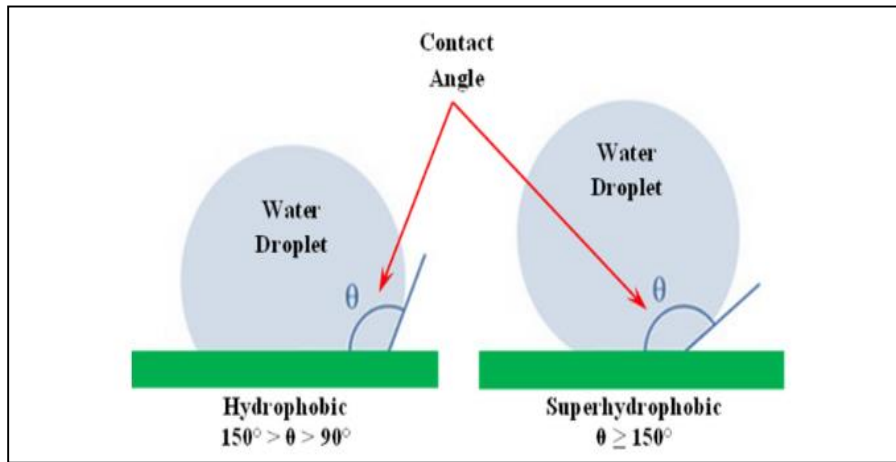
الشكل(4): تقدير النفاذية لبخار الماء للأغلفة المحضرة

### 3-1-2 زاوية تلامس الماء (Water Contact angle):

يعطي قياس زاوية التلامس (CA) معلومات حول هيدروفيلية أو هيدروفوبية سطوح الأفلام. تقييم قابلية سطح الأغلفة المحضرة للبلل يجعلها مستقرة في البيئات الرطبة وهي خاصية مهمة في مجال حفظ الأغذية.

وزاوية التلامس ( $\theta$ ): هي الزاوية بين مماس واجهة السائل والبخار والسطح الصلب [21]. كما هو موضح بالشكل (5) تم تحديد زاوية التلامس لكل سطح باستخدام طريقة القطرات الثابتة باستخدام

(Drop goniometer)(GH11 model, Kruss France) وهو مقياس زاوية التلامس مقترنا بكاميرا رقمية عالية الدقة في درجة حرارة الغرفة وذلك عن طريق إسقاط قطرة بحجم (5 $\mu$ L) من الماء المقطر على سطح الأغلفة تم إجراء ثمانية قياسات على الأقل لكل فيلم.



الشكل (5): زاوية التلامس المتوازنة بين قطرة سائل و سطح صلب

### 3-1-3 سماكة الفلم (Film thickness):

تم قياس سماكة الفيلم باستخدام ميكرومتر تم إجراء عشرة قياسات للسماكة على كل عينة اختبار في نقاط مختلفة وتم استخدام القيم المتوسطة في حسابات النفاذية.

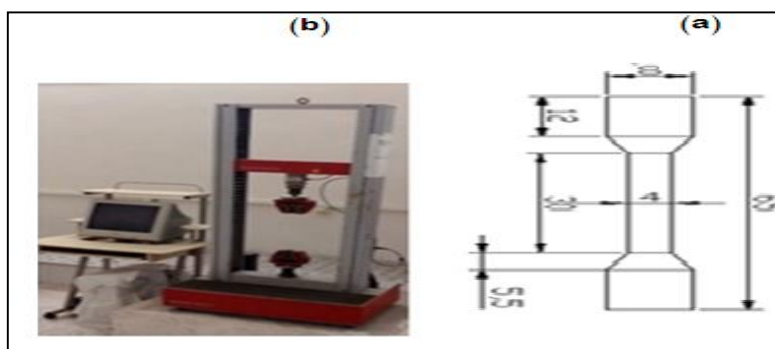
### 3-2 الخصائص الميكانيكية:

تم إجراء الاختبارات الميكانيكية في مخبر اللدائن التابع لكلية الهندسة التقنية وشركة مرفأ طرطوس وشملت هذه الاختبارات.

### 3-2-1 اختبار الشد (Tensile test):

هو عملية تجري على عينة اختبار لتعيين خواصها تحت تأثير حمل معين الشد المحوري في اتجاه واحد حيث نطبق اتجاه الحمل على المحور الطولي للعينة والتحميل تدريجي ويزداد حتى تنكسر العينة وهو اختبار من أكثر الاختبارات شيوعاً خاصة أنه من أسهل الاختبارات الميكانيكية في إجرائها وأبسطها في تحديد النتائج حيث توضع العينة في الجهاز وتعرض للشد وتسجل العلاقة بين (إجهاد - انفعال) لتحديد:

- **إجهاد الشد الاعظمي:** أقصى حمل يمكن للمادة أن تتحمله عند التمدد وهي أعلى قيمة على الرسم البياني  $(\sigma_M)$ .
- **والاستطالة عند الكسر (Elongation at break)(Eb):** تعكس قدرة المادة على التمدد قبل أن تنكسر أي هي أقصى تشوه يمكن ان تتحمله المادة قبل ان تنكسر تمّ تحديد مقاومة الشد في هذا الاختبار للعينات المحضرة بحسب المواصفة العالمية (ASTM D-638) باستخدام آلة الشد الموضحة في الشكل(6):



الشكل (6): (a) جهاز اختبار الشد ونموذج الاختبار (b) أبعاد عينة الشد

### 2-2-3 اختبار القساوة (Hardness Test):

أجري اختبار القساوة (Shore D) وفقاً للمواصفة القياسية العالمية (DIN-53505) عند درجة حرارة الغرفة، وذلك باستعمال جهاز (Digital Shore Hardness Tester) الألماني الصنع مزود من شركة (Zwick) ونموذج الاختبار عينة أبعادها (40×40×6 mm).

تلعب قساوة السطح دوراً كبيراً في مقاومة الأفلام الميكانيكية عند تعرضها لعوامل خارجية، مثل الخدش والحك وتغلغل أجسام غريبة بنيتها، مما يسرع في فسادها وتخفيض مدة صلاحيتها ويسهل تسرب الرطوبة والبكتيريا وعوامل الفساد إلى المادة الغذائية.

### 3-3 الدراسة الميكروبية للأغلفة:

لمعرفة مدى فعالية الأغلفة المحضرة في حفظ الفواكه تم تغليف فاكهة الموز بالأغلفة المستلهمة حيويًا من الأوراق المدروسة بحيث تم إجراء التحليل الجرثومي بعد (15 يوم) من التغليف ومقارنته مع العينة الشاهد غير المغلفة لمعرفة مدى فعالية الأغلفة في حفظ فاكهة الموز الذي تم الحصول عليها من الغابة الاستوائية في منطقة البلاطة الغربية بطرطوس. ولهذه الغاية تم إجراء اختبار التحليل الجرثومي في المخبر المركزي للشركة العامة لمرافق طرطوس.

### 1-3-3 التعداد العام للبكتيريا:

تم إجراء التعداد للأحياء الدقيقة وفق المواصفة القياسية السورية الخاصة بالتعداد العام للأحياء الدقيقة (م.ق.س. رقم 600 لعام 2005) [1] التي تتضمن:

- تحضير الوسط المغذي من النوع (PCA) (Plate Count Agar) الخاص بالتعداد العام للأحياء الدقيقة.
- تحضير عينة الزرع والتمديد وفق المواصفة السورية رقم (2179) لعام 2007 [2].
- بعد الانتهاء من التحضين يتم إجراء التعداد الجرثومي باستخدام عداد المستعمرات الجرثومية (colony counter).

استخراج العدد البكتيري بضرب عدد المستعمرات في مقلوب التخفيف مع مراعاة استخدام طبق مرجعي لكل معاملة، ويحسب عدد الأحياء الدقيقة في (1g) من المنتج باستخدام العلاقة:

$$= C \frac{1}{d} \text{ (TCG) Total count of Germs}$$

(TCG): عدد الأحياء الدقيقة في (1) مل من المنتج CFU/g

C: مجموع عدد المستعمرات في طبق بتري.

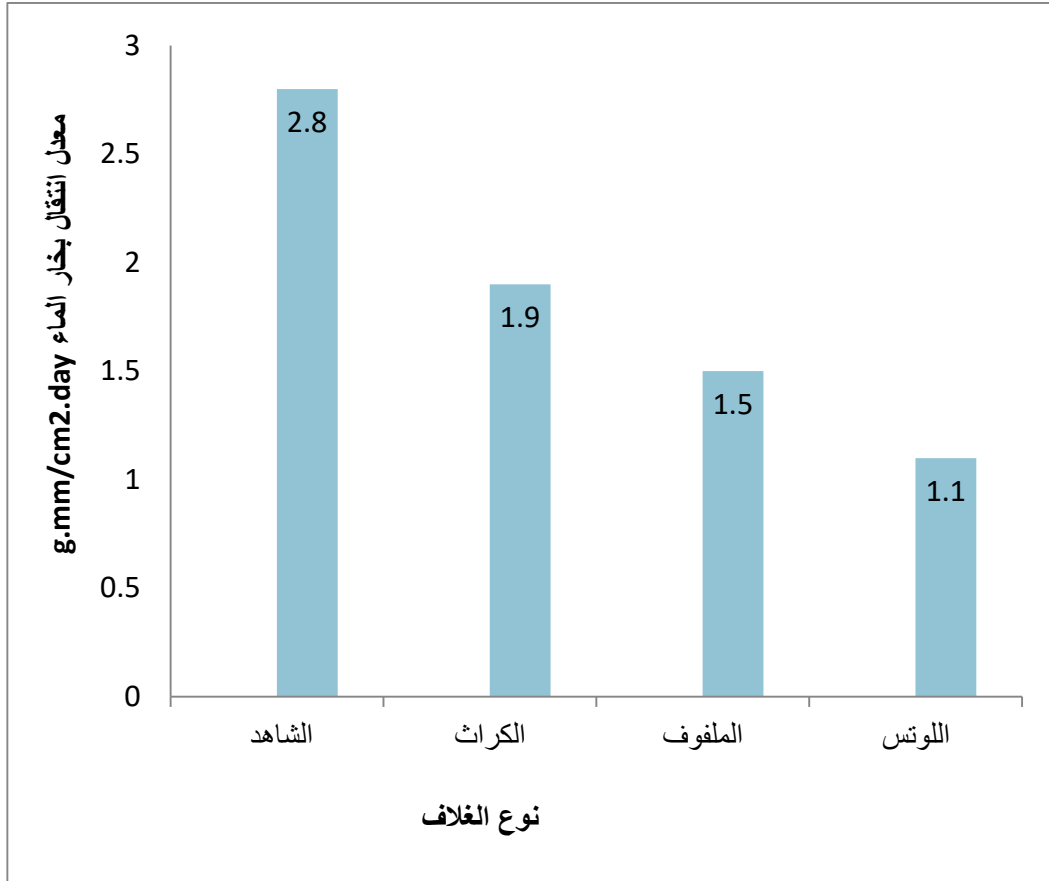
d: معامل التمديد

#### 4- النتائج والمناقشة:

##### 1-4 الخصائص الفيزيائية:

##### 1-1-4 معدل انتقال بخار الماء عبر الغلاف (water vapour transmission ratio):

ويوضح الشكل (7) معدل انتقال بخار الماء للأغلفة المحضرة:



الشكل (7) معدل انتقال بخار الماء

لوحظ أن (WVTR) انخفض في أفلام الطبقات السلبية لكل من (اللوتس- الملفوف- الكراث) على التوالي مقارنة مع العينة الشاهد فقد بلغ حجم التخفيض في غلاف الطبقة السلبية لورقة اللوتس (60%) يليه الملفوف بنسبة تخفيض (46%) ثم غلاف الطبقة السلبية للكراث (32%).

ويعود ذلك الى البنى الهرمية المكتسبة على سطح الاغلفة المحضرة حيث تشكل حاجز يعيق مرور بخار الماء ويقيد حركته ويجعل المسار الذي يسلكه أكثر تعقيداً.

وهذا يتفق مع دراسة اجراها Ghasemlou وزملاؤه عام (2021) عندما قامو بتصنيع سطح فائق الكراهية للماء وذلك باستخدام لتضاريس السطح المجهرية الهيمية (SPC) (Starch/Polyhydroxyurethane/Cellulosenanocrystal) تشبه بنية أوراق اللوتس والتوتر السطحي المنخفض لطبقة من بولي داميثيل سيلوكسان والخشونة النانوية الناتجة عن V-SNPs من خلال الجمع بين الطباعة النانوية والطلاء الدوراني.

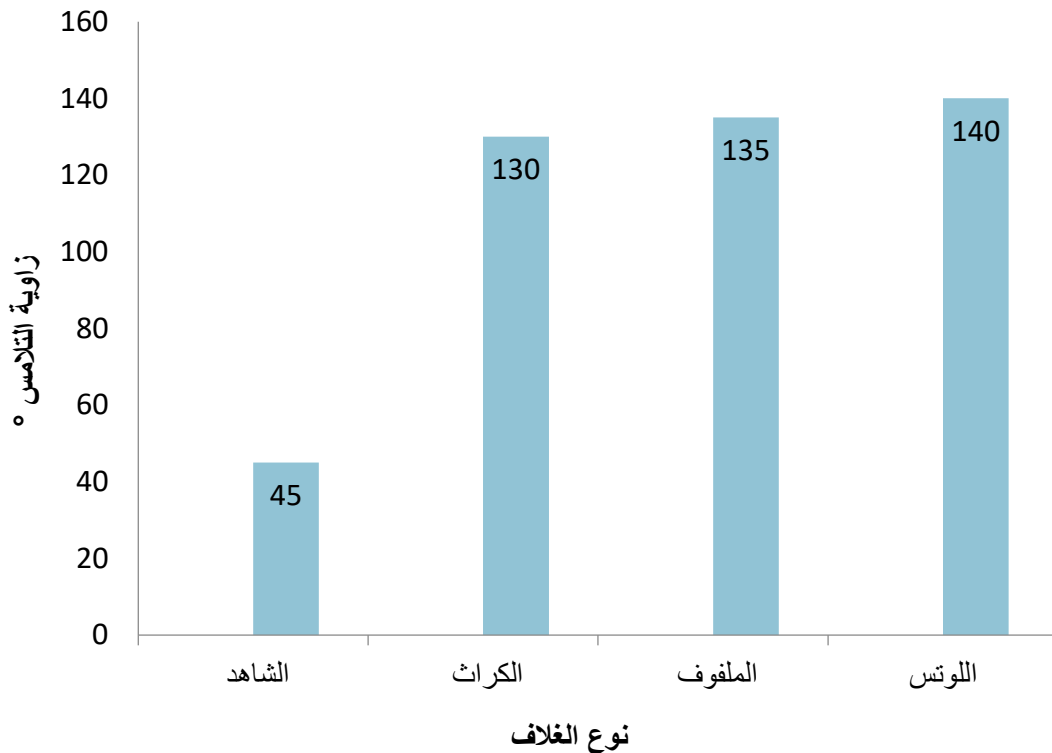
انخفاض معدل انتقال بخار الماء (WVTR) (52%) في فيلم SPC/PDMS/V-SNP بالمقارنة مع العينات الغير مطلية وذلك بسبب الكراهية الفائقة للماء التي توفر حاجز أكثر فعالية للرطوبة من خلال الحفاظ على الحد

الأدنى من الاتصال بالماء وكذلك إخفاء مسام الركييزة بواسطة طلاء السليكا الوظيفية المستخدمة، الذي يعيق مرور الماء [22].

#### 4-1-2 زاوية التلامس (contact angel):

من الشكل (8) نلاحظ زيادة في قيم زاوية التلامس لتكون أعلى قيمة ( $140^\circ$ ) لغللاف الطبعة السلبية لورقة اللوتس حيث يعكس تغير زاوية التلامس بين الشاهد والطبعات السلبية للأغلفة المحضرة من اللوتس والملفوف والكرات زيادة في الهيدروفوبية بمقدار (76%) لغللاف الطبعة السلبية لورقة اللوتس يليه الملفوف (65%) و(64%) بالمقارنة مع الشاهد.

وذلك بسبب المورفولوجيا الميكروية لسطح الأوراق المستخدمة والمكتسبة على سطح الأغلفة المحضرة حيث يساهم هذا الهيكل الهرمي بالخواص الكارهة للماء ويقلل من المساحة التي يلتصق بها الماء على السطح بالتالي زيادة الهيدروفوبية.



الشكل (8) تغير زاوية التلامس لأغلفة مستلهمة من سطوح بعض النباتات

وهذا يتفق مع الباحث WANG وزملاؤه عام (2020) قامو بتصنيع ورقة لوتس اصطناعية صالحة للأكل أطلق عليه (AL)(Artificial lotus) وذلك بخطوتين الحصول على غلاف (الكوتين - بكتين) ثم تطبيق طلاء شمع العسل المشتت في الإيثانول فائق الكارهة للماء مع تسخين إضافي لتعزيز الاستقرار والالتصاق بين الطلاء فائق المقاومة للماء والغشاء ، وذلك عند درجة حرارة ( $55^\circ$ ) لمدة (180Sec) للحصول على سطح هيدروفوبي بزواية تلامس ( $150^\circ$ ) تحاكي سطح ورقة اللوتس الطبيعية وذلك بسبب مادة الطلاء الكارهة للماء (شمع العسل)[23].

## 4-2 دراسة الخصائص الميكانيكية:

## 4-2-1 إجهاد الشد الاعظمي والاستطالة عند القطع:

لوحظ من النتائج أن قيمة إجهاد الشد للعينات الشاهد أعلى منها لأغلفة الطبقات السلبية للوتس والملفوف والكرات، وكان حجم الانخفاض في قيمة إجهاد الشد لغلاف الطبقة السلبية للوتس (5%) والملفوف (32%) و(17%) للكرات بالمقارنة مع عينة الشاهد التي بقيت متماسكة.

حيث يحصل انتقال لإجهادات بطريقة سلسلة نتيجة شكل الانحناء والانسياب بين السطوح الهرمية بحيث لا تسمح بتركز الاجهادات (نتوءات غير حادة).

أما الاستطالة عند القطع كانت لكل من أغلفة الطبقات السلبية التي أخذت سمات أوراق اللوتس والملفوف والكرات أعلى منها للعينات الشاهد زادت الاستطالة لغلاف الطبقة السلبية لكل من اللوتس (26%) و(13%) للملفوف و(7%) الكرات مقارنة بغلاف العينات الشاهد. حيث بنيت السطح بعد أخذ الطبقة السلبية للأغلفة المحضرة تسمح بتوجه السلاسل باتجاه محور الشد واصطفافها بطريقة تسهل عملية إعادة توجه السلاسل البوليميرية للبروتين بالتالي زيادة بالمرونة للأغلفة مقارنة مع قيم الاستطالة للعينات الشاهد والجدول (1) يبين قيم إجهاد الشد الاعظمي والاستطالة عند الكسر للعينات المختبرة.

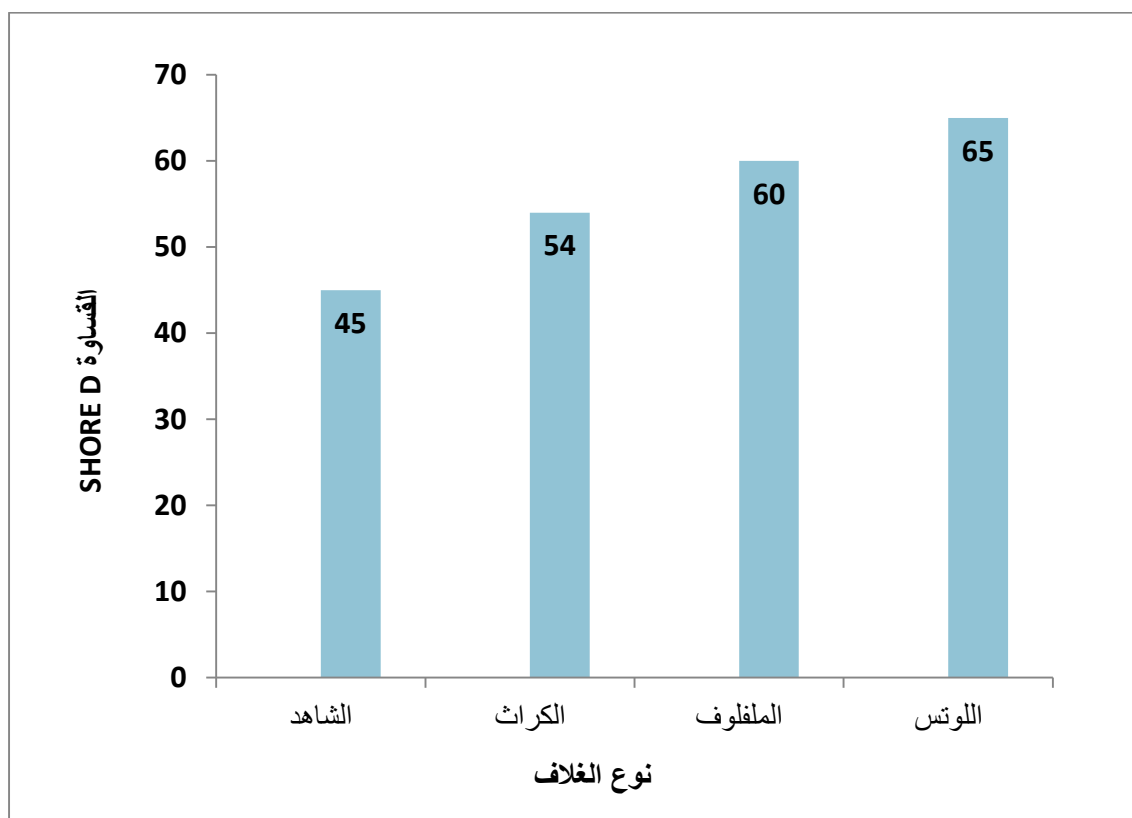
الجدول (1): (إجهاد الشد الاعظمي-الاستطالة عند الكسر)

الخاصية	الشاهد	لوتس	الكرات	الملفوف
إجهاد الشد الاعظمي ( $\sigma_M$ )	10.3	9.7	8.5	7
الاستطالة عند القطع Eb %	2.6	3.5	2.8	3

ذكر الباحث lie وزملاؤه عام 2019 عند تحضير ورق تغليف مقاوم للماء وآمن للطعام مع خصائص محسنة للرطوبة باستخدام طبقة تلو الأخرى لبناء طبقات متعددة هجينة من البوليمر والطين النانوي مع معالجة لاحقة بشمع الكرنوبا أعطت عينة الورق المعدلة باستخدام مادة الشمع (CR/CS/MMT/CS) متعددة الطبقات زاوية انخفضت قوة الشد بنسبة (33.2%) لعينات الورق المعدلة بطبقات متعددة (CR/CS/MMT/CS) بسبب تكوين طبقة شمعية رقيقة ذات طاقة سطحية منخفضة أعاق التفاعل بين الألياف. وازدادت لاستطالة عند الكسر للورقة المعدلة (20%) [24].

## 4-2-2 قيم القساوة للأغلفة المحضرة:

من الشكل رقم (9) نلاحظ أعلى قيمة للقساوة كانت في غلاف الطبعة السلبية للوتس بقيمة (65shore) بسبب بنية الهرمية المكتسبة بالمقارنة مع العينة الشاهد بقيمة (45shore) التي بقيت متماسكة. حسن غلاف الطبعة السلبية لورقة اللوتس والملفوف والكرات القساوة بالمقارنة مع غلاف العينة الشاهد بنسبة (30%) لغلاف اللوتس و(25%) للملفوف و(16%) الكرات. حيث أن البنية الهرمية تزيد من خشونة السطح وبالتالي تزيد من القساوة.



الشكل (9): قيم القساوة للأغلفة المحضرة

وهذا يتفق مع دراسة أجراها البحث Zhou وزملاؤه عام 2021 بتصنيع أغلفة حيوية صالحة للأكل من خلال محاكاة حيوية لمسام أوراق النبات وذلك بدمج الكريات المجهرية العضوية المجهرية (chitosan porous microspheres/ PLLA porous microspheres) في مصفوفة الشيلاك أظهرت النتائج اختبار القساوة زيادة بمقدار (36)% بالمقارنة مع غلاف الشيلاك النقي وذلك بسبب البنية المكتسبة بعد الإضافة بالمقارنة مع الغلاف النقي [25].

## 3-4 دراسة الخصائص الميكروبية:

## 1-3-4- التصادم البكتيري:

لوحظ وجود بقع بنية اللون موزعة بشكل عشوائي على فاكهة الموز غير المغلفة تصبح داكنة مع تقدم فترة الحفظ إلى (15 يوم)، وتكون هذه البقع أقل في الأغلفة التي تحاكي سطح ورقة الملفوف وأقل في الغلاف الذي يحاكي سطح الكراث لتحتفي تقريباً في الثمار المغلفة بغلاف أخذ سمات سطح ورقة اللوتس مما يعكس الخصائص المضادة للبكتريا الذي يتمتع به. كما هو موضح بالشكل (10):



الشكل (10): المظاهر الشكلية لثمار الموز بعد (15) يوم من تغليف الموز بالأغلفة المحضرة

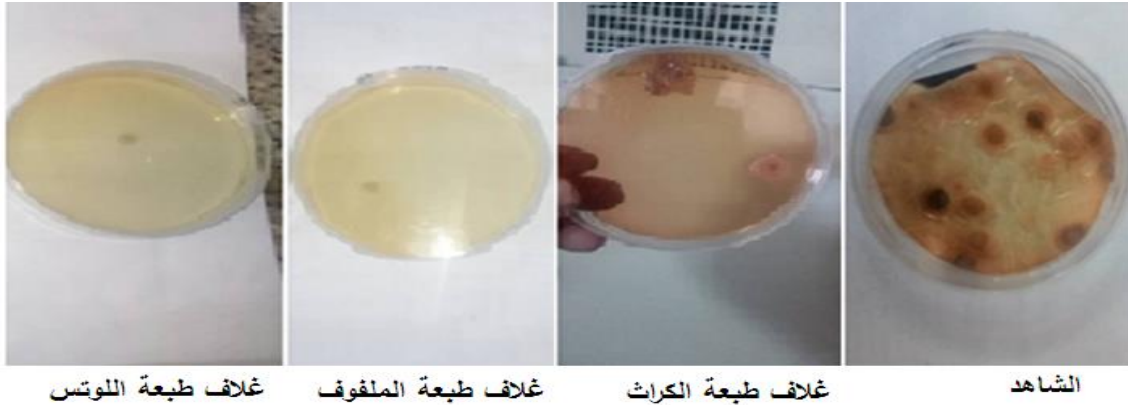
أما القدرة المضادة للبكتريا خفض الغلاف الذي أخذ السمات سطوح اللوتس والملفوف والكراث التعداد البكتيري مقارنة بغلاف العينة الشاهد بمقدار (72%) لغلاف الطبعة السلبية للوتس و(42%) ملفوف و(28%) الكراث.

كما هو موضح في الشكل (11):



الشكل (11) التعداد العام للاحياء الدقيقة لعينة الموز المختبرة

ويعرض الشكل (12) صور المستعمرات البكتيرية لعينة الموز المختبرة بعد (15) يوماً من التغليف



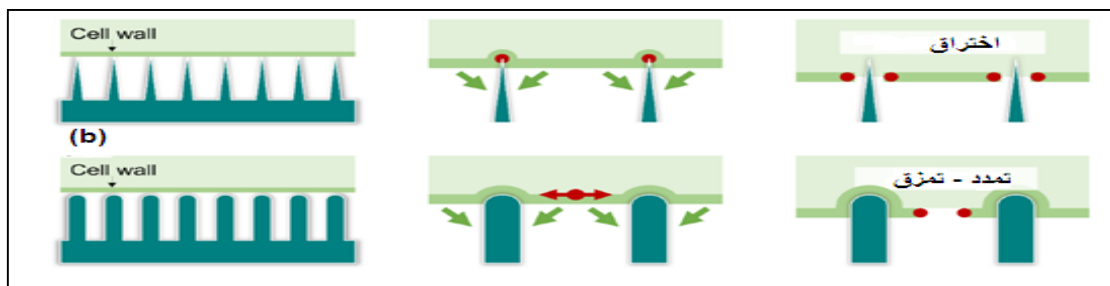
الشكل (12) عينات الموز المغلفة والعينة الشاهد

هذه البنى الهرمية المكتسبة على أسطح الأغلفة لا تقلل من الالتصاق البكتيري فحسب بل لها دور في آلية القتل الميكانيكي وفق الشكل (13) شكل تخطيطي لآلية القتل الميكروبي وفق ما يلي:

• اختراق البنى النانوية لجدار الخلية يؤدي إلى تشوهها وتمزق الجدار مع التمدد باتجاه حركة جدار

الخلية على الهياكل السطحية.

- أما التمدد لغشاء الخلية عند التلامس مع السطح والذي يعتمد أيضا على صلابة غشاء الخلية البكتيرية والتفاعلات الدقيقة للامتصاص البكتيري على طبقة نانوية وبمجرد تجاوز الحد الأقصى لإمكانية التمدد، يتمزق غشاء الخلية وتتسرب محتويات السيتوبلازم مما يؤدي في النهاية إلى موت الخلية [26].



الشكل (13) آلية القتل الميكانيكي

أكد Gomes عام 2023 بانخفاض حوالي ( $1-2 \text{ Log CFU/cm}^2$ ) في احتباس *L.monocytogenes* و *E.coli*، على التوالي، في أسطح المحاكاة الحيوية لأوراق الملفوف والكرب ذات الخصائص الكارهة للماء التي منعت الالتصاق مما يمنع تكوين الأغشية الحيوية مع الحواجز الكارهة للماء وبنيته بمستوى الميكرون [27].

## 5-الاستنتاجات والتوصيات:

أمكن من خلال هذا البحث:

تحضير أغلفة مستلهمة حيويًا من سطوح أوراق (اللوتس -الملفوف -الكراث)، وقد خلص إلى الاستنتاجات والنقاط الرئيسية الآتية:

- تم الحصول على أخفض نفاذية لبخار الماء في الغلاف المحضر من الطبعة السلبية لأوراق اللوتس بنسبة تخفيض (60%) يليها الملفوف (46%) وبعدها الكراث (32%) مقارنة مع العينة الشاهد.
- سجلت أعلى قيمة لزاوية التلامس (CA) كان لغلاف الطبعة السلبية لورقة اللوتس بقيمة ( $140^\circ$ ) مع ( $45^\circ$ ) للعينة الشاهد.
- انخفاض مقاومة الشد (5%) لغلاف الطبعة السلبية لأوراق اللوتس و(32%) للملفوف و (17%) للكراث بالمقارنة مع العينة الشاهد التي بقيت متماسكة.
- تحسنت الاستطالة عند القطع (26%) لغلاف الطبعة السلبية لورقة اللوتس و(13%) للملفوف (7%) للكراث بالمقارنة مع العينة الشاهد.
- ازدادت القساوة بالمقارنة مع العينة الشاهد بمقدار (30%) لغلاف الطبعة السلبية لأوراق اللوتس و(25%) للملفوف و(16%) للكراث.
- سجلت أعلى مقاومة للأحياء الدقيقة في غلاف الطبعة السلبية لورقة اللوتس بتحسن (72%) والملفوف بنسبة (42%) يليه الكراث (28%) مقارنة مع العينة الشاهد.

### وبناء على ما سبق يوصى بما يلي:

- دراسة طبغات سلبية لأوراق نباتية أخرى مثل اللوف السبانخ القرنبيط ذات خصائص كارهه للماء .
- دراسة توليفات أخرى من بوليميرات حيوية أخرى سكرية وبروتينية مختلفة الهيدروفوبية.
- إجراء دراسة اقتصادية لمقارنة الأغلفة المحضرة بالطبغات السلبية مع الأغلفة مصنعة من الثيرموبيلاستيك.
- تطبيق تقنية الاستلهاام والتقليد الحيوي في معامل الأغذية كاستخدام الأسطح الكارهة للماء في المبادلات الحرارية والعبوات الغذائية لما له من قيمة اقتصادية في تقليل الهدر من الطعام في العبوات، وتقليل تكاليف التنظيف بالتالي تقليل استهلاك المياه وكذلك تقليل التلوث البيئي بمياه الصرف الصناعي.

### المراجع العربية:

- [1] المواصفة القياسية السورية الخاصة بالتعداد العام للأحياء الدقيقة (م.ق.س. رقم 600 لعام 2005).
- [2] المواصفة السورية الخاصة بتحضير عينة الفحص رقم (2179 لعام 2007).

### References:

- [1] 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
- [2] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782

- [3] 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
- [4] Gandini, A. (2008). Polymers from renewable resources: a challenge for the future of macromolecular materials. *Macromolecules*, 41(24), 9491-9504
- [5] Guzmán-Puyol, S., Heredia, A., Heredia-Guerrero, J. A., & Benítez, J. J. (2021). Cutin-Inspired Polymers and Plant Cuticle-like Composites as Sustainable Food Packaging Materials. *Sustainable food packaging technology*, 161-198
- [6] Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. (2010). Present and future development in plastics from biomass. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy*, 4(1), 25-40
- [7] Vilela, C., Sousa, A. F., Fonseca, A. C., Serra, A. C., Coelho, J. F., Freire, C. S., & Silvestre, A. J. (2014). The quest for sustainable polyesters—insights into the future. *Polymer Chemistry*, 5(9), 3119-3141
- [8] Cui, S., Yao, B., Sun, X., Hu, J., Zhou, Y., & Liu, Y. (2016). Reducing the content of carrier polymer in pectin nanofibers by electrospinning at low loading followed with selective washing. *Materials Science and Engineering: C*, 59, 885-893
- [9] Tedeschi, G., Benitez, J. J., Ceseracciu, L., Dastmalchi, K., Itin, B., Stark, R. E., ... & Heredia-Guerrero, J. A. (2018). Sustainable fabrication of plant cuticle-like packaging films from tomato pomace agro-waste, beeswax, and alginate. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(11), 14955-14966.
- [10] Bensaude-Vincent, B. (2007). Reconfiguring nature through syntheses: From plastics to biomimetics.
- [11] Wang, Q., Xu, S., Xing, X., & Wang, N. (2021). Progress in fabrication and applications of micro/nanostructured superhydrophobic surfaces. *Surface Innovations*, 10(2), 89-110.
- [12] Chen, L., Duan, Y., Cui, M., Huang, R., Su, R., Qi, W., & He, Z. (2021). Biomimetic surface coatings for marine antifouling: Natural antifoulants, synthetic polymers and surface microtopography. *Science of the Total Environment*, 766, 144469.
- [13] 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
- [14] Ruzi, M., Celik, N., & Onses, M. S. (2022). Superhydrophobic coatings for food packaging applications: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100823
- [15] Hwang, J. J., Wu, C. Y., Hung, Y. H., Li, M. X., Luo, K. H., Jia, H. W., ... & Yeh, J. M. (2023). Biomimetic PMMA coating surface and its application on inhibition of bacterial attachment and anti-biofilm performance. *Surfaces and Interfaces*, 36, 102548
- [16] Alon, H., Vitoshkin, H., Ziv, C., Gunamalai, L., Sinitsa, S., & Kleiman, M. (2022). Self-cleaning biomimetic surfaces—the effect of microstructure and hydrophobicity on conidia repellence. *Materials*, 15(7), 2526.
- [17] Chang, K. C., Chuang, T. L., Ji, W. F., Chang, C. H., Peng, Y. Y., Shih, H., ... & Su, Y. C. (2015). UV-curable nanocasting technique to prepare

- bioinspired superhydrophobic organic-inorganic composite anticorrosion coatings. *Express Polymer Letters*, 9(2).
- [18] Sun, M., Luo, C., Xu, L., Ji, H., Ouyang, Q., Yu, D., & Chen, Y. (2005). Artificial lotus leaf by nanocasting. *Langmuir*, 21(19), 8978-8981.
- [19] Muhammad, F. R., & Paramita, V. (2024). Production of Edible Film from Isolate Soy Protein with Addition of Palmitic/Lauric Acids. *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, 5(2), 57-61.
- [20] Luís, Â., Domingues, F., & Ramos, A. (2019). Production of hydrophobic zein-based films bioinspired by the lotus leaf surface: characterization and bioactive properties. *Microorganisms*, 7(8), 267
- [21] Manoharan, K., & Bhattacharya, S. (2019). Superhydrophobic surfaces review: Functional application, fabrication techniques and limitations. *Journal of Micromanufacturing*, 2(1), 59-78.
- [22] Ghasemlou, M., Le, P. H., Daver, F., Murdoch, B. J., Ivanova, E. P., & Adhikari, B. (2021). Robust and eco-friendly superhydrophobic starch nanohybrid materials with engineered lotus leaf mimetic multiscale hierarchical structures. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(30), 36558-36573.
- [23] Wang, D., Huang, J., & Guo, Z. (2020). Tomato-lotus inspired edible superhydrophobic artificial lotus leaf. *Chemical Engineering Journal*, 400, 125
- [24] Li, H., He, Y., Yang, J., Wang, X., Lan, T., & Peng, L. (2019). Fabrication of food-safe superhydrophobic cellulose paper with improved moisture and air barrier properties. *Carbohydrate polymers*, 211, 22-30
- [25] Zhou, Z., Ma, J., Li, K., Zhang, W., Li, K., Tu, X., ... & Zhang, H. (2021). A plant leaf-mimetic membrane with controllable gas permeation for efficient preservation of perishable products. *ACS nano*, 15(5), 8742-8752
- [26] Lee, M. S., Hussein, H. R., Chang, S. W., Chang, C. Y., Lin, Y. Y., Chien, Y., ... & Chang, C. C. (2023). Nature-inspired surface structures design for antimicrobial applications. *International journal of molecular sciences*, 24(2), 1348
- [27] Gomes, L. C., Saubade, F., Amin, M., Spall, J., Liauw, C. M., Mergulhão, F., & Whitehead, K. A. (2023). A comparison of vegetable leaves and replicated biomimetic surfaces on the binding of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*. *Food and Bioproducts Processing*, 137, 99-112.