الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة التخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان : العلوم والتكنولوجيا

شعبة: هندسة الطرائق

تخصص: هندسة كيميائية

من إعداد الطلبة:

1- ربوح ردينة

2- كيرد شيماء

الموضوع

إنتاج ملاء حيوي من قشور الخضر والفواكه وتقييم خصائصه للتطبيقات البيئية

نـــــوقـــــشـت فـــــي: 14 /2026/06

أمام لـــــجنـــة المـنـاقـشـة:

د. برة جميلة	أستاذ محاضر (ب)	رئيسا	جامعة الوادي
أ. د. همامي هادية	أستاذ تعليم عالي	مناقشا	جامعة الوادي
د. زغود سمية	أستاذ محاضر (ب)	مشرفا	جامعة الوادي

الموسم الجامعي:2026/2025

بسم الله الرحمن الرحيم

ملخص:

ركزت هذه الدراسة على تثمين مخلفات الفاكهة والخضراوات من خلال تحضير الهلاميات الحيوية وتقييم خصائصها الكيميائية، أيضا دراسة إزالة الصبغة من المحاليل المائية. تم اختيار المخلفات الزراعية، مثل قشور الفاكهة والخضراوات، كمواد خام متجددة وصديقة للبيئة لغناها بالبوليمرات الحيوية الطبيعية، تم توصيف الهلاميات الحيوية المحضرة باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) لتحديد المجموعات الوظيفية الرئيسية المشاركة في تكوين الهلام وآليات الامتزاز. أكد تحليل FTIR وجود مجموعات الهيدروكسيل والكربوكسيل والكربونيل، تمت دراسة أداء الامتزاز للهلاميات المصنعة باستخدام صبغة أزرق الميثيلين كملوث نموذجي، أظهرت النتائج انخفاضا تدريجيا في قيم الامتزاز، وزيادة مقابلة في كفاءة الإزالة مع زيادة زمن التلامس. تباينت قدرات الامتزاز بين العينات المختلفة تبعا للتركيب الكيميائي والخصائص البنيوية للكتلة الحيوية الأصلية، أظهرت بعض العينات كفاءة إزالة أعلى نظرا لزيادة مساميتها ووفرة مواقع الامتزاز النشطة فيها. تبين نتائج هذه الدراسة إمكانية تحويل مخلفات الفاكهة والخضراوات بكفاءة إلى هلاميات حيوية قابلة للتحلل الحيوي ومنخفضة التكلفة، ذات إمكانات واعدة في تطبيقات معالجة مياه الصرف الصحي. يسهم هذا النهج في الإدارة المستدامة للنفايات، وحماية البيئة، وتطوير مواد صديقة للبيئة في إطار التنمية المستدامة والبلدان الصديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: المخلفات العضوية، الهلام الهوائي الحيوي، الأشعة تحت الحمراء، إزالة الصبغة.

Abstract:

This study focused on the valorization of fruit and vegetable waste through the preparation of biogels and the evaluation of their chemical properties, as well as the decolorization of aqueous solutions. Agricultural waste, such as fruit and vegetable peels, was chosen as a renewable and environmentally friendly raw material due to its richness in natural biopolymers. The prepared biogels were characterized using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) to identify the main functional groups involved in gel formation and adsorption mechanisms. FTIR analysis confirmed the presence of hydroxyl, carboxyl, and carbonyl groups. The adsorption performance of the synthesized biogels was investigated using methylene blue dye as a typical contaminant. The results showed a gradual decrease in adsorption values and a corresponding increase in removal efficiency with increasing contact time. The adsorption capacities varied among different samples depending on the chemical composition and structural properties of the original biomass. Some samples exhibited higher removal efficiency due to their increased porosity and abundance of active adsorption sites. The results of this study demonstrate the feasibility of efficiently converting fruit and vegetable waste into biodegradable, low-cost biogels with promising potential for wastewater treatment applications. This approach contributes to sustainable waste management, environmental protection, and the development of eco-friendly materials within the framework of sustainable development and environmentally conscious countries.

Keywords: Organic waste, bio-gels, infrared radiation, decolorization.

الإهداء

أحمد الله تعالى على توفيقي وإعانتي طيلة مشواري الدراسي من بدايته إلى نهايته. فالحمد لله حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه و الصلاة والسلام على حبيبنا وسيدنا محمد صلى الله عليه وسلم أما بعد:

أهدي نجاحي إلى **أمي وأبي** عزيزان على قلبي وتاج رأسي، اللذان كان مصدر توفيقي في حياتي ومصدر قوتي وتغلبي على الصعاب.

إلى من كانت معي على طريق النجاح وأنارت ظلمته إلى من زرعت التفاؤل في دربي والتي مدت لنا

يد العون والمساعدة في هذا العمل **أختي** الغالية نهاد.

إلى أغلى ما أملك **إخوتي** معمر ولوجين أطال الله في حياتهم وأنار دربهم.

إلى **إخوتي** الذين لم تلدهم أمي يحي، روان، رهف وهديل أتمنى لهم كل التوفيق والنجاح في حياتهم.

إلى الأرواح الغالية التي فارقتنا يوما وأحزننا رحيلهم خالي, عمتي وابن عمي اللهم أنر قبورهم بنورك ولا تحرمهم جنتك.

إلى كل **عائلتي** الكبيرة وكل من ساندني ولو بكلمة واحدة طيبة.

إلى الفقيد **الدكتور** بن حوة عثمان رحمه الله الذي كان له الفضل في حصولي على هذا التخصص.

إلى من لم تبخل علينا بنصح أو توجيه فكان لكلماتها وقع الدعم والرفع.. **أستاذتنا المشرفة**.. لك كل التقدير والاحترام.

إلى **رفيقتي شيماء....** وشريكة النجاح إلى من لم تكن مجرد زميلة دراسة, بل كانت نعم الأخت التي كانت معي كتفا وروحاً في فصول من التعب إلى من كانت نعم السند في مسيرتنا العلمية, أهديك ثمرة جهدنا المشترك, راجية من المولى أن يكلل خطواتنا القادمة بمزيد من التفوق والتألق .

مرديتة

الاهداء

الحمدُ للهِ حمدًا يليقُ بجلالِ وجهه وعظيمِ سلطانِه، الحمدُ له إذْ أذنَ للحلمِ أن يُزهر بعد طولِ انتظار، وأعانَ القلبَ حين أوهنته المسافات، وباركَ الخطى حتى بلغتْ هذا المقام.

إلى **والدي العزيز** ...

إلى من أحملُ اسمَه بكلِّ فخر، وأمضي في الدنيا مستظلّةً بدعواته، إلى سندي، ومسندي، واتّكائي في الحياة، إلى الرجلِ الذي علّمني أنَّ القوةَ خُلُق، وأنَّ الكرامةَ مبدأ، إليكَ أهدي ثمرةَ هذا الجهد، فما كنتُ لأبلغَ شيئًا لولا الله ثم ثباتُك العظيم في حياتي

إلى **والدتي الغالية** ...

إلى صاحبةِ القلبِ الطيّب، و يامن برُّها من أعظمِ أبوابِ الجنّة. إلى المرأةِ التي كان دعاؤها يسبقُ خُطايا، وصبرُها يرفعني كلّما أوهنتني الأيام، أنتِ النعمةُ التي لا تكفيها الكلمات، والرحمةُ التي أودعها اللهُ في عمري

إلى **أخواتي الغاليات** يا دفءَ الروح، وسكينةَ القلب، ومرافئَ الطمأنينة حين تضيقُ الطرق، كنتُنَّ الزاوية الجميلة لأيّامي، والقوةَ الخفيّة التي تُعينني على مواصلةِ المسير لكُنَّ من المحبّة ما تعجزُ اللغةُ عن حمله

إلى **أبناءِ وبناتِ أخواتي :**

وورود، نضال ، محمد البشير ، براءة ، وتسنيم يا ضحكاتِ العمرِ البريئة، وألوانَ الفرحِ التي تُزهرُ بها عائلتنا. كنتم وستظلون النورَ الذي يسرقني من تعبِ الحياة إلى فسحةٍ مليئة بالفرح. ادعو الله أن يحفظ براءتكم، ويُزهِر خطاكم بالنور والخير

إلى **زميلتي ورفيقةِ** هذا المشوار إلى من شاركتني تفاصيلَ الرحلة؛ تعبَها قبل بهجتها، وقلقَها قبل اكتمالها وكانت الرفقةَ التي هان معها الجهد لكِ من هذا الإنجاز نصيبٌ من الامتنان لا تبلغه الكلمات

إلى **صديقاتِ الطفولة :**

تقى، سارة ومنى إلى الوجوهِ التي سكنت القلبَ منذ البدايات، وبقيتْ رغم تغيّرِ الطرق والأعوام. لكُنَّ في الفؤاد منزلة خاصة يا أفضل من جادتْ بكن الايام حفظكن الله وادام ودّنا في عفو وعافيةٍ

وفي الأخير إلى **أخي يوسف** ، الأخ الذي لم تلده أمي ؛ بل أنجبته لي الأيام فكان لي نعم الأخ والصديق اسأل الله أن يديم إخوتنا وأن تبقى لي سندا دائما

وإلى من لم تسعفني الكلماتُ لذكرهم، ويا من يسكنون القلبَ قربًا ومحبّةً من عائلتي الكريمة كل بإسمه وجميل وسمه، لكم جميعًا من الدُّعاءِ والامتنان ما لا تُحيطُ به العبارات.

أُهديكم جميعًا ثمرةَ أيّامٍ أثقلها السهر، وأرهقها السعي لكنّها كانت مملوءةً بيقينٍ لا يخيب: أنَّ الله لا يُضيعُ أجرَ من أحسنَ عملًا.

واللهُ وليُّ التوفيق، ومنه البدايةُ وإليه الفضل

شيماء

الشكر والعرفان

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم

" ومن صنع إليكم معروفا فكافئوه، فإن لم تجدو ما تكافئونه فادعوا له حتى تروا أنكم قد كافأتموه"

وقال **(لا يَشْكُرُ اللّهَ مَنْ لا يَشْكُرُ النّاسَ)** فشكرنا الله عز وجل الذي أكرمنا بنعمة العلم والعمل.

وانطلاقا من هذا الباب أتقدم بخالص الشكر والتقدير للأستاذة المشرفة **"د. سمية زغود" على** إرشاداتها وتوجيهاتها التي لم تبخل بها علينا يوما، كما أتقدم بجزيل الشكر والعطاء إلى كل يد رافقتنا في هذا العمل سواء من قريب أو من بعيد، خاصة البروفيسورة **هادية همامي** والدكتورة **إلهام بن عمر**، والشكر الموصول كذلك لأوليائنا الذين قدموا لنا كل المساعدات ووفروا لنا الظروف الملائمة لإنجاز هذا العمل.

كما أتقدم بشكري وامتناني لأعضاء لجنة المناقشة على القيام بمناقشة هذا العمل.

وفي الختام أسأل الله عز وجل أن يجعل هذا العمل خالصا لوجهه الكريم، وأن ينفع به، وأن يوفق الجميع لما فيه الخير والصلاح.

قـــــائـمة الجـــداول

رقم الجدول		الصفحة
الـفصل الأول: عـموميات حـول الـنفايات العضوية والهلام الحيوي		
الجدول (1.I)	التحليل الكمي للمركبات الكيميائية النباتية الموجودة في قشور الرمان	14
الجدول (2.I)	العناصر الأساسية المكونة لقشور الليمون	17
الفصـل الثـالث: المواد والطرق		
الجدول(1.III)	المواد الكيميائية المستعملة	61
الجدول (2.III)	الأدوات المستعملة	61
الجدول (3.III)	الأجهزة المستعملة	62
الجدول (4.III)	المجموعات الوظيفية العضوية	65
الفصـل الـرابع: الـنتائج والـمناقشة		
الجدول (1.VI)	محتوى الماء لمختلف العينات	73
الجدول (2.VI)	مردود معالجة المواد الأساسية	75

قـــــائمـة الأشكـــــال

رقم الشكل		الصفحة
الـــفصل الأول: عمومـيات حول النفايات العضوية والـهلام الحيوي		
الشكل (1.I)	النفايات العضوية	5
الشكل (2.I)	مصادر النفايات العضوية	6
الشكل (3.I)	بنية السليلوز	8
الشكل (4.I)	التركيب الكيميائي للهيميسليلوز	9
الشكل (5.I)	بنية البكتين	10
الشكل (6.I)	بنية مركب الفينول	11
الشكل (7.I)	الآثار البيئية لتراكم قشور الخضر والفواكه	12
الشكل (8.I)	رمان	14
الشكل (9.I)	الليمون	16
الشكل (10.I)	البازلاء	19
الشكل (11.I)	الفول الأخضر	22
الشكل (12.I)	تصنيف المواد الحيوية	25
الشكل (13.I)	أهم تطبيقات الهلام الحيوي الهوائي	31
الـــفصل الثـــالث: المواد والطرق		
الشكل (1. III)	المخلفات المستخدمة	63
الشكل (2.III)	تحضير مسحوق قشور الرمان	63
الشكل (3.III)	تحضير مسحوق قشور الليمون	63
الشكل (4.III)	تحضير مسحوق قشور البازلاء الخضراء	64
الشكل (5.III)	تحضير مسحوق قشور الفول الأخضر	64
الشكل (6.III)	مراحل تحضير المادة الأولية	65
الشكل (7.III)	مراحل تحضير الهلام الحيوي	65
الشكل (8.III)	جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (ATR-FTIR)	67
الشكل (9.III)	جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية(UV-vis)	68
الشكل(10.III)	إزالة صبغة أزرق الميثيلين(BM)	70

قـــــائمـة الأشكـــــال

الــفصل الرابع: النتائج والمناقشة		
الشكل(1.VI)	مساحيق المخلفات الحيوية	73
الشكل(2.VI)	المخلفات الحيوية بعد المعالجة القلوية	74
الشكل(3.VI)	أطياف FTIR لمسحوق القشور	77
الشكل(4.VI)	مختلف الهلاميات الحيوية الهوائية المحضرة	77
الشكل(5.VI)	أطياف FTIR للقشور المعالجة	78
الشكل(6.VI)	أطياف FTIR لعينات الهلام الهوائي الحيوي	80
الشكل(7.VI)	إزالة الصبغة لهلام الرمان	80
الشكل(8.VI)	إزالة الصبغة لهلام الليمون	81
الشكل(9.VI)	إزالة الصبغة لهلام البازلاء	81
الشكل(10.VI)	إزالة الصبغة لهلام الفول	81

قائمة الرموز

الرمز	المعنى
$C_6H_{10}O_6$	الصيغة الكيميائية للسليلوز
%	نسبة مئوية
β	الرابطة بيتا
D	الشكل الفراغي للغلوكوز
AGU	وحدة الغلوكوز المائية
n	وحدة الجلوكوز
OH	الهيدروكسيل
O	الأكسجين
KOH	هيدروكسيد البوتاسيوم
$C_5H_8O_4$	الصيغة الكيميائية للهيميسليلوز
CH_3OH	الميثانول
CH_3OOCH_3	أسيتات الميثيل
COOH	حمض كربوكسيلي
C	الكربون
H	الهيدروجين
α	الرابطة ألفا
C_6H_5OH	الصيغة الكيميائية للفينول
Bio-gel	الهلام الحيوي
H_2SO_4	حمض الكبريت
NaOH	هيدروكسيد الصوديوم
pH	درجة الحموضة
λ	الطول الموجي
FTIR	مطيافية الأشعة تحت الحمراء
℃	درجة مئوية
TEM	المجهرية الالكترونية النافذة
XRD	حيود الأشعة السينية
SEM	مجهر الكتروني ماسح
UV-vis	المطيافية فوق البنفسجية والمرئية
$O_{26}H_{124}C_{64}$	الصيغة الكيميائية لتوين 80
$C_{16}H_{18}ClN_3S$	الصيغة الكيميائية لأزرق الميثيلين
g	الغرام
ml	الميليلتر
Log	اللوغاريتم
I_0	شدة الضوء الساقط

قائمة الرموز

شدة الضوء المنقول	I
التركيز	C
طول المسار	l
معامل الامتصاص المولي	ε
بالنفاذيةT	I_0 / I
لوغاريتم النسبة العكسية	I / I_0
الامتصاصية	A
أزرق الميثيلين	MB
سعة الامتزاز عند التوازن	qe
التركيز الابتدائي	C_0
التركيز عند التوازن	Ce
الحجم	V
الكتلة	m
الميليغرام	mg
التركيز عند الزمن t	C_t
اللتر	L
الطول الموجي الأعظمي	λ_{max}
نانومتر	nm
قشور الرمان	R
قشور الليمون	L
قشور البازلاء	G
قشور الفول	F

الفهرس

الإهداء			
الشكر والعرفان			
قائمة الجداول			
قائمة الأشكال			
قائمة الرموز			
الفهرس			
	المقدمة العامة		**2**
الفصل الأول: النفايات العضوية والهلام الحيوي			
.1.I	**النفايات العضوية وقشور الخضر والفواكه**		**5**
	.1.1.I تعريف النفايات العضوية		**5**
	.2.1.I مصادر النفايات العضوية		**5**
.2.I	**قشور الخضر والفواكه**		**6**
	.1.2.I التركيب الكيميائي والقيمة الحيوية		**6**
		.1.1.2.I السليلوز	**6**
		.2.1.2.I الهيميسليلوز	**8**
		.3.1.2.I البكتين	**9**
		.4.1.2.I المركبات الفينولية	**10**
.3.I	**الأثر البيئي لتراكم قشور الخضر والفواكه**		**12**
.4.I	**تثمين النفايات العضوية في إطار التنمية المستدامة**		**13**
.5.I	**قشور الفواكه(الرمان، الليمون) والخضر (البازلاء، الفول)**		**13**
	.1.5.I الرمان		**13**
	.2.5.I الليمون		**16**
	.3.5.I البازلاء الخضراء		**19**
	.4.5.I الفول الأخضر		**22**
.6.I	**المواد الحيوية**		**23**
	.1.6.I تعريف المواد الحيوية		**23**
	.2.6.I تصنيف المواد الحيوية		**24**
		.1.2.6.I المواد الحيوية المعدنية	**24**
		.2.2.6.I المواد الحيوية السيراميكية	**24**
		.3.2.6.I المواد الحيوية القائمة على البوليميرات الاصطناعية	**24**
		.4.2.6.I المواد الحيوية ذات الأصل الطبيعي	**24**
	.3.6.I المواد الحيوية الطبيعية مقابل الاصطناعية		**25**

الفهرس

	.4.6.I	أهمية المواد الحيوية في التطبيقات البيئية	26
.7.I		**الهلام الحيوي(Bio-gel)**	26
	.1.7.I	تعريف الهلام الحيوي وخصائصه	26
	.2.7.I	أنواع الهلام الحيوي	27
	.3.7.I	آليات تشكل الهلام الحيوي	28
	.1.3.7.I	الهيدروجيلات المترابطة فيزيائيا	28
	.2.3.7.I	الهيدروجيلات المترابطة كيميائيا	29
	.4.7.I	مصادر الهلام الحيوي الطبيعية	29
	.1.4.7.I	المصادر النباتية	29
	.2.4.7.I	المصادر الحيوانية	29
	.3.4.7.I	المصادر الميكروبية	29
.8.I		**تطبيقات الهلاميات الحيوية**	30
	.1.8.I	توصيل الأدوية	30
	.2.8.I	إزالة المعادن الثقيلة	30
	.3.8.I	تطبيقات الهيدروجيل في الزراعة	30
.9.I		**دورها في التحلل الحيوي والاستدامة**	31
مراجع الفصل الأول			32
الفصل الثاني: دراسات سابقة			
.1.II		**الدراسة الأولى**	37
.2.II		**الدراسة الثانية**	39
.3.II		**الدراسة الثالثة**	41
.4.II		**الدراسة الرابعة**	43
.5.II		**الدراسة الخامسة**	46
.6.II		**الدراسة السادسة**	48
.7.II		**الدراسة السابعة**	50
.8.II		**الدراسة الثامنة**	51
.9.II		**الدراسة التاسعة**	54
.10.II		**الدراسة العاشرة**	56
مراجع الفصل الثاني			59
الفصل الثالث: المواد والطرق			
.1.III		**المواد و الأدوات والأجهزة المستعملة**	61
	.1.1.III	المواد الكيميائية المستعملة	61
	.2.1.III	الأدوات المستعملة	61
	.3.1.III	الأجهزة المستعملة	62

الفهرس

.2.III	جمع وتحضير العينات	62
.3.III	تحضير المادة الأولية	64
.4.III	تحضير الهلام الحيوي	65
.5.III	تقنيات التوصيف	66
.1.5.III	مطيافية الأشعة تحت الحمراء	66
.2.5.III	مطيافية الأشعة فوق البنفسجية (Uv-vis)	67
.1.2.5.III	التحليل الضوئي لإمتصاص صبغة أزرق الميثيلين(BM)	68
.3.2.5.III	تجربة إزالة صبغة أزرق الميثيلين(BM)	69
مراجع الفصل الثالث		71
الفصل الرابع: الجزء العملي/ النتائج والمناقشة		
.1.IV	محتوى الماء	73
.2.IV	معالجة المواد الأساسية	74
.3.IV	مطيافية الأشعة تحت الحمراء لقشور الفواكه والخضروات	76
.1.3.IV	قبل المعالجة	76
.2.3.IV	بعد المعالجة	77
.3.3.IV	أطياف الهلام الهوائي الحيوي	79
.4.IV	إزالة صبغة أزرق الميثيلين	80
مراجع الفصل الرابع		84
الخاتمة العامة		87

المقدمة

العامة

المقدمة العامة

أدى النمو السكاني المتسارع، والتوسع الحضري، ونشاط تصنيع الأغذية إلى توليد كميات هائلة من النفايات العضوية على مستوى العالم، لا سيما من الفواكه والخضراوات، تشمل هذه النفايات بشكل رئيسي القشور والبذور وبقايا الفاكهة وغيرها من المخلفات الزراعية التي غالبا ما تهمل دون إدارة سليمة، مما يسبب مشاكل بيئية واقتصادية خطيرة. تتميز نفايات الفواكه والخضراوات بقابليتها العالية للتحلل الحيوي وغناها بالرطوبة والمواد العضوية، مما يسرع عملية التحلل الميكروبي وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري عند التخلص منها في مكبات النفايات. لذلك، أصبح استغلال هذه المخلفات العضوية استراتيجية مهمة في إطار الهندسة البيئية والاقتصاد الدائري للحد من التلوث وتحويل النفايات إلى مواد مستدامة قيمة[1].

أظهرت دراسات حديثة أن قشور الفاكهة والخضراوات تحتوي على كميات كبيرة من البوليمرات الحيوية القيمة، مثل السليلوز والهيميسليلوز واللجنين والبكتين والنشا، بالإضافة إلى مركبات حيوية نشطة متنوعة، بما في ذلك الفينولات والفلافونويدات. توفر هذه المكونات الطبيعية خصائص فيزيائية وكيميائية ممتازة تجعل المخلفات الزراعية مواد أولية واعدة لتصنيع مواد حيوية قابلة للتحلل الحيوي وصديقة للبيئة. ونتيجة لذلك، وجه اهتمام كبير نحو تحويل هذه المخلفات إلى منتجات عالية القيمة، مثل الوقود الحيوي والأسمدة الحيوية والبلاستيك الحيوي والمواد الماصة والهلاميات الهوائية والهيدروجيلية[2].

من بين هذه المواد الحيوية المبتكرة، برزت الهيدروجيلات الحيوية كمواد جذابة للغاية نظرا لبنيتها الشبكية البوليمرية ثلاثية الأبعاد والفريدة القادرة على امتصاص كميات كبيرة من الماء والاحتفاظ بها دون أن تذوب. تصنع الهيدروجيلات الحيوية عموما من بوليمرات طبيعية، وتتميز بمسامية عالية، ومرونة، وتوافق حيوي، وقابلية للتحلل الحيوي، وخصائص فيزيائية وكيميائية قابلة للتعديل، هذه الخصائص تجعلها مناسبة لمجموعة واسعة من التطبيقات البيئية والزراعية والطبية الحيوية والصناعية. في السنوات الأخيرة، ركز الباحثون بشكل متزايد على تطوير الهيدروجيلات المشتقة من موارد الكتلة الحيوية المتجددة والمخلفات الزراعية بهدف تقليل الاعتماد على البوليمرات الاصطناعية والحد من الآثار البيئية[3].

يعد استخدام قشور الفاكهة والخضراوات في إنتاج الهلام الحيوي واعدا للغاية، نظرا لغناها بالسكريات المتعددة والمجموعات الوظيفية كالهيدروكسيل والكربوكسيل، التي تسهم بشكل كبير في قدرة امتصاص الماء وكفاءة الامتزاز. علاوة على ذلك، حظي استخلاص البكتين والسليلوز من مخلفات الطعام باهتمام علمي متزايد لقدرتهما على تحسين الخصائص البنيوية والميكانيكية للهيدروجيل الحيوي [4].

أظهرت الهيدروجيلات الحيوية المنتجة من النفايات العضوية إمكانات كبيرة في التطبيقات البيئية، لا سيما في معالجة مياه الصرف الصحي وإزالة الملوثات. وبفضل بنيتها المسامية ومساحة سطحها العالية، تستطيع هذه المواد امتصاص الأصباغ والمعادن الثقيلة والزيوت والملوثات العضوية المختلفة من المحاليل المائية بكفاءة عالية، تعتمد كفاءة امتصاصها بشكل أساسي على وجود مجموعات وظيفية نشطة وبنية مسامية مترابطة تسهل انتقال الكتلة وتفاعل الملوثات. إضافة إلى ذلك، يمكن تجديد مواد الهيدروجيل وإعادة استخدامها، مما يجعلها بدائل اقتصادية ومستدامة بيئيا للمواد الماصة التقليدية[3].

يلعب التوصيف المورفولوجي دورا حاسما في تقييم أداء الهيدروجيلات الحيوية ومدى قابليتها للتطبيق، تستخدم تقنيات مثل: المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، ومطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR)، وحيود الأشعة السينية (XRD)، والتحليل الحراري، بشكل شائع لدراسة البنية الداخلية، والمسامية، ومورفولوجيا السطح، والمجموعات الوظيفية، والاستقرار الحراري لمواد الهيدروجيل، تؤثر مورفولوجيا الهيدروجيلات بشكل مباشر على خصائص انتفاخها، وقدرتها على الامتصاص، وقوتها الميكانيكية، وأدائها البيئي. لذا، يعد فهم العلاقة بين الخصائص البنيوية والسلوك الوظيفي أمرا ضروريا لتحسين عملية تصنيع الهيدروجيل وتطوير تطبيقاتها العملية[5].

في هذا السياق، يركز هذا العمل على إنتاج الهلام الحيوي الهوائي من قشور الفاكهة والخضراوات، وتوصيفها، حيث تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في استغلال النفايات العضوية من خلال تطوير مواد حيوية مستدامة ذات استخدام محتمل في المعالجة البيئية، ولا سيما في معالجة المياه، يدعم هذا البحث ممارسات الإدارة المستدامة للنفايات، ويعزز تطوير تقنيات صديقة للبيئة تتماشى مع مبادئ التنمية المستدامة والاقتصاد الحيوي الدائري.

حيث تشتمل الدراسة على أربعة فصول:

الفصل الأول: تناولنا فيه عموميات حول النفايات العضوية والهلام الحيوي.

الفصل الثاني: استعرضنا فيه دراسات سابقة.

الفصل الثالث: تطرقنا فيه الى أهم المواد والطرق المتبعة في هذا العمل.

الفصل الرابع: استعرضنا فيه النتائج والمناقشة.

ختاما الخلاصة العامة حول هذه الدراسة والتي تعرض مدى تحقيق الأهداف المرجوة من الدراسة وذلك من خلال النتائج المتحصل عليها.

مراجع المقدمة:

[1] B. Bisht, P. Gururani, J. Aman, M. S. Vlaskin, K. Anna, S. Joshi, *et al.*, "A review on holistic approaches for fruits and vegetables biowastes valorization," *Materials Today: Proceedings,* vol. 73, pp. 54-63, 2023.

[2] M. Mohd Basri, N. Abdul Karim Shah, and A. Sulaiman, "Progress in the valorization of fruit and vegetable wastes: Active packaging, biocomposites, by-products, and innovative technologies used for bioactive compound extraction. Polymers 13 (20): 3503," ed, 2021.

[3] A. J. Antonisamy, S. Marimuthu, S. Malayandi, K. Rajendran, Y.-C. Lin, G. Andaluri, *et al.*, "Sustainable approaches on industrial food wastes to value-added products–A review on extraction methods, characterizations, and its biomedical applications," *Environmental Research,* vol. 217, p. 114758, 2023.

[4] I. Frosi, A. Balduzzi, G. Moretto, R. Colombo, and A. Papetti, "Towards valorization of food-waste-derived pectin: recent advances on their characterization and application," *Molecules,* vol. 28, p. 6390, 2023.

[5] Z. Liu, "A review on the emerging conversion technology of cellulose, starch, lignin, protein and other organics from vegetable-fruit-based waste," *International Journal of Biological Macromolecules,* vol. 242, p. 124804, 2023.

الجزء

النظري

الفصل الأول:

النقابات العضوية

والاتحادات النوعية

يعد التلوث البيئي الناتج عن تراكم النفايات العضوية أحد مشكلات العصر التي تهدد توازن النظام البيئي، ولهذا لجأ الباحثون لإيجاد حلول مستدامة من خلال تثمين هذه النفايات لإنتاج مواد مبتكرة، مستدامة وصديقة للبيئة والمتمثلة في الهلاميات الحيوية، وبالتالي سنتطرق في هذا الفصل الى التعرف على أنواع النفايات العضوية ومصادرها، ودراسة الهلاميات الحيوية وتحديد خصائصها.

I.1. النفايات العضوية وقشور الخضر والفواكه:

I .1.1. تعريف النفايات العضوية:

النفايات العضوية (**الشكل (I.1)**) هي مواد ناتجة عن جميع الكائنات الحية النباتية والحيوانية، حيث تتميز هذه المواد بقدرتها على التحلل البيولوجي السريع وقابلة للتسميد والتخمر، حيث يتم تحللها بواسطة الكائنات الدقيقة أو التفاعلات الكيميائية، وتستغل النفايات العضوية بعد تحللها كسماد عضوي أو تستعمل علف للحيوانات أو كمورد لإنتاج الطاقة. وكما تعد مصدرا كبيرا ومهما لانبعاثات الميثان.[1]

الشكل (I.1): النفايات العضوية.

I.1.2. مصادر النفايات العضوية:

يوضح **الشكل (I.2)** مصادر النفايات العضوية، حيث تشمل:

- **المخلفات المنزلية:** تشكل الجزء الأكبر من النفايات العضوية وتتمثل في مخلفات المطبخ، قشور الخضر والفواكه، اللحوم المتعفنة والخبز.

- **المخلفات الزراعية:** تتمثل في نفايات الحدائق، مخلفات المحاصيل الزراعية، الأوراق المتساقطة، الأغصان وبقايا عملية التقليم للنباتات.
- **المخلفات الحيوانية:** تتمثل في روث الماشية والدواجن.
- **المخلفات الصناعية والتجارية:** وتشمل مخلفات الصناعات الغذائية كمواد التغليف، الكرتون والمناديل الورقية، وكذلك مخلفات صناعة الأخشاب كنشارة الخشب، وأيضا تشمل نفايات الأسواق العامة كالخضروات والفواكه التالفة.
- **مياه الصرف الصحي:** تتمثل في الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي.[2]

الشكل (2.I): مصادر النفايات العضوية.

2.I. قشور الخضر والفواكه:

تعد قشور الخضر والفواكه مصدرا غنيا بالبوليمرات الطبيعية مثل: السليلوز والبكتين ... الخ، إضافة إلى مركبات نشطة حيويا كالفينولات والفيتامينات، تمنح هذه التركيبة لهذه المخلفات خصائص مهمة مثل: القابلية للتحلل الحيوي والقدرة على الامتصاص والنشاط المضاد للأكسدة، لذا يمثل تثمينها توجها مستداما لتحويل النفايات العضوية إلى مواد ذات قيمة مضافة، خاصة في التطبيقات البيئية كمعالجة المياه، حيث يساهم ذلك في تقليل التلوث وتعزيز مبادئ الاقتصاد الدائري.

1.2.I. التركيب الكيميائي والقيمة الحيوية

1.1.2.I. السليلوز:

تاريخ اكتشاف السليلوز:

اكتشف السليلوز عام 1838 م كمركب بيولوجي لأول مرة من طرف الكيميائي الفرنسي أنسليم باين (Anselme Payen)، حيث قام بعزله من الأنسجة النباتية وحدد صيغته الكيميائية العامة $(C_6H_{10}O_5)_n$، وقد طور هذا الاكتشاف من خلال استعمال السليلوز في الصناعات البوليمرية[3]. وفي أواخر ستينيات القرن التاسع عشر (حوالي 1869) قام جون ويسلي هايات بإنتاج أول بلاستيك لدن بالحرارة عرف باسم السيلولويد (Celluloid)، حيث أدى ناجحا تجارياً هائلا وذلك عن طريق معالجة نترات السليلوز (المشتقة من القطن) بالكافور[4]، وفي أواخر القرن التاسع عشر تم إنتاج الرايون (الحرير الصناعي) من السليلوز كبديل غير مكلف للحرير وذلك من خلال معالجة السليلوز (المشتقة من لب الخشب أو القطن) بمواد كيميائية مثل الصودا الكاوية وثاني كبريتيد الكربون[5].

وفي عام 1886 اكتشف السليلوز البكتيري بواسطة "براون" كغشاء جيلاتيني على سطح مرق تخمير الخل حيث قام بإنتاجه خارج الخلية بواسطة سلالات بكتيرية محددة مثل Komagataeibacter xylinus مما يجعله مختلفًا عن السليلوز النباتي[6]، وبحلول عام 1912 تم اختراع السلوفان من السليلوز المعاد تجديده من قبل الكيميائي السويسري جاك براندنبرجر[7]، وفي عام 1920 تم تحديد البنية البوليمرية للسليلوز بواسطة "هيرمان ستودينجر"[8]، وفي عام 1955 اكتشف السليلوز البلوري الدقيق[9]، لقد تم تصنيع السليلوز كيميائياً لأول مرة دون إنزيمات في عام 1992.

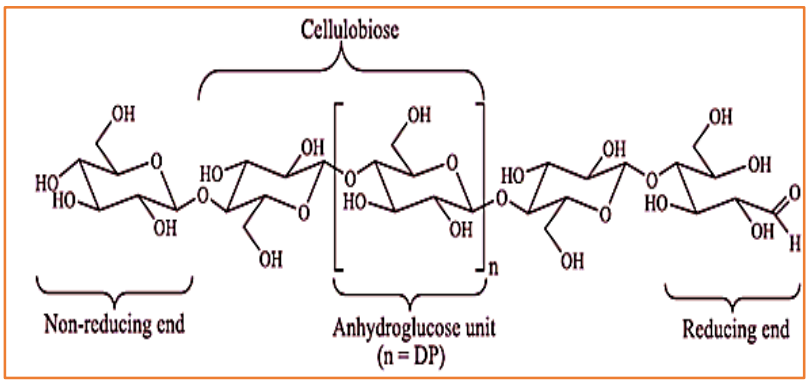
تعريف السليلوز:

السليلوز هو بوليمر طبيعي يتكون من آلاف جزيئات الجلوكوز ويعد السليلوز من أكثر المواد العضوية وفرة على سطح الأرض، حيث يمثل أكثر من 50% من الكتلة الحيوية، أو ما يقارب 90 مليار طن تنتجها النباتات الأرضية سنويا، وهو أحد المكونات الرئيسية لجدار الخلية النباتية، كما يوجد أيضا في الطحالب، والبكتيريا، والفطريات، كما يتميز السليلوز بطبيعة محبة للماء، وهو قابل للتحلل الحيوي، وغير قابل للذوبان في الماء ومعظم المذيبات العضوية.[10]

بنية السليلوز:

الصيغة الجزيئية للسليلوز هي $(C_6H_{10}O_5)$ حيث يتكون من عديد سكاريد متجانس خطي يتكون من وحدات متكررة من D–أنهيدروغلوكوبيرانوز (AGU) مرتبطة معا بروابط جليكوسيدية β (1→4)، حيث

تدعى الوحدة المتكررة منه بالسيلوبيوز (من مونومرين من الجلوكوز) (الشكل (3.I))، حيث تختلف طول سلاسل حسب عدد وحدات الجلوكوز (n) أو درجة البلمرة (DP) باختلاف نوع النبات وأصل جدار الخلية (يتراوح عادة بين 150 و 26500)، يتمتع السليلوز ببنية صلبة بفضل الروابط الهيدروجينية التي تربط بين جزيئاته (بحيث تكون بين مجموعات الكحول أو بين مجموعة كحول وذرة أكسجين في حلقة البيرانوز).[11]



الشكل (3.I): بنية السليلوز.

2.1.2.I. الهيميسليلوز:

تاريخ اكتشاف الهيميسليلوز:

في عام 1838 تم اكتشاف الهيميسليلوز (Hémicellulose) كجزء من أبحاث أنسيلم باين على المواد النباتية، حينها أدرك الكيميائيون أن المكونات الهيكلية للنباتات ليست مادة واحدة، حيث اكتشف الهيميسليلوز كعديد سكاريد مصفوف له بنية غير متبلورة يكون مع السليلوز على جدران الخلايا النباتية، في عام 1951 تم استخلاص أول مستخلص من الهيميسليلوز من قبل آدمز وكاستاني، من خلال المعالجة القلوية للهيميسليلوز من قش القمح باستخدام هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) متبوعا بالترسيب الكحولي.[12]

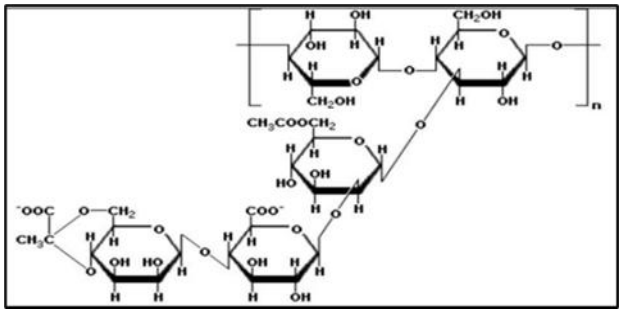
تعريف الهيميسليلوز:

الهيميسليلوز هو عديدات سكاريد مختلفة غير متجانسة (Heteropolymer)، وهو ثاني مكون أساسي لجدران الخلايا النباتية بعد السليلوز، حيث يساهم في صلابة جدارها الخلوي، فهو يشكل ما بين 15 و35% من الكتلة الحيوية النباتية ويقدر الإنتاج السنوي للهيميسليلوز بحوالي 60 مليار طن، كما

يتميز الهيميسليلوز بأنه ذو بنية لا تذوب في الماء، ولكنه يتحلل بسهولة في القواعد والأحماض (هيدروكسيد الصوديوم أو هيدروكسيد البوتاسيوم).[12]

بنية الهيميسليلوز:

الهيميسليلوز هو عبارة عن بوليمرات تتكون من سكريات سداسية (المانوز والجلوكوز والجلاكتوز) وسكريات خماسية (الزيلوز والأرابينوز)، صيغته$(C_5H_8O_4)_n$، حيث يتميز بفروع قصيرة (50-200) وغير متبلورة، وله بنية عصوية الشكل بفضل تداخل الفروع والسلاسل الجانبية داخل السلسلة الرئيسية بواسطة الروابط الهيدروجينية، يرتبط الهيميسيلولوز بالسليلوز عبر روابط هيدروجينية متعددة أما باللجنين عبر روابط تساهمية (أهمها روابط إيثر ألفا-بنزيل) وروابط إسترية مع وحدات الأسيتيل، حيث تختلف التركيبة الكيميائية للهيميسيلولوز حسب أصل النبات ونوع الخلية وموقعها في جدار الخلية، وكذلك عمر الأنسجة.[13]



الشكل (4.I): التركيب الكيميائي للهيميسليلوز.

3.1.2.I. البكتين:

تاريخ البكتين:

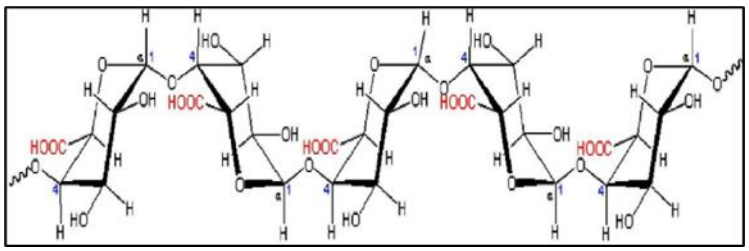
تم عزل البكتين علميا لأول مرة عام 1825 على يد هنري براكونو ووصفه وموضحا دوره في تماسك المربى، ولقد طور إنتاجه تجاريا في أوائل القرن العشرين (1908 في ألمانيا) معتمدا على ثفل التفاح وقشور الحمضيات، وأصبح اليوم يستخدم كعامل تبلور ومثبت في الأغذية، وفي عام 1917حصل بول ويلش على براءة اختراع لإنتاج مربى العنب باستخدام البكتين ("غرابيلاد")، وبناءا على التطور الحديث انتقل البكتين من استخلاصه كسائل إلى مسحوق مجفف، حيث أصبح مكونا حيويا في العديد من منتجات كالزبادي، المربيات، ومشروبات الفاكهة كعامل تثبيت طبيعي.[14]

تعريف البكتين:

البكتين هو عديد سكاريد (الكربوهيدرات المعقدة) يتواجد طبيعيا في جميع النباتات حيث يضمن التماسك والصلابة، ويتركز في جدار الخلية خاصة خلايا الفواكه (التفاح والحمضيات) والخضروات، ويعد من الألياف الغذائية القابلة للذوبان (**الشكل (5.I)**)، ويتميز بكونه مادة مثخنة ومكثفة وعامل تجلس (الجل)، حيث صنف تجاريا كمضافات غذائية (مسجلة تحت الرقم E440) في صناعة الأغذية (مثل: المربيات والجيلي) كبديل نباتي للجيلاتين، وكذلك تم استخدامه في مجال صناعة الأدوية كمثبت للمنتجات وعلاج اضطرابات الهضم، كما يتميز بخصائصه الحيوية وتأثيراته المضادة للالتهابات، مما قد يُساعد في التعافي من العدوى، وله دور في خفض الكوليسترول.[15]

بنية البكتين:

يتكون البكتين بشكل أساسي من وحدات حمض D-جالاكتيورونيك تكون مرتبطة معا بروابط جليكوسيدية α–(1–4)، يحتوي التركيب الكيميائي له بشكل رئيسي على سكريات متعادلة مثل الأرابينوز والزيلوز، ومجموعة حمض الجالاكتيورونيك، ويحتوي على كمية ضئيلة من الرامنوز في هيكله، يكون البكتين على شكلين حسب عمر الأنسجة، حيث يكون بروتوبكتين (غير قابل للذوبان لارتباطه بمكونات أخرى) أو حمض البكتين (قابل للذوبان في الماء البارد).[16]



الشكل (5.I): بنية البكتين.

4.1.2.I. المركبات الفينولية:

تاريخ اكتشاف المركبات الفينولية:

في عام 1834 تم اكتشاف الفينول من قبل الكيميائي الألماني فريدليب فرديناند رونجه لأول مرة حيث قام باستخلاصه من قطران الفحم، وفي القرن التاسع عشر تم عزل واكتشاف العديد من المركبات الفينولية الطبيعية (مثل الإيزوفلافون) من الجذور النباتية، وفي عام 1842 تم تحديد بنيتها الكيميائية[17]، كما

استخدم الفينول كمطهر للجروح والعمليات الجراحية من طرف جوزيف ليستر (عام 1860- 1867)، وفي عام 1907 تم تطوير أحد المركبات الفينولية تدعى الراتنجات.[18]

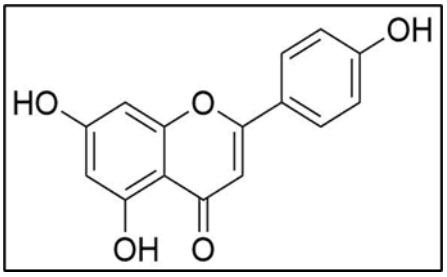
تعريف المركبات الفينولية:

وهي مركبات عضوية ناتجة من عملية استقلاب ثانوية وأكثرها انتشارا في المملكة النباتية، فهي مهمة جدا لتغذية الانسان والحيوان، حيث تتواجد هذه المركبات في جميع أجزاء النباتات، تستخدم الفينولات في مختلف المنتجات المنزلية كمطهر في المنظفات المنزلية، وغسول الفم نظرا لاحتوائه على خصائص علاجية ووقائية معروفة ضد العديد من الأمراض (السرطانات، ومرض الزهايمر، واضطرابات القلب والأوعية الدموية)، وتستخدم في الأطعمة بفضل خصائصها المضادة للأكسدة، واستعملت الفينولات أيضا كمركب وسيط في البناء الصناعي.[19]

بنية المركبات الفينولية:

إن أبسط صيغة كيميائية للفينول هي (C_6H_5OH)، حيث تتكون المركبات الفينولية من حلقة بنزين مرتبطة بمجموعة هيدروكسيل(-OH) واحدة أو أكثر أو تكون مرتبطة بمجموعات وظيفية أخرى (إيثر، إستر، هيتروسيد)، أو قد تكون مرتبطة أيضا بمركبات كيميائية أخرى مثل الأحماض الكربوكسيلية أو الأمينات أو الدهون، أو بفينولات أخرى.[20]

إن المركبات الفينولية **الشكل (6.I)** هي: مشتقات غالبا ما تكون خالية من النيتروجين، تتميز بوجود حلقة عطرية مرتبطة بمجموعة هيدروكسيل، تشتق حيويا من مسارين أيضيين رئيسيين هما: مسار الشيكيمات ومسار الأسيتات، مما أدى إلى التنوع البنيوي للمركبات الفينولية مثل الفلافونويدات flavonoids، الستيلبين stilbenes، والزانثون xanthones وغيرها. حيث يوجد أكثر من 8000 بنية فينولية معروفة.[21]



الشكل (6.I): بنية المركب الفينول.

3.I. الأثر البيئي لتراكم قشور الخضر والفواكه:

إن قشور الخضر والفواكه المتراكمة تتسبب في العديد من المشاكل البيئية والصحية والاقتصادية، حيث يلخص **الشكل (7.I)** أهم الآثار البيئية للمخلفات:

- **انبعاثات الغازات الدفيئة:** يؤدي التحلل اللاهوائي لقشور الفواكه بشكل كبير إلى إطلاق غاز الميثان CH_4 وثاني أكسيد الكربون CO_2، وهما غازان قويان يساهمان في ظاهرة الاحتباس الحراري.[22]
- **اختلال التوازن في النظام البيئي:** تؤدي صناعات تجهيز الأغذية إلى إهدار العديد من مخلفات الفاكهة وخاصة القشور وبقايا الفاكهة الأخرى بكميات هائلة مما تسبب في تلوث التربة والماء.[23]
- **هدر الموارد:** يشكل تراكم قشور الخضر والفواكه ما بين 15– 60% من النفايات، ويتم التخلص من هذه المخلفات (الثفل، والقشور، والقشرة، والبذور) سنويا بالأطنان دون استفادة منها وبالتالي تؤدي إلى اهدار موارد غذائية واقتصادية هائلة.[24]
- **تغير سلوك الحيوانات:** إن تراكم بقايا الفواكه والخضر تجذب الحيوانات البرية، مما يؤدي إلى اختلال في السلسلة الغذائية، فتصبح هذه الحيوانات تعتمد على الغذاء البشري، مما يؤدي إلى زيادة المنافسة بين الإنسان والحياة البرية.[25]
- **انتشار الأمراض:** تؤدي الفواكه والخضر المتعفنة إلى تكاثر البكتيريا، الطفيليات، ومسببات الأمراض الفطرية التي تنتشر بين الحيوانات، وتلوث المياه مما يؤدي الى انتشار العديد من الأمراض.[26]

الشكل (7.I): الآثار البيئية لتراكم قشور الخضر والفواكه.

I.4. تثمين النفايات العضوية في إطار التنمية المستدامة:

تتمتع مخلفات قشور الفواكه والخضر بإمكانات كبيرة، حيث تعتبر هذه الأخيرة غنية بالعديد من المركبات الثانوية النشطة بيولوجيا أبرزها: الفينولات والفلافونويدات والتانينات والصابونينات التي لها خصائص وظيفية (مضادة للأكسدة ومضادة للبكتيريا)، كذلك لها قيمة غذائية عالية جدا بفضل احتواءها على البكتين والسكريات القابلة للهضم.[27]

ونظرا لهذه الخصائص يمكن استغلال هذه النفايات للمساهمة في التنمية المستدامة من خلال تحويلها إلى سماد طبيعي عضوي غني بالمواد المغذية للتربة، واستخدامها في انتاج علف الحيوانات وبالتالي تقليل من حجم النفايات والحصول على بديل مستدام للأعلاف التقليدية، كما يمكن استخلاص المركبات النشطة بيولوجيا من قشور الفواكه والخضر واستغلالها كمواد مضافة في المنتجات الصناعية المختلفة، أيضا يمكن استخدام هذه المستخلصات في تطوير المنتجات الغذائية العلاجية وكمضافات غذائية صحية.[28]

I .5. قشور الفواكه (الرمان، الليمون) والخضر (البازلاء، الفول):

يعد تثمين مخلفات قشور الفواكه والخضر توجها متناميا في مجال الهندسة البيئية والاقتصاد الدائري، حيث يتم تحويلها إلى موارد ذات قيمة بدل التخلص منها بطرق تقليدية، تتميز هذه القشور بتركيبة كيميائية غنية ومتنوعة، إذ تحتوي أساسا على البوليسكريدات مثل: السليلوز والهيميسليلوز، إضافة إلى اللجنين، إلى جانب مركبات حيوية فعالة كالمركبات الفينولية، الفلافونويدات، والفيتامينات، وهي مواد معروفة بخصائصها المضادة للأكسدة والأنشطة البيولوجية المختلفة.

وتبرز أهمية هذه التركيبة ليس فقط في التطبيقات الصناعية، بل أيضًا في الفوائد العلاجية المحتملة، حيث تساهم هذه المركبات في مكافحة الإجهاد التأكسدي، والحد من الالتهابات، ودعم الجهاز المناعي، كما أظهرت العديد من الدراسات دورها في الوقاية من بعض الأمراض المزمنة، وبفضل هذه الخصائص، يمكن استغلال قشور الفواكه والخضر في إنتاج مواد حيوية مثل: الهلامات والمواد المسامية، إضافة إلى استخدامها في المجالات الغذائية والدوائية، كما يساهم تثمين هذه المخلفات في تقليل الأثر البيئي وتعزيز الاستدامة من خلال الاستغلال الأمثل للموارد الطبيعية.

I.1.5. الرمان:

تعريف:

فاكهة الرمان (الشكل (8.I)) معروفة علميا باسم *Punica granatum*. هي شجرة صغيرة تنتمي الى الخسفاريات او ما يسمى بالرمانيات الزهرية (*Lythraceae*)، يمتاز بأزهار حمراء ولمعة أوراقه التي

تنمو الى قشرة سميكة من ثمار دائرية، له عدة أنواع مختلفة من حيث الحجم واللون والطعم مثل: الرمان (الحلو والحامض).[29]

الشكل (8.I): رمان.

- **التصنيف العلمي:**
  - **المملكة:** النباتات، البذريات، الرمانية Punicacea
  - **الفصيلة:** الخثرية Lythraceae
  - **الجنس:** الرمان Punica
  - **الاسم العلمي:** *Punica granatum.* [30]
- **الكيمياء النباتية لقشور الرمان:**

تعد قشور الرمان، التي تعتبر في كثير من الأحيان من المخلفات الزراعية، مصدرا غنيا بمضادات الأكسدة ومجموعة متنوعة من المركبات الكيميائية النباتية، ومن أبرز هذه المركبات: التانينات، وحمض الإيلاجيك، والبونيكالين، والبونيكالاجين، وحمض الغاليك، كما هو موضح في **الجدول (1.I)**.

الجدول (1.I): التحليل الكمي للمركبات الكيميائية النباتية الموجودة في قشور الرمان.[31]

المركب	التركيز (ملغ/100غ)
إجمالي محتوى الفينولات (GAE)	6138.20–4892.00
إجمالي محتوى الفلافونويد (QE)	862.50–529.50
حمض الإيلاجيك	52.03–44.19

كاتشين	892.00–850.00
حمض الغاليك	128.10–125.80
حمض الكوماريك	17.64–14.00
الكيرسيتين	5
حمض الفيروليك	6.11–5.00

الفوائد العلاجية لقشور الرمان:

وفقا لدراسات مختلفة، يحتوي قشر الرمان على تركيز أعلى من المكونات النشطة بيولوجيًا مقارنة بأجزاء الثمرة الأخرى الصالحة للأكل، حيث يرتبط وجود العديد من المركبات الكيميائية النباتية، بما في ذلك الكاتيكينات والفلافونويدات والتانينات وحمض الغاليك وحمض الإيلاجيك والأنثوسيانين، بالفوائد الطبية لقشر الرمان، حيث تتمثل هذه الفوائد فيما يلي:

- خصائص وقائية للقلب: أبرزت الدراسات كيف يمكن لحمض الإيلاجيك، والبونيكالاجين، والمكونات النشطة بيولوجيا الأخرى الموجودة في قشر الرمان أن يكون لها تأثيرات إيجابية على صحة القلب والأوعية الدموية، ومن بين الخصائص الدوائية لهذه المواد: مضادات الأكسدة، ومضادات الالتهاب، وخفض الدهون، وحماية القلب، ومنه يمكن الاستنتاج أن قشر الرمان ومركباته النشطة بيولوجيا يمتلكان إمكانات كبدائل طبيعية للحد من عوامل خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية.[31]
- الخصائص المضادة للسرطان: ثبت أن وجود حمض الإيلاجيك والبونيكالاجين، اللذين يمكن أن يتسببا في خضوع الخلايا السرطانية للموت الخلوي المبرمج، بالإضافة إلى مواد الإيلاجيتانين الأخرى الموجودة في قشر الرمان، لها خصائص مضادة للسرطان.[31]
- الخصائص المضادة للميكروبات: تشير الدراسات إلى أن مستخلص قشر الرمان يحتوي على مواد فعالة بيولوجيا، مثل: الفلافونويدات والمركبات الفينولية، التي تتمتع بتأثيرات قوية مضادة للميكروبات ضد البكتيريا والفطريات والطفيليات، حيث تملك هذه المواد القدرة على العمل كعوامل طبيعية مضادة للبكتيريا عن طريق تمزيق أغشية الخلايا ومنع عمل الإنزيمات الحيوية.[31]
- إمكانات التئام الجروح: قد يسرع الاستخدام الموضعي لقشر الرمان على الجروح عملية الشفاء، ويعود ذلك إلى أن استخدام قشر الرمان يقوي الأنسجة الحبيبية، مما يساعد على التئام الجروح. لذا،

تظهر المركبات النشطة بيولوجيا الموجودة في قشر الرمان إمكانات واعدة في التئام الجروح من خلال تعزيز انقباض الجرح، وإنتاج الكولاجين، وتحفيز إفراز عوامل النمو.[31]

– الخصائص المضادة للالتهابات: تفيد النتائج على أن مستخلص نبات قشور الرمان، الغني بالبوليفينولات، بما في ذلك البونيكالاجين وحمض الإيلاجيك، يتمتع بخصائص قوية مضادة للالتهابات، حيث يقلل من السيتوكينات المحفزة للالتهابات.[31]

I.2.5. الليمون:

تعريف:

الليمون أو ما يعرف ب (*Limon citrus*) (الصورة (9.I)): هو ثمرة من فصيلة السذابية، تنمو كأشجار دائمة الخضرة، غنية بالفيتامين C، والألياف، يتميز بحموضة المذاق.[32]

الشكل (9.I): الليمون.

التصنيف العلمي:

– **المملكة:** النباتات، ثنائيات الفلقة الحقيقية، كاسيات البذور والورديات.

– **الرتبة:** الصابونيات.

– **الجنس:** الحمضيات.

– **الاسم العلمي:** *Limon citrus* [32]

الكيمياء النباتية لقشور الليمون:

الكربوهيدرات: قد تكون الكربوهيدرات أكثر المغذيات وفرة في قشور الليمون، والتي تتكون أساسا من البكتين والألياف، حيث أشارت دراسة حديثة، إلى أن قشور الليمون تحتوي بشكل أساسي على أهم المركبات الموضحة في **الجدول (2.I)**.

الجدول (2.I): العناصر الأساسية المكونة لقشور الليمون.[33]

المركب	الفوكوز	الرامنوز	الأرابينوز	الجلاكتوز	الجلوكوز	الزيلوز	المانوز
النسبة (ملي مول/غ)	0.019	0.07	0.524	0.292	0.452	0.102	0.025

البروتينات والأحماض الأمينية: قشر الليمون منخفض البروتين، فحصت دراسة حديثة تركيبة الأحماض الأمينية في قشور الليمون، والتي تتكون بشكل أساسي من: السيرين، والألانين، وحمض الأسبارتيك، والجليسين، والبرولين، والأورنيثين، والفالين، والهيستيدين، والثريونين، والليسين، وحمض الجلوتاميك، والليوسين، والتيروسين، والفينيل ألانين، والإيزوليوسين، والأرجينين، والتريبتوفان، والميثيونين.[33]

الدهون والأحماض الدهنية: كشف التحليل باستخدام تقنية كروماتوغرافيا الغاز مع كاشف تأين اللهب (GC-FID) أن قشور الليمون تحتوي على مجموعة واسعة من الأحماض الدهنية، بما في ذلك حمض الميريستيك، وحمض البالميتيك، وحمض الستياريك، وحمض الأوليك، وحمض الإيلايديك، وحمض اللينوليديك، وحمض اللينوليك، وحمض الأراكيديك، وحمض اللينولينيك، وحمض البيهينيك، وحمض الإيروسيك، وحمض الأراكيدونيك.[33]

المعادن والفيتامينات: أفادت دراسة حديثة أن قشور الليمون تحتوي على معادن تشمل الكالسيوم، والنحاس، والحديد، والمغنيسيوم، والمنغنيز، والفوسفور، والبوتاسيوم، والسيلينيوم، والصوديوم، والزنك.[34]

الخصائص العلاجية لقشور الليمون:

النشاط المضاد للأكسدة: يرتبط التراكم المفرط لأنواع الأكسجين التفاعلية بالعديد من الأمراض المزمنة، مثل أمراض القلب والأوعية الدموية، والسمنة، والسكري، والاضطرابات التنكسية العصبية، حيث

تتمتع المركبات الفينولية والزيت العطري لقشور الليمون مجتمعة بنشاط مضاد للأكسدة ملحوظ، من جهة يمكن أن تستخدم كمضادات أكسدة طبيعية بديلة عن مضادات الأكسدة الكيميائية، ومن جهة أخرى، تبشر بالمساعدة في مكافحة الأمراض المرتبطة بالإجهاد التأكسدي مع آثار جانبية قليلة غير مرغوب فيها.[34]

التأثير المضاد للميكروبات: تظهر قشور الليمون مجتمعة نشاطا ملحوظا مضادا للميكروبات، مما يشير إلى إمكانية استخدامها كعوامل طبيعية مضادة للبكتيريا، يمكن استخدامها لإطالة فترة صلاحية المنتجات الغذائية، كما تتمتع المركبات الفينولية والزيت العطري الموجودان في قشور الليمون بقدرات عالية مضادة للأكسدة، مما يدعم إمكانية استخدامها في حفظ الزيوت واللحوم وغيرها من المنتجات الغنية بالدهون، كما يختلف النشاط المضاد للميكروبات لمستخلصات قشور الليمون باختلاف المذيبات المستخدمة في الاستخلاص، وهو ما قد يعود إلى اختلاف محتوى المواد المضادة للميكروبات، مثل المركبات الفينولية.[34]

القدرة المضادة لداء السكري: يعد داء السكري من الأمراض المزمنة الرئيسية التي تشكل تهديدا كبيرا للصحة العامة، وقد ازداد انتشاره في السنوات الأخيرة، بشكل عام أظهرت مستخلصات قشر الليمون وزيته العطري تأثيرات مثبطة على الإنزيمات المشاركة في هضم الكربوهيدرات، بينما قد تعالج مستخلصات القشر ارتفاع سكر الدم ومقاومة الأنسولين، وذلك استنادًا إلى نماذج حيوانية، أيضا قد تساعد قشر الليمون في خفض خطر الإصابة بداء السكري.[34]

التأثير المضاد للسمنة وخفض الدهون: في معظم أنحاء العالم، أدى تغيير النظام الغذائي وأنماط الحياة إلى زيادة انتشار السمنة، مما يشكل عبئا كبيرا على صحة الإنسان ونظام الرعاية الصحية، قد تثبط مركبات الفلافونويد الموجودة في قشر الليمون نشاط الليبازات البنكرياسية، مما يشير إلى إمكانية تحسين مستوى الدهون في الدم. علاوة على ذلك، قد يقلل تناول مستخلصات قشر الليمون بشكل طفيف من خطر الإصابة بأمراض القلب والأيض لدى المراهقين الذين يعانون من السمنة.[34]

خصائص مضادة للالتهابات (مضادة لالتهاب القولون والتهاب المفاصل): قد تخفف مستخلصات قشر الليمون الالتهاب عن طريق تثبيط إفراز السيتوكينات الالتهابية وتعزيز نظام الدفاع المضاد للأكسدة، حيث تحتوي قشور الليمون على ألياف غذائية وفيرة، مما يحسن عملية التمثيل الغذائي للميكروبات والحواجز الخلوية، وبالتالي يخفف من تلف الأمعاء الناتج عن الالتهاب.[34]

تأثير مضاد لتكوّن حصى الكلى: قد تقلل مستخلصات قشر الليمون من مستويات إفراز الكالسيوم والأكسالات والفوسفات والسترات، وتحفز إفراز البروتينات المثبطة لتكون البلورات. بالإضافة إلى ذلك، قد تعالج مستخلصات قشر الليمون ضعف نظام الدفاع المضاد للأكسدة والالتهاب الناتج عن حصى الكلى، حيث تتمتع قشور الليمون بإمكانية علاج حصى الكلى، وهو ما قد يعود إلى مركبات الفلافونويد.[34]

فعاليات حيوية أخرى: بالإضافة إلى الفوائد الصحية المذكورة أعلاه، أشارت الدراسات الحديثة إلى بعض الفعاليات الحيوية الأخرى لقشور الليمون، مثل تحسين ضمور العضلات الناتج عن قلة الاستخدام، وحماية الجلد، ومقاومة التعب، والنشاط الحيوي.[34]

I.3.5. البازلاء الخضراء:

تعريف:

يعرف نبات البازلاء الخضراء (الشكل (I.10)) بـ (*Pisum sativum*)، تندرج ضمن عائلة الفاباسيا من الخضروات البقولية من النباتات التي تزرع في فصلي الشتاء والصيف في جميع أنحاء العالم، تمتاز بذوق حلو ولذيذ تستخدم في تحضير العديد من الأطعمة نظرا لقيمتها الغذائية المرتفعة.[35]

الشكل (I.10): البازلاء.

التصنيف العلمي:

- **المملكة:** النباتات، كاسيات البذور، ثنائيات الفلقة
- **الرتبة:** البقوليات
- **الجنس:** Pisum
- **الاسم العلمي:** *Pisum sativum*

التركيب الغذائي لقرون البازلاء:

- الكربوهيدرات الموجودة في قرون البازلاء:

السكريات: هي أحد مكونات الكربوهيدرات، توجد بشكل طبيعي في مجموعة متنوعة من الأطعمة، بما في ذلك الفاكهة والخضراوات والحبوب والحليب، يعد السكروز والجلوكوز والزيلوز والفركتوز من أهم السكريات الذائبة في قرون البازلاء، حلل الباحثون السكريات التالية: السكروز (7.967 ± 0.430 غ/100 غ)، والجلوكوز (10.508 ± 1.071 غ/100 غ)، والزيلوز (1.786 ± 0.035 غ/100 غ). [36]

الألياف الغذائية: تصنف عادة إلى بوليمرات كربوهيدراتية غير قابلة للذوبان وقابلة للذوبان من النباتات، أي السكريات قليلة التعدد والسكريات المتعددة مثل: الصمغ والبكتين والسليلوز والإينولين والهيميسليلوز والنشا المقاوم، وبعض المكونات غير الكربوهيدراتية، تعد الألياف الغذائية مركبا رئيسيا في قرون البازلاء، وقد ذكر أن الألياف الغذائية غير القابلة للذوبان في قرون البازلاء تشكل 93% من إجمالي الألياف الغذائية الموجودة.[36]

- البروتين الخام:

تؤدي الأحماض الأمينية دورا أساسيا كوسائط في عمليات الأيض وكعناصر بناء للبروتينات، تعد البروتينات ثاني أهم مكون في قرون البازلاء بعد الألياف الغذائية، وقد استنتج العديد من الباحثين أن قرون البازلاء تحتوي على 10.8% بروتين، بالإضافة إلى 58.6% ألياف، بما في ذلك معادن مثل: البوتاسيوم والحديد بنسب تزيد عن 1%، قدر البروتين الخام في مسحوق قرون البازلاء تبلغ 14.88%.[36]

- تحليل الأحماض الدهنية:

فيما يتعلق بقرون البازلاء، كانت الأحماض الدهنية غير المشبعة الرئيسية هي: حمض اللينوليك وحمض اللينولينيك، بينما كانت الأحماض الدهنية المشبعة الرئيسية هي: حمض الستياريك وحمض البالميتيك، تميزت دهون قرون البازلاء بجودة عالية، لذا تعد مخلفات قرون البازلاء مصدرا واعدا للأحماض الدهنية والمعادن الأساسية، مما يزيد من إمكانية استخدامها في تصنيع الأغذية الوظيفية.[36]

- المعادن:

العناصر الكبرى الرئيسية الموجودة في قرون البازلاء هي: البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم، بينما كان الحديد والزنك هما العنصران الأساسيان، حيث أشارت الدراسات إلى وجود الكالسيوم والحديد بكميات معقولة في قرون البازلاء.[36]

- المواد الفعالة بيولوجيًا:

أشارت الدراسات الى التركيب الكيميائي النباتي لقرون البازلاء، أن قيم محتوى الفينولات (32 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ مستخلص) والفلافونويدات (22 ملغ مكافئ الكيرسيتين/غ مستخلص) والتانينات المكثفة في قرون البازلاء (48 ميكروغرام مكافئ الكاتيون/غ مستخلص)، وبلغت فعالية مضادات الأكسدة 1430 ± 20 ميكروغرام/مل من تركيز التثبيط النصفي (IC50) لنشاط DPPH، و1700 ± 10 ميكروغرام/مل من تركيز التثبيط النصفي (IC50) لنشاط ABTS، بينما بلغت قيمة FRAP 75 ± 5 ميكرومول مكافئ التوكوفيرول/ملغ مستخلص.[36]

الفوائد العلاجية:

النشاط المضاد لداء السكري: أظهرت النتائج التجريبية أن مستخلص قرون البازلاء يمكن أن يقلل من تأثير مرض السكري بكفاءة، يمكن أيضا تقليل مضاعفات مرض السكري من خلال تخفيف الإجهاد التأكسدي عن طريق تقليل بيروكسيد الدهون وتنشيط إنزيمات مضادات الأكسدة.[36]

النشاط الواقي للكبد: يعد الكبد عضوا حيويا في جسم الإنسان، حيث تحدث فيه وظائف أيضية رئيسية، في دراسة أنجزت حول النسيجية المرضية على فئران مصابة بداء السكري المحفز بالألوكسان، علامات تلف مختلفة ناتجة عن ارتشاح الخلايا الليمفاوية الشبيه بتسلل الخلايا الكبدية، ونخر الخلايا الكبدية، واحتقان الوريد المركزي، وتوسع الجيوب الكبدية، تبين بنجاح أن تناول مستخلص قرون البازلاء عن طريق الفم (500 ملغم/كغم من وزن الجسم) يقلل بشكل ملحوظ من إصابات الكبد.[36]

النشاط المضاد للبكتيريا: تشير الدراسات السابقة إلى أن وجود نسبة عالية من الفلافونويدات والبوليفينولات في النباتات يكسبها خصائص مضادة للميكروبات، وقد أجريت دراسة علمية لاختبار النشاط المضاد للبكتيريا في مستخلص قشر البازلاء ضد كل من البكتيريا موجبة الغرام (المكورات العنقودية الذهبية) وسالبة الغرام (الزائفة الزنجارية، والسالمونيلا المعوية، والإشريكية القولونية)، لوحظ أن المستخلص الإيثيلي فعال للغاية، حيث أظهر درجات متفاوتة من الخصائص المضادة للبكتيريا ضد العديد من البكتيريا المختبرة موجبة وسالبة الجرام.[36]

تثبيط نشاط إنزيم ألفا–أميليز: يعد الإنزيم الرئيسي في عملية الهضم، وهو المسؤول عن التحفيز، وهي الخطوة الأولى في عملية تحلل النشا، الذي يعد المصدر الأساسي للجلوكوز في الطعام، ويعتبر التنظيم السليم لهذا الإنزيم خطوة حيوية في ارتفاع سكر الدم بعد تناول الطعام، والذي يرتبط بحدوث داء السكري من النوع الثاني، وقد أثبت دراسة التأثير المثبط لمستخلص قشر البازلاء على إنزيم ألفا–أميليز.[36]

I.4.5. الفول الأخضر:

تعريف:

الفول الأخضر (**الشكل (I.11)**) يعد من البقوليات التي يتم زرعها في نطاق جغرافي ممتد مما يتيح زراعته بشكل واسع في المنطقة الاسكندنافية، كما يساهم نبات الفول في تفكيك البروتين المعقد الى بروتين مفيد للجسم.[37]

الشكل (I.11): الفول الأخضر.

التصنيف العلمي:

- **المملكة**: النباتات، كاسيات البذور، ثنائيات الفلقة
- **الرتبة**: البقوليات
- **الجنس**: Vicia
- **الاسم العلمي**: *Vicia faba*

التركيب الغذائي لقشور الفول الأخضر:

التركيب الغذائي: بلغت القيم المتوسطة للرماد الخام والدهون والبروتين والألياف في القشور 66.3 و7.04 و144 و207 غ/كغ (وزن جاف هوائيًا) على التوالي، حيث احتوت أيضا على 243 غ/كغ من

الألياف الحمضية و326 غ/كغ من الألياف المتعادلة، بلغ إجمالي كمية الألياف الغذائية 413 غ/كغ، منها 328 غ/كغ من الألياف الغذائية غير القابلة للذوبان و85 غ/كغ من الألياف الغذائية القابلة للذوبان، احتوت على العديد من المعادن المهمة، بما في ذلك البوتاسيوم والفوسفور والكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم، وبعض العناصر النزرة الأساسية مثل الحديد والنحاس والزنك والمنغنيز.[38]

محتوى الفينولات الكلية، والبوليفينولات الحرة، والتانينات، والبروسيانيدينات: سجلت التحليلات الكمية أعلى محتوى من المركبات الفينولية (TPC، حيث بلغ 38.43 ± 0.59 و38.87 ± 1.21 ملغم مكافئ حمض الغاليك/غرام من القشور الجافة)، وشمل ذلك التانينات بمحتوى 30.67 ± 1.03 و31.34 ± 1.21 ملغم مكافئ حمض الغاليك/غرام من القشور الجافة، والبروسيانيدينات بمحتوى 0.66 ± 0.13 و0.35 ± 0.02 ملغم بروسيانيدين B1/غرام.[38]

الاستخدامات العلاجية لقشور الفول:

التأثير المضاد للفيروسات، والميكروبات، والسرطان، والالتهابات، ومضادات الأكسدة: تعد المركبات الفينولية من أهم مجموعات المركبات الكيميائية النباتية الموجودة في قشور الفول، حيث تلعب هذه الجزيئات دورا هاما في صحة الإنسان.[39]

I.6. المواد الحيوية (Biomaterials):

يشمل مصطلح " المواد الحيوية" أي مادة يتوقع تفاعلها مع النظام البيولوجي لتعويض الأنسجة الحية التي فقدت وظيفتها، تستخدم هذه المواد في تطبيقات متنوعة، بما في ذلك تحفيز نمو الأنسجة الجديدة، منذ بداية القرن العشرين قام الرومان والمصريون بترميم عيوب الجمجمة باستخدام الذهب والعاج كمواد حيوية، وفي الثمانينيات والتسعينيات من القرن العشرين استخدم بولي ميثيل ميثاكريلات (PMMA) كأول بوليمير في مجال المواد الحيوية، وفي الطب الحديث تعد المواد الحيوية مهمة نظرا لأنها تساهم في تطوير هندسة الأنسجة، أنظمة توصيل الأدوية والأجهزة الطبية.[40]

I.1.6. تعريف المواد الحيوية:

هي مواد غير حية طبيعية أو صناعية صممت خصيصا للتفاعل مع الأنظمة البيولوجية لأغراض طبية، حيث تستخدم في تصنيع جهاز تشخيصي، بديل للأنسجة أو الأعضاء أو في جهاز وظيفي بديل، وتتميز المواد الحيوية بالمتانة الميكانيكية، بطء معدل التحلل، والتوافق الحيوي، حيث يجب أن تتصف

هذه المواد بخصائص ميكانيكية وفيزيائية وكيميائية قريبة قدر الإمكان من خصائص العضو أو جزء منه.[41]

I.2.6. تصنيف المواد الحيوية:

يمكن تصنيف المواد الحيوية إلى أربع فئات حسب أصلها:

I.2.6.1. المواد الحيوية المعدنية (Metallic Biomaterials):

تتمثل في المعادن أو السبائك التي تتميز بالعديد من الخصائص حيث تتمتع بقوة عالية، أكثر متانة، ومقاومة للتآكل، بفضل هذه خصائص تستخدم بشكل رئيسي في جراحة العظام (المسامير، البراغي، الصفائح، والمفاصل)، في طب الأسنان (الحشوات، الأطراف الصناعية، مكونات أطقم الأسنان)، وفي الأدوات الجراحية وأجهزة القلب والأوعية الدموية. ومن بينها الفولاذ الأوستنيتي، سبائك التيتانيوم، والكوبالت والكروم، وسبائك النيكل.[42]

I.2.6.2. المواد الحيوية السيراميكية (Ceramic biomaterials):

هي مواد غير عضوية وغير معدنية تتميز بتوافق الحيوي ممتاز مع الأنظمة البيولوجية وتتمتع بقوة وصلابة، كما تعد أكثر مقاومة للتآكل، وبفضل هذه الخصائص تستخدم كثيرا في زراعة العظام، الأسنان، والمفاصل الصناعية. ومن بينها الألومينا والزركونيا (الخاملة)، وهيدروكسيلباتيت (النشطة حيويا).[43]

I.2.6.3. المواد الحيوية القائمة على البوليمرات الاصطناعية (Biomaterials based on synthetic polymers):

هي مواد مصنعة كيميائيا تتميز بتوافق الحيوي، ولها قابلية التحلل، والقدرة على التحكم في خصائصها الفيزيائية والميكانيكية. وبالتالي تستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الطبية (هندسة الأنسجة، أنظمة توصيل الأدوية، والسقالات العظمية). ومن بينها حمض البولي لاكتيك، حمض بولي (لاكتيك–كو–جليكوليك)، بولي كابرولاكتون، بولي إيثيلين جليكول، البولي يوريثان.[44]

I.2.6.4. المواد الحيوية ذات الأصل الطبيعي (Biomaterials of natural origin):

هي عبارة عن مواد مستخلصة من مصادر بيولوجية (نباتية، حيوانية، أو ميكروبية) تتميز بتوافق حيوي عال وقابلية التحلل، كما تتميز بعدم إثارة الاستجابة المناعية، وبفضل خصائصها الممتازة تستخدم

في الطب التجديدي، هندسة الأنسجة، والتركيبات الطبية. ومن بينها الكولاجين، الكيتوزان، الألجينات، والسليلوز التي لها دور كبير في تعزيز نمو الخلايا (**الشكل (12.I)**).[44]

الشكل (12.I): تصنيف المواد الحيوية.

3.6.I. المواد الحيوية الطبيعية مقابل الاصطناعية:

تتواجد نوعان من المواد الحيوية الطبيعية والاصطناعية، حيث:

المواد الحيوية الطبيعية عبارة عن مستخلصات ذات مصادر طبيعية مثل: الحيوانات، النباتات، أو الكائنات الدقيقة من بينها بوليمرات بروتينية (الكولاجين، الجيلاتين، فيبروين الحرير، الفيبرين، الإيلاستين والكيراتين) وبوليمرات سكرية متعددة (الكيتوزان، الألجينات، السليلوز وحمض الهيالورونيك) ومواد حيوية معدنية (هيدروكسي أباتيت (HA) والعظام). تتميز المواد الحيوية الطبيعية بالتوافق الحيوي العالي وغير سامة وبفضل ذلك نادرا ما تسبب رفضا مناعيا للتوافق مع الانسجة. كما تتميز بالتحلل الحيوي داخل الجسم إلى مواد أولية طبيعية وبالتالي سهولة عمليات إزالتها. تستخدم هذه المواد في هندسة الأنسجة، التئام الجروح وتوصيل الأدوية.[45]

أما المواد الحيوية الاصطناعية فيتم تصنيعها كيميائيا في المختبرات عن طريق دمج الهندسة وعلوم المواد مع البيولوجيا لإنتاج مواد تتوافق مع الأنظمة البيولوجية من بينها بولي جليكوليد (PGA)، حمض البولي لاكتيك (PLA)، البولي يوريثان والتيتانيوم. تتميز هذه المواد بالعديد من الخصائص الميكانيكية التي تتمثل في القوة والثبات والاستقرار، بفضل هذه الخصائص تصبح مثالية للأحمال الثقيلة، كما يمكن التحكم بدقة عالية في خصائصها: سرعة التحلل، المسامية والشكل. تستخدم غالبا هذه المواد في زراعة العظام، المفاصل الصناعية والأجهزة الطبية الدائمة.[46]

I.4.6. أهمية المواد الحيوية في التطبيقات البيئية:

تعتبر المواد الحيوية الركيزة الأساسية في التكنولوجيا الحيوية البيئية، مما تسمح للتطبيقات البيئية باستعادة جودة البيئة والحفاظ على الموارد الطبيعية، يتمثل الدور الأساسي للمواد الحيوية:

- تساهم في المعالجة الحيوية للتلوث البيئي من خلال استخدام الكائنات الدقيقة (مثل البكتيريا والفطريات) نظرا لتنوع قدرتها الغذائية، والإنزيمات لتحليل الملوثات العضوية (مثل الهيدروكربونات، الزيوت، المعادن الثقيلة، والمبيدات الحشرية، والأصباغ) وتحويلها إلى مواد غير ضارة.[47]
- لها دور فعال في إدارة النفايات وإنتاج الطاقة المتجددة وذلك من خلال توفير غاز الميثان كبديل للوقود الأحفوري عن طريق تخمير النفايات العضوية.[48]
- توفر بدائل كثيرة صديقة للبيئة كالبلاستيك الحيوي السريع التحلل مما يقلل تراكم البلاستيك في البيئة.[49]
- يحقق التوازن البيئي بواسطة المكافحة البيولوجية للآفات المتمثلة في استخدام المبيدات الحيوية المستخلصة من المصادر الطبيعية من أجل مكافحة الآفات الزراعية دون إلحاق الضرر بالبيئة أو الكائنات النافعة، وبالتالي توفر استراتيجية مستدامة لتعزيز فعالية المبيدات مع انخفاض الخطر على الأثر البيئي.[50]

I.7. الهلام الحيوي (Bio-gel):

في الآونة الأخيرة أدى تطور البشرية إلى تطور العديد من المواد الوظيفية، ومع اتساع وتنوع أساليب الحياة الاجتماعية البشرية ازدادت المتطلبات الاجتماعية بشكل كبير، هذا ما أدى الى تطوير المواد الوظيفية بهدف مواجهة العديد من المشكلات أهمها إنتاج الطاقة، حماية البيئة، تطوير الأجهزة، كيفية إيصال الأدوية، الطب التجديدي، مكافحة مسببات الأمراض وعلاج السرطان، وكذلك بناء أنظمة وظيفية متطورة تحاكي الأنظمة البيولوجية، ومنه تم استكشاف الهلاميات الحيوية كمواد وظيفية.[51]

I.1.7. تعريف الهلام الحيوي وخصائصه:

هو عبارة عن مادة ذات قوام شبيه بالهلام تتكون من شبكات ثلاثية الأبعاد من البوليمرات (كالنشاء، الألجينات والزيوت العطرية) المحبة للماء أي قادرة على امتصاص كمية كبيرة من الماء حيث يصل نسبة

الماء إلى أكثر من 90% من كتلته، كما يتميز بالتوافق الحيوي وقابلية التحلل الحيوي، يستخدم غالبا في استخدامات الطبية كالتئام الجروح، في مجال التجميل والتقني، وأيضا يتميز بدرجة عالية من المرونة بفضل محتواه المائي العالي مما جعله يشبه إلى حد كبير الأنسجة الطبيعية.[52]

I.2.7. أنواع الهلام الحيوي:

يمكن تصنيف الهلام الحيوي إلى عدة أنواع حسب معايير مختلفة، حيث:

- **التصنيف حسب المصدر**: حيث يصنف إلى نوعين:

- **الهلاميات الحيوية الطبيعية**: وهي الهلاميات الحيوية التي تشمل في تركيبها بروتينات (الكولاجين والجيلاتين) وعديدات السكاريد (النشا والألجينات والأجاروز).
- **الهلاميات الحيوية الاصطناعية**: وهي الهلاميات الحيوية التي تشمل في تركيبها على البوليمرات الاصطناعية التي تصنع بواسطة طرق البلمرة الكيميائية.[53]

- **التصنيف حسب التركيب البوليميري**: يتم تصنيفه الى ثلاثة:

- **الهلاميات الحيوية المتجانسة**: تكون على شكل شبكة بوليميرية مشتقة من نوع واحد من المونومير التي تعتبر الوحدة البنائية الأساسية التي تتكون منها أي شبكة بوليميرية، كما يمكن أن تمتلك بنية هيكلية متشابكة راجعة إلى طبيعة المونومير وتقنية البلمرة.
- **الهلاميات الحيوية البوليميرية المشتركة**: تتكون من نوعين أو أكثر من المونوميرات المختلفة مع مكون واحد على الأقل محب للماء حيث تكون مرتبة بشكل عشوائي أو كتلي أو متناوب على طول سلسلة شبكة البوليمر.
- **الهلاميات الحيوية البوليميرية المتداخلة متعددة البوليمرات (IPN)**: تعد نوع مهم من الهلاميات الحيوية حيث تتكون من مكونين مستقلين من البوليمرات الاصطناعية أو الطبيعية المتشابكة والتي تكون على شكل شبكة.
- **الهلاميات الحيوية البوليميرية الشبه متداخلة (semi-IPN)**: وهي التي تتكون من بوليمير واحدا متشابكا والآخر بوليميرا غير متشابك.[53]

- **التصنيف حسب التكوين**: يصنف حسب بنيته الفيزيائية وتركيبه الكيميائي إلى:

- **الهلاميات الحيوية غير متبلورة**.
- **الهلاميات الحيوية شبه متبلورة**: تكون على شكل خليط معقد من طورين غير متبلور ومتبلور.

- **الهلاميات الحيوية متبلورة.**[53]

- **التصنيف حسب نوع التشابك:** حيث تقسم إلى نوعين حسب الطبيعة الكيميائية أو الفيزيائية لوصلات التشابك، حيث تتميز الشبكات المتشابكة كيميائيا بوصلات دائمة، بينما تتميز الشبكات الفيزيائية بوصلات مؤقتة، والتي تنشأ عن طريق تشابك سلاسل البوليمر أو من تفاعلات فيزيائية، مثل: التفاعلات الأيونية أو الروابط الهيدروجينية أو التفاعلات الكارهة للماء.[53]

- **التصنيف حسب المظهر الفيزيائي:** حيث تصنف اعتمادا على المظهر إذا كانت مادة أساسية أو غشاء أو كريات مجهرية وذلك يرجع إلى تقنية البلمرة المستخدمة في عملية التحضير.[53]

- **التصنيف حسب الشحنة الكهربائية للشبكة:** تصنف إلى أربع أنواع:

- **الهلاميات الحيوية غير أيونية (متعادلة).**
- **الهلاميات الحيوية الأيونية (يشمل الأنيونات والكاتيونات).**
- **الهلاميات الحيوية إلكتروليت مذبذب (أمفوليتي):** تضم الهلاميات الحيوية التي تحتوي على مجموعات حمضية وقاعدية.
- **الهلاميات الحيوية ثنائية القطب (بولي بيتاينات):** تضم الهلاميات الحيوية التي تحتوي على مجموعات أنيونية وكاتيونية في كل وحدة بنائية متكررة.[53]

I.3.7. آليات تشكل الهلام الحيوي:

يتشكل الهلام الحيوي عادة بواسطة ربط السلاسل الجزيئية المنتشرة في محلول مائي عبر آليات مختلفة بما في ذلك الربط الفيزيائي والكيميائي، حيث يتم تكوين الروابط التساهمية بين سلاسل البوليمر في الهيدروجيلات المترابطة كيميائيا، بينما يتم تكوين الروابط الفيزيائية بين سلاسل البوليمر في الهيدروجيلات المترابطة فيزيائيا.[54]

I.1.3.7. الهيدروجيلات المترابطة فيزيائيا:

تتكون من خلال التفاعلات الغير التساهمية، من بينها التفاعلات الكهروستاتيكية والروابط الهيدروجينية والقوى الكارهة للماء بين البوليمرات الحيوية ذات الشحنات المتعاكسة، حيث تسمح هذه التفاعلات بتكوين معقدات متعددة الأيونات، وذلك من خلال اتحاد جزيئات كبيرة متعددة لتشكل شبكة

مستقرة ومتماسكة بفضل حدوث تفاعلات قوية بين سلاسل البوليمر، حيث تتميز هذه الهيدروجيلات بألفة عالية للماء مما يحفز جزيئات الماء على الوصول إلى بنية الجل والاستقرار داخلها.[54]

الهيدروجيلات المتشابكة فيزيائيا لها عمر قصير، حيث يدوم عادة من بضعة أيام إلى شهر عند تعرضها للظروف الفيزيولوجية وهذا راجع لطبيعتها القابلة للانعكاس والحساسة للماء، وبفضل هذه الخاصية تجعلها مفيدة في التطبيقات الدوائية.[54]

I.2.3.7. الهيدروجيلات المترابطة كيميائيا:

تتكون الهيدروجيلات المترابطة كيميائيا من خلال التفاعلات التساهمية للبوليمرات الحيوية في مواقع، ويتم ذلك باستخدام مختلف عوامل الربط التي تعمل كجسور بين سلاسل البوليمر، مما ينتج عنه شبكة مستقرة ومتجانسة.

تتميز الهيدروجيلات المتشابكة كيميائيا بالاستقرار والمتانة، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات طويلة الأمد.[54]

I.4.7. مصادر الهلام الحيوي الطبيعية:

I.1.4.7. المصادر النباتية:

تتمثل المصادر النباتية في: السليلوز الذي يتم استخلاصه من جدران الخلايا النباتية، والنشا الذي يتواجد بكثرة في البطاطس والذرة، واللجينينات من الطحالب البحرية، والكيتوزان الذي يتم الحصول عليه من مخلفات الفطريات، الرخويات، الطحالب، القشريات والحشرات، والأصماغ الطبيعية كصمغ الغوار والزانثان.[55]

I.2.4.7. المصادر الحيوانية:

تشمل الكولاجين والجيلاتين، حيث يتم الحصول عليهما من جلود وعظام الماشية والأسماك، وحمض الهيالورونيك وهو عبارة عن بوليمر حيوي طبيعي موجود في أنسجة الجسم، والفيبروين الذي يتمثل في بروتين حرير طبيعي يتم تصنيعه من طرف دودة القز.[55]

I.3.4.7. المصادر الميكروبية:

بولي هيدروكسي ألكانوات: يعتبر فئة من البوليسترات الطبيعية، التي تراكمها الكائنات الحية (البكتيريا) على شكل حبيبات داخلية لتخزين الكربون والمواد المختزلة، حيث يتم انتاجها عن طريق التخمر الميكروبي للسكريات أو الدهون في بيئة ذات مصادر غذائية محدودة (نيتروجين، أكسجين، وفوسفور) ووفرة من الكربون، والسليلوز البكتيري وهو عبارة عن بوليمرات حيوية تنتجها البكتيريا والفطريات.[56]

I.8. تطبيقات الهلاميات الحيوية:

تستخدم الهلاميات في مجال هندسة الأنسجة والضمادات الطبية وأنظمة توصيل الأدوية وكذلك تستخدم في إزالة مختلف ملوثات المياه مثل الأصباغ وبقايا الأدوية والمعادن الثقيلة وغيرها.[57] (الشكل (13.I))

I.8.1. توصيل الأدوية:

توفر البنية المسامية للهيدروجيلات مصفوفة لتحميل الدواء وحمايته من البيئة المحيطة في الوقت نفسه. علاوة على ذلك، يمكن التحكم في المسامية عن طريق تغيير كثافة التشابك في مصفوفة الجل، يعتمد معدل الإطلاق، وهو معيار مهم آخر لحوامل الأدوية، بشكل أساسي على معامل انتشار الجزيء عبر شبكة الجل، ويمكن ضبطه وفقا لمتطلبات محددة. يمكن الحصول على التوافق الحيوي وقابلية التحلل الحيوي من خلال تصميم هياكل كيميائية وفيزيائية معينة للهيدروجيلات، كل هذه الخصائص تجعل الهيدروجيلات ذات إمكانات كبيرة للاستخدام في توصيل الأدوية.

I.8.2. إزالة المعادن الثقيلة: يزداد استخدام الهيدروجيلات لاستخلاص المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي شيوعا، لقدرتها على احتجاز وتخزين مختلف المعادن الثقيلة ضمن بنيتها الشبكية، بفضل خصائصها المميزة مثل المحبة للماء، والتوافق الحيوي، والتحلل البيولوجي، والمرونة اللزجة، والقدرة الفائقة على الامتصاص، يمكن أن تلعب المواد الماصة من الهيدروجيل دورا رئيسيا في التقاط المعادن الثقيلة من المياه الملوثة ويمكنها إطلاق هذه الملوثات الخطرة عند حدوث تغييرات في البيئة الخارجية (التغير في درجة الحموضة، ودرجة الحرارة، وما إلى ذلك).[58]

I.8.3. تطبيقات الهيدروجيل في الزراعة: يستخدم الهيدروجيل على نطاق واسع في الزراعة نظرا لقدرتها على امتصاص الماء والاحتفاظ به وإطلاقه ببطء، مما يجعلها ذات قيمة كبيرة في البيئات التي تعاني من

ندرة المياه، ولا يقتصر استخدامها على مجرد الاحتفاظ بالماء، بل يشمل تحسين التربة، وتوصيل العناصر الغذائية، وتغليف البذور، ومكافحة التعرية.[59]

الشكل (13.I): أهم تطبيقات الهلام الحيوي الهوائي.

4.I. دور الهلاميات في التحلل الحيوي (Biodegradation) والاستدامة:

تصنف الهلاميات الحيوي من الدعامات الأساسية في تعزيز الاستدامة البيئية لطبيعتها التركيبية المشتقة من البوليمرات الطبيعية (مثل: البروتينات والسكريات)، مما يمنحها قابلية عالية في التحلل الحيوي، تتجسد فاعليتها في معالجة التلوث من خلال جزيئاتها النشطة (مثل: الهيدروكسيل، الكربوكسيل، والأمينو) القادرة على امتصاص وإزالة الملوثات العضوية والمعادن الثقيلة بكفاءة عالية، كما أن للهلام الحيوي دورا مهما في الاستدامة من خلال اصلاح الخصائص الفيزيائية للتربة وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء، مما يضمن أوساط بيئية دقيقة ملائمة لنمو الكائنات الدقيقة الوظيفية ويساهم في إعادة تأهيل التوازن البيئي.[60]

تشكل النفايات العضوية موردا واعدا يمكن تثمينه بدل اعتبارها عبئا بيئيا، حيث أظهرت الدراسات أن هذه المخلفات غنية بمركبات طبيعية مثل: السليلوز، الهيميسليلوز، والمواد الفينولية، مما يجعلها مادة أولية مناسبة لإنتاج مواد متقدمة، ومن أهم هذه المواد، تبرز الهلاميات الحيوية كحلول مبتكرة بفضل خصائصها الفيزيائية والكيميائية المميزة، مثل قدرتها العالية على امتصاص الماء واحتجاز الملوثات.

وعليه، فإن تحويل النفايات العضوية إلى هلاميات حيوية يساهم في تقليل التلوث وتعزيز الاستدامة، مع توفير تطبيقات واعدة خاصة في مجالات معالجة المياه والزراعة والطب، ويؤكد هذا التوجه أهمية تطوير تقنيات حديثة لاستغلال الموارد الطبيعية بطريقة فعالة، بما يدعم تحقيق مبادئ التنمية المستدامة ويواكب التحديات البيئية الراهنة.

مراجع الفصل:

[1] A. A. Kadir, N. W. Azhari, and S. N. Jamaludin, "An overview of organic waste in composting," in *MATEC Web of Conferences*, 2016, p. 05025.

[2] M. H. Ibrahim, S. Quaik, and S. A. Ismail, "Introduction to organic wastes and its management," in *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms*, ed: Springer, 2016, pp. 1-21.

[3] K. M. Salleh, N. A. Z. Armir, N. S. N. Mazlan, C. Wang, and S. Zakaria, "2.1 Overview of cellulose fibres," 2021.

[4] C. Newland, "Early Plastics," in *The Routledge Handbook of Archaeology and Plastics*, ed: Routledge, 2024, pp. 30-50.

[5] P. D. Blanc, *Fake silk: the lethal history of viscose rayon*: Yale University Press, 2016.

[6] P. Bajpai, *Bacterial Nanocellulose for Papermaking and Packaging*: Bentham Science Publishers, 2024.

[7] G. Signori-Iamin, R. J. Aguado, Q. Tarrés, P. Mutjé, and M. Delgado-Aguilar, "Chemical Modification of Cellulose," in *The Handbook of Paper-Based Sensors and Devices: Volume 1: Materials and Technologies*, ed: Springer, 2025, pp. 153-182.

[8] H. Staudinger and A. Fredga, "Staudinger and the Macromolecule," *Inventing Polymer Science: Staudinger, Carothers, and the Emergence of Macromolecular Chemistry*, p. 48, 2016.

[9] S. S. Z. Hindi, "Microcrystalline cellulose: the inexhaustible treasure for pharmaceutical industry," *Nanosci. Nanotechnol. Res*, vol. 4, pp. 17-24, 2017.

[10] F. Tabaght, K. Azzaoui, and A. E. Idrissi, "Synthesis, characterization, and biodegradation studies of new cellulose-based polymers, Sci Rep., 13, 1673," ed, 2023.

[11] O. Mouloudi, R. Touzani, A. Chetouani, S. Kadda, and B. Hammouti, "Original Paper Molecular structure and physicochemical properties of the Cellulose Molecule: Chemical Exploration, Methods, Bibliometric Analysis and Perspectives," *Journal of Applied Science and Environmental Studies*, vol. 6, pp. Appl. Sci. Envir. Stud. 6 (3)-217, 2023.

[12] D. Gautam, V. Rana, S. Sharma, Y. Kumar Walia, K. Kumar, A. Umar, *et al.*, "Hemicelluloses: a review on extraction and modification for various applications," *ChemistrySelect*, vol. 10, p. e06050, 2025.

[13] L. Cheng, H. Jiang, G. Xie, J. Wang, W. Peng, L. Zhou, *et al.*, "Tree Age-Related Differences in Chilling Resistance and Bark-Bleeding Physiological Responses to Chemical Component and Fiber Morphology Changes in Cell Walls of Hevea brasiliensis Bark," *Plants*, vol. 14, p. 2531, 2025.

[14] M. P. Eelager, N. P. Dalbanjan, B. Dewangan, M. Madar, D. S. Abraham, S. Madihalli, *et al.*, "A Comprehensive Review of Carbohydrate Polymer Hydrocolloids: Structure, Function, and Applications in Food Systems," *Food Reviews International*, pp. 1-40, 2026.

[15] M. Nasirinezhad, M. Mohamadi, S. Abbasi Sedaghat, S. Etminanrezaeieh, and K. Behnejhad Takleh, "A Comprehensive Review of Sources, Structure, Characteristics,

Extraction, and Applications of Pectin in Drug Delivery," *Biomacromolecules,* vol. 26, pp. 6357-6380, 2025.

[16] B. Zhang, J. Zhu, V. Kontogiorgos, and S. Dhital, "Pectin: chemical structure and health benefits," in *Carbohydrate Nutrition*, ed: Elsevier, 2025, pp. 237-267.

[17] M. Lesgourgues, T. Latire, N. Terme, P. Douzenel, R. Leschiera, N. Lebonvallet, *et al.*, "Ultrasound depolymerization and characterization of poly-and oligosaccharides from the red alga Solieria chordalis (C. Agardh) J. Agardh 1842," *Marine drugs,* vol. 22, p. 367, 2024.

[18] A. D. Kulkarni, A. M. Chavan, and M. V. Kulkarni, "Mechanical properties of phenolic resins," *Phenolic Resins: Synthesis, Modifications, Properties, and Applications*, p. 469, 2025.

[19] F. d. S. Bezerra and M. G. B. Koblitz, "Extraction of phenolic compounds from agro-industrial by-products using natural deep eutectic solvents: A review of green and advanced techniques," *Separations,* vol. 12, p. 150, 2025.

[20] S. K. Rasheedy, "Medical use of Phenol," *International Journal of Current Science Research and Review,* vol. 5, pp. 711-718, 2022.

[21] L. Bork, "Chemical Insights Into the Color Formation of Carbohydrate-derived Carbonyls, Phenolic Compounds of the Hydroxycinnamic Acid-type, and Their Interactions," Technische Universität Berlin, 2025.

[22] A. Bratovcic, "Exploring Food Waste Potential for Bioethanol Production in Sustainable Energy and Emission Reduction," *Journal of Sustainable Bioenergy Systems,* vol. 15, pp. 68-91, 2025.

[23] M. Wanapat, C. Suriyapha, G. Dagaew, R. Prachumchai, S. Phupaboon, S. Sommai, *et al.*, "The recycling of tropical fruit peel waste-products applied in feed additive for ruminants: Food manufacturing industries, phytonutrient properties, mechanisms, and future applications," *Journal of Agriculture and Food Research,* vol. 17, p. 101234, 2024.

[24] H. Kumar, K. Bhardwaj, R. Sharma, E. Nepovimova, K. Kuča, D. S. Dhanjal, *et al.*, "Fruit and vegetable peels: utilization of high value horticultural waste in novel industrial applications," *Molecules,* vol. 25, p. 2812, 2020.

[25] G. Katlam, S. Prasad, M. Aggarwal, and R. Kumar, "Trash on the menu," *Current Science,* vol. 115, pp. 2322-2326, 2018.

[26] D. E. Cardenas, C. Aguilar, U. Bhatta, C. Bugingo, S. Cochran-Murray, R. Gazis, *et al.*, "Rotten to the core: Challenges with postharvest disease management of fruit crops," *Plant Disease,* vol. 109, pp. 2009-2028, 2025.

[27] V. Joshi, A. Kumar, and V. Kumar, "Antimicrobial, antioxidant and phyto-chemicals from fruit and vegetable wastes: A review," *International Journal of Food and Fermentation Technology,* vol. 2, p. 123, 2012.

[28] M. W. Haider, S. M. Abbas, M. A. Saeed, U. Farooq, M. Waseem, M. Adil, *et al.*, "Environmental and nutritional value of fruit and vegetable peels as animal feed: A comprehensive review," *Animal Research and One Health,* vol. 3, pp. 149-164, 2025.

[29] Z. Pan, R. Zhang, and S. Zicari, *Integrated processing technologies for food and agricultural by-products*: Academic Press, 2019.

[30] M. Chen, T. Zhang, and Z. Yuan, "Evolution and classification of pomegranate," in *IV International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits 1254*, 2017, pp. 41-48.

[31] J. Singh, H. P. Kaur, A. Verma, A. S. Chahal, K. Jajoria, P. Rasane, *et al.*, "Pomegranate peel phytochemistry, pharmacological properties, methods of extraction, and its application: a comprehensive review," *ACS omega*, vol. 8, pp. 35452-35469, 2023.

[32] M. Mohanapriya, L. Ramaswamy, and R. Rajendran, "Health and medicinal properties of lemon (Citrus limonum)," *International Journal of Ayurvedic and Herbal Medicine*, vol. 3, pp. 1095-1100, 2013.

[33] H. Jiang, W. Zhang, Y. Xu, L. Chen, J. Cao, and W. Jiang, "An advance on nutritional profile, phytochemical profile, nutraceutical properties, and potential industrial applications of lemon peels: A comprehensive review," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 124, pp. 219-236, 2022.

[34] A. Czech, E. Zarycka, D. Yanovych, Z. Zasadna, I. Grzegorczyk, and S. Kłys, "Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars," *Biological Trace Element Research*, vol. 193, pp. 555-563, 2020.

[35] C. Lee, "Green peas," in *Quality and Preservation of Vegetables*, ed: CRC Press, 2021, pp. 159-183.

[36] G. Nasir, S. Zaidi, N. Tabassum, and Asfaq, "A review on nutritional composition, health benefits and potential applications of by-products from pea processing," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 14, pp. 10829-10842, 2024.

[37] I.-C. M. Labba, H. Frøkiær, and A.-S. Sandberg, "Nutritional and antinutritional composition of fava bean (Vicia faba L., var. minor) cultivars," *Food Research International*, vol. 140, p. 110038, 2021.

[38] I. Vlasova, P. Krüsselmann, Y. Kostenko, M. Obrębski, S. Granica, W. Vahjen, *et al.*, "The assessment of chemical composition and biological activity of faba bean pods as a potential feed additive utilized in piglets nutrition," *Scientific Reports*, vol. 15, p. 1234, 2025.

[39] C. Tesoro, F. Lelario, F. Piscitelli, A. Di Capua, P. Della Sala, P. Montoro, *et al.*, "Vicia faba L. pod valves: a by-product with high potential as an adjuvant in the treatment of Parkinson's disease," *Molecules*, vol. 29, p. 3943, 2024.

[40] O. P. Kharbanda, *Orthodontics: Diagnosis and Management of Malocclusion and Dentofacial Deformities, Vol 1&2-Set-E-Book*: Elsevier Health Sciences, 2026.

[41] K. Vinchurkar, S. P. N. Bukke, P. Jain, J. Bhadoria, M. Likhariya, S. Mane, *et al.*, "Advances in sustainable biomaterials: characterizations, and applications in medicine," *Discover Polymers*, vol. 2, p. 2, 2025.

[42] K. Prasad, O. Bazaka, M. Chua, M. Rochford, L. Fedrick, J. Spoor, *et al.*, "Metallic biomaterials: current challenges and opportunities," *Materials*, vol. 10, p. 884, 2017.

[43] S. Punj, J. Singh, and K. Singh, "Ceramic biomaterials: Properties, state of the art and future prospectives," *Ceramics International*, vol. 47, pp. 28059-28074, 2021.

[44] M. Chelu and A. M. Musuc, "Advanced biomedical applications of multifunctional natural and synthetic biomaterials," *Processes*, vol. 11, p. 2696, 2023.

[45] O. O. Ige, L. E. Umoru, and S. Aribo, "Natural products: a minefield of biomaterials," *International Scholarly Research Notices*, vol. 2012, p. 983062, 2012.

[46] S. Samavedi, L. K. Poindexter, M. Van Dyke, and A. S. Goldstein, "Synthetic biomaterials for regenerative medicine applications," in *Regenerative medicine applications in organ transplantation*, ed: Elsevier, 2014, pp. 81-99.
[47] E. Abatenh, B. Gizaw, Z. Tsegaye, and M. Wassie, "The role of microorganisms in bioremediation-A review," *Open Journal of Environmental Biology*, vol. 2, pp. 038-046, 2017.
[48] C.-M. Liu and S.-Y. Wu, "From biomass waste to biofuels and biomaterial building blocks," *Renewable Energy*, vol. 96, pp. 1056-1062, 2016.
[49] G. Coppola, M. T. Gaudio, C. G. Lopresto, V. Calabro, S. Curcio, and S. Chakraborty, "Bioplastic from renewable biomass: a facile solution for a greener environment," *Earth systems and environment*, vol. 5, pp. 231-251, 2021.
[50] R. K. Pavithran, S. G. Reddy, B. S. Kumar, and S. Kugabalasooriar, "Enhancing sustainability in agriculture: natural polymer-based controlled release systems for effective pest management and environmental protection," *ES Food and Agroforestry*, vol. 18, p. 1276, 2024.
[51] J. Song, W. Lyu, K. Kawakami, and K. Ariga, "Bio-gel nanoarchitectonics in tissue engineering," *Nanoscale*, vol. 16, pp. 13230-13246, 2024.
[52] M. Gomez-Florit, A. Pardo, R. M. Domingues, A. L. Graça, P. S. Babo, R. L. Reis, *et al.*, "Natural-based hydrogels for tissue engineering applications," *Molecules*, vol. 25, p. 5858, 2020.
[53] E. M. Ahmed, "Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review," *Journal of advanced research*, vol. 6, pp. 105-121, 2015.
[54] N. S. Said, I. F. Olawuyi, and W. Y. Lee, "Pectin hydrogels: Gel-forming behaviors, mechanisms, and food applications," *Gels*, vol. 9, p. 732, 2023.
[55] J. Baranwal, B. Barse, A. Fais, G. L. Delogu, and A. Kumar, "Biopolymer: A sustainable material for food and medical applications," *Polymers*, vol. 14, p. 983, 2022.
[56] A. Mukherjee and M. Koller, "Microbial polyHydroxyAlkanoate (PHA) biopolymers—Intrinsically natural," *Bioengineering*, vol. 10, p. 855, 2023.
[57] A. Mirzaei, M. Esmkhani, M. Zallaghi, Z. Nezafat, and S. Javanshir, "Biomedical and environmental applications of carrageenan-based hydrogels: a review," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 31, pp. 1679-1705, 2023.
[58] Z. Darban, S. Shahabuddin, R. Gaur, I. Ahmad, and N. Sridewi, "Hydrogel-based adsorbent material for the effective removal of heavy metals from wastewater: A comprehensive review," *Gels*, vol. 8, p. 263, 2022.
[59] G. H. Agbna and S. J. Zaidi, "Hydrogel performance in boosting plant resilience to water stress—a review," *Gels*, vol. 11, p. 276, 2025.
[60] B. Liu, S. Zhang, L. Zhao, C. Zou, and J. Xiu, "Multifunctional bio-gels in environmental remediation: Current advances and future perspectives," *Gels*, vol. 11, p. 864, 2025.

الفصل الثاني:

دراسات سابقة

شهدت التطورات الحديثة تصنيع مواد مستدامة وصديقة للبيئة من خلال تثمين مختلف المخلفات الزراعية والمتمثلة في الهلام الحيوي، تتميز هذه الأخيرة بخصائص فريدة من بينها الكفاءة الفائقة لامتصاص الملوثات من المياه، مسامية عالية، التوافق الحيوي، المرونة والعزل الحراري، حيث يمكن استخدامها أيضا في العديد من التطبيقات الطبية، الصناعية، الزراعية والغذائية؛ وعلى ضوء ما تقدم تطرقنا في هذا الفصل الى مراجعة العديد من الدراسات والتي تمحورت حول آليات انتاج الهيدروجيل أو الهلام الحيوي من مختلف المخلفات الزراعية، آليات توصيفه، وتطبيقاته.

II.1. الدراسة الأولى:[1]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

W. B. Asiru et al.

والذي جاء بعنوان:

Production of Bio-Gel from Waste of Cassava and Maize.

إنتاج الهلام الحيوي من مخلفات الكسافا والذرة.

الهدف من هذه الدراسة:

إعادة تدوير المخلفات الزراعية من خلال إنتاج الهلام الحيوي من مخلفات الكسافا والذرة واعتماده كمصدر للطاقة المتجددة (كوقود بديل).

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الإيثانول الحيوي من المخلفات:

- **أولا:** تم استخدام طريقة التحويل الحمضي للحصول على المسحوق المجفف لكل من الكسافا والذرة.
- **ثانيا:** تم أخذ 1كغ من كل مسحوق ثم وضع كلا على حدا في دورق زجاجي (سعته 5 لتر).
- **ثالثا:** تم إضافة 4 لتر من محلول حمض الكبريت (H_2SO_4) بتركيز 1 مولاري إلى كل عينة حرك المزيج بقضيب زجاجي.

- **رابعا:** عملية التحلل المائي من خلال وضع العينات في حمام مائي عند درجة حرارة 100 درجة مئوية لمدة ساعتين.
- **خامسا:** تم إضافة 400 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز 0.1 مولاري لمعادلة المزيج.
- **سادسا:** تم ترشيح المزيج السابق للحصول على الرشاحة.
- **سابعا:** استخدمت الرشاحة المتحصل عليها في إنتاج الإيثانول عن طريق التخمير من خلال ضبط أسها الهيدروجيني (pH) إلى 5.2 ثم أضيفت لها المكونات التالية: بيبتون، كبريتات المغنيسيوم المائية ($MgSO_4.7H_2O$)، فوسفات البوتاسيوم أحادي الهيدروجين (KH_2PO_4) وكبريتات الأمونيوم ($(NH_4)_2SO_4$)، ثم عقمت في جهاز التعقيم بالبخار (الأوتوكلاف) عند 115 درجة مئوية لمدة 20 دقيقة وبعدها التبريد في درجة حرارة الغرفة. بعدها تم إضافة معلق خلايا الخميرة (Saccharomyces Cerevisiae) بتركيز 50×10^5 خلية/لتر وحضنت الأوساط الملقحة عند 28±2 درجة مئوية لمدة 7 أيام.
- **أخيرا:** تم القيام بعمليتي التقطير والتنقية باستخدام المبخر الدوراني إلى إيثانول مركز.

تحضير الهلام الحيوي:

- **أولا:** تم وضع الإيثانول المُستخلص (200 مل لكل منهما) في خمسة كؤوس.
- **ثانيا:** تم تكوين ماء هلامي من خلال إضافة كميات 1.5، 2.5، 3.5، 4.5، و5.5 غرام من كربوكسي ميثيل السليلوز (CMC) إلى 50 مل من الماء في خمس كؤوس أخرى مع التخليط الجيد.
- **ثالثا:** إضافة 200 مل من إيثانول المحضر تدريجيا إلى كل كأس يحتوي على الماء الهلامي وتركت العينات لمدة 48 ساعة.
- **أخيرا:** مقارنة الهلام المنتج مع هلام حيوي تجاري تم شراؤه من السوق.

القيام بالقياسات والتحاليل:

- **أولا:** تحديد مردود الإيثانول.
- **ثانيا:** تحديد النسبة المئوية للإيثانول من خلال الكثافة النوعية.
- **ثالثا:** تحديد الرقم الهيدروجيني (التركيز الأيوني) بواسطة جهاز قياس الرقم الهيدروجيني.
- **رابعا:** تحديد الكثافة النوعية باستخدام زجاجة قياس الكثافة النوعية.
- **أخيرا:** تحديد إجمالي المواد الصلبة الذائبة باستخدام مقياس انكسار يدوي.

نتائج الدراسة:

- كمية الإيثانول المنتجة من قشور الكسافا 757.33 مل عالية مقارنة بكمية الإيثانول المنتجة من الذرة 595.56 مل من رشاحة 3.55 لترًا و3.35 لترًا على التوالي.
- أثبت أن الإيثانول الناتج من كلا المخلفين خصائصه قريبة جدا من الإيثانول التجاري.
- العينتين S4 وS5 اللتان تحتويان على 4.5 و5.5 غرام من CMC قريبتان جدا من عينة التحكم التجارية من حيث خصائصهما، ولكن العينة المثالية هي S5.

استنتاجات الدراسة:

يعتبر وقود الهلام الحيوي مصدرا بديلا للوقود الأحفوري، كما يعد موردا اقتصاديا وصديقا للبيئة نظرا لمصدره الأساسي، والتي تعتبر مواد معاد تدويرها بنسبة 100% من المخلفات الزراعية.

2.II. الدراسة الثانية:[2]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

C.A. Garc á-Gonz ález et al.

والذي جاء بعنوان:

Supercritical drying of aerogels using CO_2: Effect of extraction time on the end material textural properties.

التجفيف فوق الحرج للهلاميات الهوائية باستخدام ثاني أكسيد الكربون: تأثير مدة الاستخلاص على الخصائص النسيجية النهائية للمادة.

الهدف من هذه الدراسة:

دراسة تأثير تقنية التجفيف فوق الحرج باستخدام ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من حيث مدة الاستخلاص على خصائص الهلاميات الهوائية (المساحة السطحية وحجم المسام) والعمل على تحسينها.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير المواد الأولية:

- **أولا:** تم تحضير كتل السليكا المتجانسة باتباع عملية سول–جل (تم خلط رباعي ميثيل أورثوسيليكات (TMOS) مع الميثانول، الماء وحمض الهيدروكلوريك، تليها إضافة المزيد من الماء ومحلول الأمونيا).

- **ثانيا:** تحضير كريات السليكا الهلامية الدقيقة عن طريق دمج عملية سول–جل مع تقنية المستحلب.

- **أخيرا:** تحضير هيدروجيل النشا المتجانس من خلال تسخين خليط النشا والماء عند 393 كلفن وضغط 1–2 بار لمدة 20 دقيقة، ثم يبرد ويحقن في قوالب ويترك في الثلاجة عند 277 كلفن لمدة 48 ساعة، بعد ذلك يتم نقعه في الإيثانول كمذيب مرتين للحصول على الألكوجيل.

التجفيف الديناميكي فوق الحرج للهلاميات:

- **أولا:** وضع الهلام الكحولي في الوعاء الخاص بجهاز (Applied Separations Spe-ed SFE) مع 14 مل من الإيثانول لمنع تبخر المذيب أو انكماش المادة الصلبة.

- **ثانيا:** ضبطت درجة حرارة الوعاء على 318 كلفن وغلقه لمدة 20 دقيقة.

- **ثالثا:** ضغط النظام بغاز CO_2 حتى 11.0 ميجا باسكال بواسطة مضخة تعمل بالهواء.

- **أخيرا:** فصل التيارين بتهوية غاز CO_2 إلى المحيط وتجميع أجزاء الطور الغني بالإيثانول في قوارير مبردة بالثلج الجاف.

القيام بالقياسات والتحاليل:

- **أولا:** معالجة بيانات التجفيف من خلال وزن العينة قبل وبعد التجفيف لمعرفة كمية الإيثانول المتبقية.

- **ثانيا:** توصيف المواد الناتجة بتحديد الخصائص النسيجية (مساحة السطح النوعية، حجم المسام ومتوسط قطر المسام) للهلاميات الهوائية باستخدام جهاز إزالة النيتروجين عند درجة حرارة منخفضة (Nova 3000e).

نتائج الدراسة:

- عملية التجفيف فوق الحرج تعتمد على مزيج بين آليتين الحمل الحراري والانتشار.

- تبين أنه كلما زاد وقت التجفيف وقلت كمية المذيب المتبقي زاد تأثير الانتشار.
- أظهرت منحنيات التجفيف أن اختلاف سرعة التجفيف راجع لنوع المادة (السليكا تجف أسرع من النشا)، وكذلك أثبت أن استخدام جزيئات صغيرة (كريات مجهرية) عوض قطع كبيرة يسرّع عملية التجفيف بشكل كبير.
- أظهرت الدراسة أن تجفيف الهدروجيل الهوائي لساعات طويلة (ساعتين كافية للسيليكا وساعة واحدة كافية للنشا)، يؤدي إلى الحاق الضرر بخصائصها.

استنتاجات الدراسة:

الزيادة في وقت التجفيف فوق الحرج ليست الأفضل، لكن لكل مادة وقت مثالي وتجاوزه قد يتسبب بضرر في جودة الهيدروجيل الهوائي المنتج.

II.3. الدراسة الثالثة:[3]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Jia Yang et al.

والذي جاء بعنوان:

Freezing-Tolerant and Robust Gelatin-Based Supramolecular Conductive Hydrogels with Double-Network Structure for Wearable Sensors.

هيدروجيلات موصلة فائقة الجزيئية قائمة على الجيلاتين، متحملة للتجميد وذات متانة عالية، ذات بنية شبكة مزدوجة، لتطبيقات المستشعرات القابلة للارتداء.

الهدف من هذه الدراسة:

تصنيع وتطوير هيدروجيل موصل فوق جزيئي قوي، قابل للتمدد ومقاوم للتجمد بحيث يمكن استخدامه في الإلكترونيات الذكية القابلة للارتداء.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الهيدروجيلات:

- **أولا:** في مفاعل وضعت أربعة مواد رئيسية الجيلاتين، حمض الهيالورونيك، كلوريد البوتاسيوم، مادة إيرغاكيور (1% من مونومر حمض الهيالورونيك) مع محلول من الماء منزوع الأيونات والجلسرين مع التحريك.
- **ثانيا:** تسخين المزيج عند درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة ساعة واحدة.
- **ثالثا:** تبريد المزيج إلى 4 درجات مئوية لمدة ساعة واحدة لتكوين هلام الجيلاتين.
- **أخيرا:** تعريض المزيج للأشعة فوق البنفسجية (طول موجي 365 نانومتر وشدة 8 واط) لمدة ساعة لتشكيل هلام موصل فوق جزيئي من PHA/Gela/Gly.

الاختبارات الميكانيكية:

- **أولا:** باستخدام جهاز اختبار تم شد أحادي المحور على عينات هلامية على شكل دمبل لقياس قوة التحمل ومعامل المرونة.
- **ثانيا:** تحميل وتفريغ متكرر للعينات عن طريق تمديد عينة الجل بنسبة تمديد (λ، وهي نسبة l إلى l_0) بسرعة 100 مم/دقيقة، ثم تفريغها بنفس السرعة لتحديد نسبتي الطاقة المبددة وطاقة الاستعادة.

توصيف واختبار العينات:

- **أولا:** تم فحص التركيب الكيميائي لعينات حمض الهيالورونيك والجيلاتين والهلام المجفف بواسطة جهاز FTIR spectra.
- **ثانيا:** تم تغيير درجة الحرارة بشكل دوري (-15 إلى 60 درجة مئوية) عند تردد 10 راديان/ثانية وإجهاد 0.1% من أجل اختبار تأثير درجة الحرارة.
- **أخيرا:** تم قطع عينات الهلام إلى أقراص بقطر 25 مم وسماكة 1 مم لإجراء الاختبارات الريولوجية.

الاختبارات الكهربائية:

- **أولا:** قياس الموصلية الأيونية لعينات الجل باستخدام نظام كهروكيميائي متطور.

- **ثانيا:** تسجيل الإشارات الكهربائية للجل الموصل باستخدام جهاز اختبار مقاومة التيار المستمر بهدف معرفة تغيرات المقاومة للجل الموصل في حالات مختلفة.
- **ثالثا:** اختبار مقاومة التجمد للخواص الميكانيكية والحساسية بوضع عينات الجل في ثلاجة عند درجة حرارة (−40 °C) لمدة ساعة واحدة.
- **أخيرا:** اختبار مقاومة التجمد للتوصيل الكهربائي بوضع عينات الجل في ثلاجة عند درجات حرارة مختلفة (−40 إلى 0 °C) لمدة ساعة واحدة.

نتائج الدراسة:

- تم بنجاح تصنيع هلام موصل قوي جدا (قوة شد 1.97 ميجا باسكال)، مرن جدا (قابلية تمدد بنسبة 42.02%)، مقاوم للتجمد (استعادة بنسبة 71% بعد دقيقتين) حتى عند درجة حرارة (−40 °C)، موصلية أيونية تبلغ 2.23 سيمنز/متر.
- بنية شبكية مزدوجة انطلاقا من مزيج بين الجيلاتين والجليسيرول مع PHA بواسطة طريقة بسيطة.

استنتاجات الدراسة:

يمكن استخدام الهلام الموصل الأيوني في الأجهزة القابلة للارتداء والتي تعمل في المناطق الباردة جدا كأجهزة الاستشعار الرياضية والأجهزة الطبية لمراقبة مرضى وغيرها نظرا لخصائصه الميكانيكية، الكيميائية، الريولوجية والكهربائية الممتازة.

II.4. الدراسة الرابعة:[4]

بالاستناد إلى المقال المنجز من طرف الباحثين:

Jean Paulo de Oliveira et al.

والذي جاء بعنوان:

Cellulose nanocrystals from rice and oat husks and their application in aerogels for food packaging.

بلورات السليلوز النانوية المستخلصة من قشور الأرز والشوفان وتطبيقاتها في الهلاميات الهوائية لتغليف المواد الغذائية.

الهدف من هذه الدراسة:

تثمين قشور الأرز والشوفان من خلال استخلاص بلورات السليلوز النانوية لإنتاج الهلاميات الهوائية واستخدامها في تغليف الأغذية وحفظها من المؤثرات الخارجية.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير بلورات السليلوز النانوية:

- **أولا:** إضافة 100 غ من عينة السليلوز إلى 2 لتر من محلول أسيتات الصوديوم (0.05 مول/لتر) بدرجة حموضة 5 و2 مل من محلول إنزيم السليولاز ريسي (≤700 وحدة/غرام).
- **ثانيا:** حفظ المزيج عند 37 درجة مئوية في حمام حراري مع التحريك الميكانيكي لمدة 5 أيام (التحلل الانزيمي).
- **ثالثا:** تجنيس المزيج لـ 30 دورة عند ضغط 15 ميجا باسكال.
- **أخيرا:** تخزين البلورات النانوية عند درجة حرارة 5 درجات.

توصيف بلورات السليلوز النانوية:

- **أولا:** تحديد مورفولوجيا بلورات السليلوز النانوية باستخدام مجهر إلكتروني نافذ (TEM).
- **ثانيا:** تحليل بلورات السليلوز النانوية باستخدام مطياف FTIR.
- **ثالثا:** فحص درجة التبلور النسبية لبلورات السليلوز النانوية باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية XRD.
- **أخيرا:** إجراء التحليل الحراري لبلورات السليلوز النانوية باستخدام محلل الوزن الحراري (TGA).

تحضير الهلاميات الهوائية:

- **أولا:** تحضير معلق مائي من بلورات السليلوز النانوية بتركيز 2% (وزن/حجم) مع التحريك المغناطيسي في حمام مائي عند 35 درجة مئوية لمدة ساعة واحدة.
- **ثانيا:** تحضير معلق مائي من PVA بتركيز 21% (وزن/حجم) عن طريق التسخين مع التحريك المغناطيسي في حمام مائي عند 90 درجة مئوية لمدة ساعة واحدة.

- **ثالثا:** خلط المحلولين معا مع التحريك حتى يصبح الخليط متجانسا ليتحول إلى هلام.

- **رابعا:** الربط الفيزيائي بإضافة عينة من الهلام (25 غ) إلى ألواح أكريليك قطرها 6 سم. ثم القيام بعمليتي التجميد الهلام عند (20- درجة مئوية) واذابته في درجة حرارة الغرفة (حوالي 25 درجة مئوية) وتم تكرير هذه العملية خمس مرات.

- **اخيرا:** تجميد الهلام الهوائي مرة أخرى في مجمد فائق الحرارة ثم التجفيف بالتجميد.

توصيف الهلاميات الهوائية:

- **أولا:** فحص مورفولوجيا الهلاميات الهوائية باستخدام مجهر إلكتروني ماسح SEM.
- **ثانيا:** تحديد درجة التبلور النسبية للهلاميات الهوائية باستخدام مطياف حيود الأشعة السينية XRD.

- **ثالثا:** التحليل الكيميائي للهلاميات الهوائية باستخدام مطياف FTIR.

- **رابعا:** تحديد الاستقرار الحراري للهلاميات الهوائية باستخدام محلل الوزن الحراري (TGA).

- **خامسا:** تقييم قدرة امتصاص الماء (WAC) من طرف الهلاميات الهوائية.

- **أخيرا:** تم تقييم استقرار الهلام الهوائي في المعلق من خلال قياس جهد زيتا باستخدام جهاز Zetasizer Nanoseries Nano-Z.

التحليل الإحصائي:

- **أولا:** تم إجراء التحليلات الإحصائية للعينات ثلاث مرات.

- **اخيرا:** مقارنة نتائج اختبار توكي عند مستوى دلالة 5% باستخدام تحليل التباين (ANOVA).

نتائج الدراسة:

- تصنيع بلورات السليلوز النانوية من المخلفات الزراعية لقشور الأرز والشوفان عن طريق التحلل المائي الأنزيمي واستخدامها في تصنيع هلاميات الهوائية.

- أظهرت النتائج أن الهلام الهوائي المصنوع من بلورات السليلوز النانوية المستخلصة من الأرز أعلى قدرة على امتصاص للماء (402.8%).

استنتاجات الدراسة:

الهلاميات الهوائية المصنوعة انطلاقا من بلورات السليلوز النانوية لها قدرة امتصاص عالية، ومنه يمكن تطبيقها في العديد من المجالات الصناعية كتغليف الأغذية وحفظها.

II.5. الدراسة الخامسة:[5]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Xiwen Zhang et al.

والذي جاء بعنوان:

Fabrication and Properties of Hybrid Coffee-Cellulose Aerogels from Spent Coffee Grounds.

تصنيع ودراسة خصائص الهلاميات الهوائية الهجينة المصنوعة من بقايا القهوة والسليلوز، الهلاميات الهوائية من بقايا القهوة.

الهدف من هذه الدراسة:

تصنيع وتطوير مادة هلامية هوائية من نفايات القهوة المطحونة والسليلوز والقابلة للتحلل الحيوي بالكامل.

لخصت هذه الدراسة إلى ما يلي:

تحضير الهلاميات الهوائية الهجينة:

- **أولا:** خلط كمية مناسبة من الماء مع بقايا القهوة لتكوين عجينة ثم إضافة ألياف القطن.
- **ثانيا:** تحضير محلول مائي من بولي فينيل الكحول (PVA) بتركيز 5%.
- **ثالثا:** معالجة المحلول باستخدام الموجات فوق الصوتية لمدة 30 دقيقة عند قدرة 200 واط.
- **رابعا:** صب المحلول في قوالب وتجميده.

- **أخيرا:** التجفيف بالتجميد للعينة لإزالة جميع السوائل الناتجة عن التسامي.

تعديل السطح:

- **أولا:** وضع الهلام الهوائي المحب للماء في وعاء محكم الإغلاق مع تسخين إلى 70 درجة مئوية لمدة 24 ساعة في فرن.
- **أخيرا:** ثم تم الحصول على هلام هوائي كاره للماء بعد الترسيب.

التوصيف ودراسة الخصائص:

- **أولا:** حساب الكثافة ومسامية الهلاميات الهوائية باستخدام وزنها وأبعادها، وكثافة مخلفات القهوة، وكثافة ألياف القطن، وكثافة بولي فينيل الكحول (PVA).
- **ثانيا:** استخدام المجهر الإلكتروني الماسح لملاحظة مورفولوجيا سطح الهلاميات الهوائية.
- **ثالثا:** قياس التوصيل الحراري على سطح الهلاميات الهوائية باستخدام محلل التوصيل الحراري.
- **رابعا:** دراسة قدرة الهلاميات الهوائية على امتصاص الزيت بحساب سعة الامتصاص.
- **أخيرا:** اختبار الخواص الميكانيكية للهلام الهوائي باستخدام ميكرومتر.

نتائج الدراسة:

- تصنيع هلاميات هوائية هجينة من القهوة والقطن (تركيز ألياف القطن بنسبة 0.50% وزنا) قابلة للتحلل الحيوي بأقل تكلفة قابلة للتحلل الحيوي بالكامل.
- أظهرت الدراسة أن الهلام المنتج له خصائص ممتازة بما في ذلك قدرة امتصاص الزيت (16 جم/جم)، والعزل الحراري (بين 0.037 و0.045 واط/متر. كلفن)، والخواص الميكانيكية.

استنتاجات الدراسة:

يعتبر الهلام الهوائي الهجين من القهوة والقطن مادة واعدة وصديقة للبيئة، وله تطبيقات مستقبلية في العديد من المجالات أهمها العزل الحراري وامتصاص الزيوت.

II.6. الدراسة السادسة:[6]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Luisa F. Mart ńez et al.

والذي جاء بعنوان:

Banana peel bio-waste hydrogels modified with carboxymethyl groups for the removal of cationic dyes.

هيدروجيلات نفايات حيوية من قشور الموز معدلة بمجموعات الكربوكسي ميثيل وتقييم فعاليتها في إزالة الأصباغ موجبة الشحنة.

الهدف من هذه الدراسة:

تصنيع وتطوير هيدروجيلات انطلاقا من مخلفات قشر الموز دون اللجوء إلى استخلاص السليلوز النقي، دراسة إمكانية استخدامها في إزالة الأصباغ الكاتيونية.

لخصت هذه الدراسة الى ما يلي:

تحضير السليلوز النقي:

- **أولا:** القيام بالمعالجة القلوية لقشور الموز المجففة والمطحونة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 15% لمدة ساعتين.
- **ثانيا:** القيام بالتبييض بمعالجة المادة الناتجة بمحلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز 1.5% لمدة ساعة واحدة.
- **ثالثا:** إجراء المعالجة الحمضية للمادة بإضافة حمض الكبريتيك بتركيز 0.65% لمدة ساعة واحدة.
- **أخيرا:** تنقية العينات من خلال غسلها بالماء المقطر وتجفيفها لمدة 72 ساعة عند 50 درجة مئوية في فرن.

التعديل الكيميائي للعينات (CS النقي أو BP الخام):

- **أولا:** المعالجة القلوية للعينة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 30% لمدة ساعة واحدة.

- **ثانيا:** إجراء أسترة العينة من خلال إضافة حمض الكلورواسيتيك تحت الارتداد لمدة ساعتين عند 55 درجة مئوية.
- **ثالثا:** معادلة المحلول الناتج بحمض الأسيتيك.
- **أخيرا:** التنقية من خلال غسل المادة (CS-CMC و BP-CMC) بـ إيثانول 96% وتجفيفها 72 ساعة عند 50 درجة مئوية.

تحضير الهيدروجيلات:

- **أولا:** ربط المواد (CS-CMC و BP-CMC) ببعضها عن طريق تشتيت العينة في 50 مل من الماء المقطر، متبوعا بإضافة 0.1 غرام من CA لكل غرام من المادة.
- **أخيرا:** إجراء تفاعل الأسترة عن طريق التسخين لمدة ساعة واحدة عند 80 درجة مئوية لتكوين CS-CMC-CA و BP-CMCCA.

قدرة الاحتفاظ بالصبغة:

- **أولا:** وضع 0.1 غرام من كل مادة (BP-CMC-CA / CS-CMC-CA) بشكل منفصل.
- **ثانيا:** إضافة 10 مل من محلول الصبغة (أزرق الميثيلين أو سفرانين) بتركيز 100 مغ/لتر مع التحريك المستمر لمدة ساعتين بسرعة 150 دورة في الدقيقة.
- **ثالثا:** وضع العينات لمدة 24 ساعة في حمام حراري عند 25 درجة مئوية.
- **أخيرا:** تحديد تركيز الصبغة في المحلول الطافي باستخدام منحنى معايرة مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية.

نتائج الدراسة:

- تصنيع هيدروجيلات CS ومادة BP الليغنوسليلوزية المعدلة بمجموعات الكربوكسي ميثيل والمتشابكة مع CA انطلاقا من قشور الموز.
- أظهرت النتائج أن المادة المصنوعة من القشر الخام (BP-CMC-CA) لها كفاءة عالية من حيث إزالة الأصباغ حيث إزالة 92.5% من صبغة السفرانين وإزالة 88.9% من صبغة أزرق الميثيلين.

استنتاجات الدراسة:

يمكن تثمين مخلفات قشر الموز من خلال تصنيع مواد ماصة فعالة لمعالجة المياه الملوثة بالأصباغ الصناعية، والتخلص من المخلفات الزراعية وتنقية المياه من الملوثات العضوية بتكلفة أقل بفضل عدم الحاجة لاستخلاص السليلوز على عكس الطرق التقليدية.

II.7. الدراسة السابعة:[7]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Thierry Woignier et al.

والذي جاء بعنوان:

Densification and Strengthening of Aerogels by Sintering Heat Treatments or Plastic Compression.

تعزيز الكثافة والخواص الميكانيكية للإيروجيلات باستخدام التلبيد الحراري أو الضغط البلاستيكي.

الهدف من هذه الدراسة:

مقارنة آليتين مختلفتين لتقليل مسامية هلاميات السليكا الهوائية (Silica Aerogels) وزيادة كثافتها باستخدام التلبيد أو الضغط البلاستيكي من خلال التركيز على التغيرات الميكانيكية.

لخصت هذه الدراسة الى ما يلي:

تحضير هلاميات السليكا:

- **أولا:** التحليل المائي لرباعي ميثوكسي سيلان (TMOS) في ظروف متعادلة.
- **ثانيا:** تم تقليب خليط TMOS– إيثانول– ماء لمدة 30 دقيقة، ثم ترك لمدة أسبوع في درجة حرارة الغرفة.
- **أخيرا:** تجفيف العينات بطريقة فوق الحرجة عند 305 درجة مئوية و13 ميجا باسكال.

آلية التكثيف:

- **أولا:** القيام بالتلبيد الحراري بتعريض العينات لمعالجات حرارية في الهواء في نطاق درجات حرارة 750–1050 درجة مئوية.
- **ثانيا:** القيام بالضغط الإيزوستاتيكي باستخدام جهاز قياس مسامية بالزئبق بتطبيق ضغط الزئبق من 0.1 إلى 100 ميجا باسكال على العينات في درجة حرارة الغرفة.

- **أخيرا:** ضغط العينات إلى ضغط محدد بمعدل 1 ميجا باسكال/دقيقة، وبعد تخفيف الضغط، ثم قياس الانكماش الحجمي غير العكوس بدقة من مستوى الزئبق باستخدام جهاز بصري خاص (مقياس الانكماش، SIMPO-Bouty، باريس، فرنسا).

قياسات الخواص المرنة والميكانيكية:

- **أولا:** قياس معامل يونغ المرن (E) ومعامل التمزق (σ) للعينات باستخدام تقنية الانحناء ثلاثي النقاط باستخدام جهاز اختبار ميكانيكي.
- **أخيرا:** تم تحديد سرعة الصوت للمادة بتحديد زمن التأخير في الانتشار بين أوجه العينة التي تنتشر فيها موجة نبضية باستخدام مجموعة من المحولات.

نتائج الدراسة:

- أتاحت آلية تلبيد الهلاميات الهوائية إلى تصنيع مواد صلبة مسامية ومتجانسة ولكن في درجة حرارة عالية.
- تتيح آلية التكثيف بالضغط للهلاميات وسيلة جديدة لتصنيع الزجاج المسامي في درجة حرارة الغرفة وكذلك تحضير مواد مركبة من مكونات ليس لها قدرة على تحمل درجات الحرارة العالية.

استنتاجات الدراسة:

الضغط الإيزوستاتيكي طريقة فريدة لتصنيع الزجاج المسامي في درجة حرارة الغرفة، مما يجعله مثالياً لتطبيقات حساسة للحرارة مثل: تثبيت الأدوية، الأنواع البيولوجية، أو الليزرات الصبغية داخل مسام الهلاميات الهوائية، بينما التلبيد الحراري يمنح أقصى صلابة ميكانيكية مما يجعله مثاليا في تطبيقات العزل الحراري.

II.8. الدراسة الثامنة:[8]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Akhmad Adi Sulianto et al.

والذي جاء بعنوان:

From Fruit Waste to Hydrogels for Agricultural Applications.

من مخلفات الفاكهة إلى الهيدروجيلات للتطبيقات الزراعية.

الهدف من هذه الدراسة:

تثمين مخلفات الفواكه (قشور التفاح والبرتقال) في تصنيع الهيدروجيلات واستخدامها لتحسين فعالية المواد الكيميائية الزراعية والمياه.

لخصت هذه الدراسة الى ما يلي:

استخلاص البكتين من قشور التفاح والبرتقال:

- **أولا:** غسل 800 غرام من قشور البرتقال و800 غرام من قشور التفاح بماء الصنبور، ثم تجفيفها في فرن عند 70 درجة مئوية حتى الوصول إلى وزن ثابت.
- **ثانيا:** وضع المادة الجافة في دورق سعة 10 لتر يحتوي على محلول مائي من حمض الستريك (الأس الهيدروجيني 1.5).
- **ثالثا:** تسخين المزيج عند 80 درجة مئوية مع التحريك المستمر لمدة 40 دقيقة، ثم ترشيحه لإزالة الجزء الصلب.
- **رابعا:** إضافة الإيثانول إلى المحلول المرشح وتركه لمدة 12 ساعة لترسيب البكتين.
- **أخيرا:** ترشيح المزيج مرة أخرى، واستخلاص البكتين وتجفيفه في فرن عند درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 36 ساعة، ثم طحن ميكانيكيا إلى مسحوق.

استخلاص النشا من قشور الموز:

- **أولا:** أخذ 1600 غرام من قشور الموز، وتمت تنقيته وتقطيعه إلى قطع صغيرة، ثم جفف في الفرن عند 70 درجة مئوية.
- **ثانيا:** إضافة محلول من 0.2% ميتابيسلفيت الصوديوم إلى الكتلة الحيوية المجففة مع الخلط باستخدام جهاز تجنيس لمدة 25 دقيقة.
- **أخيرا:** ترشيح الخليط ثم جمع الراسب "النشاء" وتجفيفه في الفرن عند 60 درجة مئوية لمدة يوم واحد.

تحضير الهيدروجيلات القائمة على البكتين والنشا:

- **واحد:** تحضير هيدروجيلات البكتين PEC عن طريق التشابك باستخدام كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$).
- **ثانيا:** تحضير هيدروجيل النشاء (جيلاتين) STA بالتسخين عند 90 درجة مئوية وبإضافة كحول البولي فينيل (PVA) بتركيز 10% وزن/حجم.

- **أخيرا:** تحضير هيدروجيل البكتين والنشاء PEC–STA عن طريق التشابك باستخدام ثلاثي ميتافوسفات الصوديوم.

التوصيف والاختبارات:

- **أولا:** تحديد الخواص الميكانيكية للهيدروجيلات باستخدام محلل النسيج.
- **ثانيا:** دراسة تغير مورفولوجيا السطح والبنية الداخلية للهيدروجيلات باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح.
- **ثالثا:** تحليل التركيب الكيميائي للبكتين باستخدام FTIR.
- **رابعا:** تقييم كفاءة الاحتفاظ بالماء من خلال خلط 4 غرام من كل هيدروجيل (النشا، البكتين، البكتين+ النشا) مع تربة رملية وقياس الرطوبة عبر 14 يوما.
- **خامسا:** تقدير مسامية الهيدروجيل باتباع طريقة استبدال المذيب.
- **سادسا:** فحص معدل بقاء مبيد الأعشاب البيكلورام في التربة الرملية لكل هيدروجيل بإضافة 1500 جزء/مليون من المبيد وقياس تركيزه المتبقي في التربة لمدة 30 يوماً وتم التحليل باستخدام جهاز كروماتوغرافيا سائلة عالي الأداء (HPLC).
- **أخيرا:** تم دراسة التحلل البيولوجي في التربة من خلال دفن عينات الهيدروجيل على عمق 5 سم في التربة.

نتائج الدراسة:

- توصلت الدراسة إلى إمكانية تصنيع هيدروجيلات انطلاقا من البكتين والنشا المستخلصين من مخلفات فواكه.
- تبين أن الهيدروجيلات المنتجة تتمتع بانتفاخ كبير يصل إلى 300%، وبقدرة على الاحتفاظ بالماء، والحفاظ عليه لمدة تصل إلى 12 يوما.
- أظهرتالهيدروجيلات أنها قادرة على الحد من حركة مبيدات الأعشاب لمدة تصل إلى 30 يوما في ظل ظروف محكمة.

استنتاجات الدراسة:

يعد تثمين قشور الفواكه في تصنيع هيدروجيلات زراعية حلا مبتكرا ومستداما يمكن استخدامه في حل العديد من المشكلات من بينها حفظ الماء في التربة، أي يسهل عملية الزراعة في المناطق الجافة وكذلك تقليل التلوث بالمبيدات وأهمها إدارة المخلفات.

II.9. الدراسة التاسعة:[9]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Tuan Du Tran et al.

والذي جاء بعنوان:

Green aerogels from rice straw for thermal, acoustic insulation and oil spill cleaning applications.

مواد هلامية خضراء مصنوعة من قش الأرز لتطبيقات العزل الحراري والصوتي وتنظيف بقع الزيت.

الهدف من هذه الدراسة:

تصنيع مواد مبتكرة، صديقة للبيئة ومتعددة الاستخدامات المتمثلة في "هلاميات خضراء" من خلال تثمين المخلفات الزراعية (قش الأرز).

لخصت هذه الدراسة الى مايلي:

تحضير هلاميات السليلوز الهوائية:

- **أولا:** جمع وتنظيف وتجفيف قش الأرز ثم طحنه إلى مسحوق.
- **ثانيا:** إزالة الشمع باستخدام جهاز سوكسلي ومذيب مكون من التولوين والإيثانول لمدة 8 ساعات.
- **ثالثا:** تجفيف المستخلص في فرن عند 600 درجة مئوية للحصول على قش أرز نقي.
- **رابعا:** مزج مسحوق قش الأرز المعالج مع الماء المقطر.
- **خامسا:** إضافة المواد الرابطة لتقوية الهيكل ثلاثي الأبعاد، وفحص كحول البولي فينيل (PVA) والنشا الكاتيوني.
- **سادسا:** تطبيق عملية المعالجة بالموجات فوق الصوتية لمدة 10 دقائق لتحريك الألياف وتجانس الخليط.
- **أخيرا:** تم تجميد المعلق الناتج لمدة 6 ساعات، ثم تجفيفه بالتجميد تحت ضغط فراغي لمدة 36 ساعة للحصول على عينات الهلام الهوائي.

طلاء عينات الهلام الهوائي بمادة كارهة للماء:

- **أولا:** وضع عينات من هلام قش الأرز الهوائي في زجاجة.
- **ثانيا:** وضع قارورة زجاجية صغيرة مفتوحة تحتوي على مادة ميثيل تريميثوكسي سيلان (MTMS) داخل الزجاجة السابقة.
- **ثالثا:** تسخين العينات في فرن عند 70 درجة مئوية لمدة 5 ساعات.
- **أخيرا:** وضع الزجاجة في خزانة تهوية لإزالة فائض مادة MTMS ومنه الحصول على عينات الهلام الهوائي الكارهة للماء.

توصيف العينات:

- **أولا:** فحص مورفولوجيا عينات الهلام الهوائي باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM).
- **ثانيا:** توصيف البنية الكيميائية للهلام الهوائي باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR).
- **ثالثا:** تحليل الثبات الحراري للعينات باستخدام التحليل الحراري الوزني (TGA).
- **رابعا:** قياس الموصلية الحرارية للعينات عند درجة حرارة الغرفة باستخدام محلل الموصلية الحرارية (C-Therm TCi).
- **خامسا:** تحديد خاصية كراهية الماء للهلاميات الهوائية بقياس زاوية التلامس مع الماء (WCA) باستخدام مقياس الزوايا (VCA Optima).
- **أخيرا:** تحديد الخصائص الميكانيكية من خلال اختبار الضغط باستخدام ميكرومتر.

نتائج الدراسة:

- تصنيع هلامية خضراء انطلاقا من قش الأرز تتميز بخفة وزنها الفائقة، ومساميتها العالية، ومقاومتها للماء.
- تميزت العينات المنتجة بقدرتها العالية على العزل الحراري والصوتي، وكفاءتها العالية في امتصاص الزيوت (تصل إلى 13 غ/غ).

استنتاجات الدراسة:

إن هلام قش الأرز بديل مثالي لمواد العزل الحراري والصوتي التقليدية الحالية ومواد امتصاص الزيوت في المستقبل القريب.

II.10. الدراسة العاشرة:[10]

استنادا إلى العمل المنجز من طرف الباحثين:

Victor Baudron et al.

والذي جاء بعنوان:

Production of starch aerogel in form of monoliths and microparticles

إنتاج الهلام الهوائي النشوي على شكل كتل متجانسة وجزيئات دقيقة.

الهدف من هذه الدراسة:

البحث وتطوير عملية إنتاج الهلام الهوائي المصنوع انطلاقا من نوعين من النشاء (نشاء الأميلوميز ونشا البازلاء) والتخلص من محدودية الإنتاج التقليدية.

لخصت هذه الدراسة الى مايلي:

تحضير معجون النشا:

- **أولا:** تعليق النشا في ماء بارد.
- **ثانيا:** تسخين معلق النشا في الماء داخل جهاز الأوتوكلاف تحت ضغط ودرجات حرارة مرتفعة (تصل إلى 140 درجة مئوية).
- **أخيرا:** تم تثبيت درجة الحرارة لمدة 20 دقيقة قبل تبريد المعلق تدريجيا إلى 90 درجة مئوية قبل فتح جهاز التعقيم لتجنب الغليان وفقدان الماء.

دراسة التجلط باستخدام الريولوجيا التذبذبية الصغيرة:

- **أولا:** استخدام جهاز ريومتر تذبذبي لقياس اللزوجة.
- **أخيرا:** دراسة تجلط النشا من خلال تجارب تذبذب صغيرة.

عمليات الاستحلاب الدفعي:

- **أولا:** مزج معجون النشا الساخن مع زيت البارافين (الطور المستمر) باستخدام وعاء مقلب مجهز بأربعة حواجز مع التحريك لمدة 10 دقائق.
- **ثانيا:** تم تبريد عينة بحجم 1 مل بسرعة إلى 3 درجات مئوية لتحفيز التصلب السريع لقطرات المستحلب.

- **ثالثا:** وضع العينة في وعاء مغلف عند 80 درجة مئوية باستخدام PBT عند 400 دورة في الدقيقة لمدة 5 دقائق.
- **رابعا:** استخدام جهاز شبه مستمر (مكون من جهاز تعقيم بسعة 2 لتر مجهز بتقليب ميكانيكي ووعاء زيت حراري) من أجل إنتاج مستحلب خشن باستخدام مطحنة غروانية متصلة كجهاز استحلاب.
- **أخيرا:** تم تبريد المستحلب وتحفيز عملية التجلط لقطرات معجون النشا استخدام مبادل حراري ذو ملف محوري.

قياس توزيع حجم الجسيمات:

- **أولا:** التقاط صور مجهرية بعدسة تكبير عشر مرات للعينة المبردة.
- **ثانيا:** عد كل قطرة/جسيم واحدا تلو الآخر باستخدام برنامج تحليل صور مكتوب بلغة بايثون.
- **ثالثا:** تكرار كل تجربة مرتين، وتتوافق أشرطة الخطأ على حجم القطرة والجسيم الموضحة في الرسوم البيانية مع الانحراف المعياري للتكرارين.
- **أخيرا:** اعتبار dv90 كقيمة تجريبية لأكبر قطرة مستقرة في المستحلب.

الفصل، تبادل المذيبات والتجفيف:

- **أولا:** فصل جزيئات الهلام الدقيقة عن الزيت اعتمادا على قانون الكثافة بإضافة مادة أثقل من الزيت (ماء أو 30% وزناً من الإيثانول).
- **ثانيا:** تبادل المذيبات عن طريق ترسيب الجزيئات في قاع الطبقة المائية، ثم إزالة السائل الطافي وإضافة إيثانول نقي جديد مع التحريك برفق لمدة 10 دقائق وهكذا تُكرر العملية عدة مرات.
- **أخيرا:** تجفيف العينة بواسطة التجفيف فوق الحرج.

نتائج الدراسة:

- أظهرت النتائج إلى أن نشاء الأميلوميز يحتاج حرارة أعلى ليذوب تماماً مقارنة بنشاء البازلاء.
- نشاء البازلاء يتجلط أسرع بكثير من نشا الذرة.
- عند تغيير درجة حرارة التجلط لم يلاحظ أي تأثير على المساحة السطحية النوعية لهلام نشاء الأميلوميز بينما لوحظ مضاعفة المساحة السطحية لهلام نشا البازلاء.

- كما أثبتت الدراسة إمكانية إنتاج جسيمات إيروجيل النشا عالية المسامية باتباع نظام شبه مستمر باستخدام طاحونة غروانية مزودة بمبادل حراري.

استنتاجات الدراسة:

يمكننا إنتاج الهلام الهوائي النشوي بكميات تجارية بسرعة مع المحافظة على الجودة العالية في خط إنتاج مستمر عوض إنتاجه على دفعات صغيرة في المختبر فقط في أوعية صغيرة وبطريقة بطيئة، وبالتالي يفتح طريقا لتطبيقاته الصناعية المتعددة.

ختاما، يعد استغلال النفايات العضوية لإنتاج مواد عالية المسامية محورا رئيسيا للبحث في مجال المواد المستدامة، حيث أظهرت الدراسات الحديثة أن الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية (السليلوز، الليغنين، الكيتين، النشا) تمثل مواد أولية وفيرة ومتجددة ومنخفضة التكلفة لتطوير هلاميات هوائية عالية المسامية.

أبرزت العديد من الدراسات أن الهلاميات الهوائية المشتقة من الكتلة الحيوية تتميز بخصائص فريدة، مثل المسامية العالية جدا (>90%)، والكثافة المنخفضة، ومساحة السطح النوعية الكبيرة، مما يجعلها مناسبة بشكل خاص للتطبيقات المتقدمة مثل: تخزين الطاقة، والحفز، ومعالجة المياه. فعلى سبيل المثال، ينتج تحويل النفايات السليلوزية (قصب السكر، ألياف النسيج، المخلفات الزراعية) إلى هلاميات هوائية مترابطة ذات مساحة سطح نوعية كبيرة وقدرة امتصاص ممتازة.

مراجع الفصل:

[1] W. Asiru, A. Raji, and N. Alausa, "Production of Bio-Gel from Waste of Cassava and Maize," *ARID ZONE JOURNAL OF ENGINEERING, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT*, vol. 21, pp. 303-308, 2025.

[2] J. Yang, X. Sun, Q. Kang, L. Zhu, G. Qin, and Q. Chen, "Freezing-tolerant and robust gelatin-based supramolecular conductive hydrogels with double-network structure for wearable sensors," *Polymer Testing*, vol. 93, p. 106879, 2021.

[3] C. A. Garc á-Gonz ález, M. Camino-Rey, M. Alnaief, C. Zetzl, and I. Smirnova, "Supercritical drying of aerogels using CO2: Effect of extraction time on the end material textural properties," *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 66, pp. 297-306, 2012.

[4] J. P. de Oliveira, G. P. Bruni, S. L. M. El Halal, F. C. Bertoldi, A. R. G. Dias, and E. da Rosa Zavareze, "Cellulose nanocrystals from rice and oat husks and their application in aerogels for food packaging," *International journal of biological macromolecules*, vol. 124, pp. 175-184, 2019.

[5] X. Zhang, L. P. Kwek, D. K. Le, M. S. Tan, and H. M. Duong, "Fabrication and properties of hybrid coffee-cellulose aerogels from spent coffee grounds," *Polymers*, vol. 11, p. 1942, 2019.

[6] L. F. Mart ínez, T. A. Lerma, A. F. Chamorro, and E. M. Combatt, "Banana peel bio-waste hydrogels modified with carboxymethyl groups for the removal of cationic dyes," *J. Sci. Technol. Appl*, vol. 19, pp. 1-4, 2025.

[7] T. Woignier and L. Duffours, "Densification and strengthening of aerogels by sintering heat treatments or plastic compression," *Gels*, vol. 4, p. ,12 .2018

[8] A. Adi Sulianto, I. P. Adiyaksa, Y. Wibisono, E. Khan, A. Ivanov, A. Drannikov, *et al.*, "From fruit waste to hydrogels for agricultural applications," *Clean Technologies*, vol. 6, pp. 1-17, 2023.

[9] S. T. Nguyen, N. D. Do, N. N. T. Thai, Q. B. Thai, H. K. P. Huynh, V. T. T. Nguyen, *et al.*, "Green aerogels from rice straw for thermal, acoustic insulation and oil spill cleaning applications," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 253, p. 123363, 2020.

[10] V. Baudron, M. Taboada, P. Gurikov, I. Smirnova, and S. Whitehouse, "Production of starch aerogel in form of monoliths and microparticles," *Colloid and Polymer Science*, vol. 298, pp. 477-494, 2020.

الجزء

العملي

الفصل الثالث:

المواد والطرق

سنتطرق في هذا الفصل إلى عملية تحضر الهلام الحيوي الهوائي من النفايات العضوية ذات مصدر نباتي، تمت دراسة وتوصيف العينات بواسطة تقنيات التحليل الطيفية بإستخدام جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR) وجهاز الأشعة المرئية وفوق البنفسجية (UV-vis).

تم تنفيذ الجانب التطبيقي للموضوع بوحدة الطاقات المتجددة ومخبر البيوتكنولوجيا المواد الحيوية والمواد المكثفة، بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي.

III.1. المواد والأدوات والأجهزة المستعملة

III.1.1. المواد الكيميائية المستعملة :

نعرض في الجدول (III.1) أهم المواد الكيميائية المستعملة في العمل التجريبي.

الجدول (III.1): المواد الكيميائية المستعملة.

المواد	الصيغة الكيميائية	الكتلة المولية(g/mol)	الشركة المنتجة
الماء المقطر	H_2O	18	/
هيدروكسيد الصوديوم	NaOH	40	BIOCHEM Chemopharma
توين80	$O_{26}H_{124}C_{64}$	1310	BIOCHEM Chemopharma
أزرق الميثيلين	$C_{16}H_{18}ClN_3S$	319.85	BIOCHEM Chemopharma

III.1.2. الأدوات المستعملة:

نستعرض في الجدول (III.2) أهم الأدوات المستعملة في العمل التجريبي.

الجدول (III.2): الأدوات المستعملة.

الأدوات	
أنابيب إختبار	Tubes essai
قمع	Entonnoir

Papier à filter	**ورق ترشيح**
Spatule	**ملعقة**

III.3.1. الأجهزة المستعملة:

نستعرض في **الجدول (3.III)** أهم الأجهزة المستعملة في العمل التجريبي.

الجدول (3.III): الأجهزة المستعملة.

اسم الجهاز	النوع
ميزان إلكتروني حساس	OHAUS
فرن	DIGITHEAT-TFT
مطحنة كهربائية	SAYONA
جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR)	HERMO SCIENTIFIC NICOLET is5 BINDER/USA
جهاز الأشعة المرئية وفوق البنفسجية (UV-vis)	FREDERIKSEN
جهاز **pH** متر	JosLiki Digital PH Meter
جهاز التجفيف بالتبريد (Freeze dryer)	CHRIST

III.2. جمع وتحضير العينات:

تم تجميع النفايات العضوية من مخلفات الخضر والفواكه: قشور الرمان، قشور الليمون، قشور البازلاء الخضراء وقشور الفول الأخضر، ثم تنظيفها لإزالة الشوائب وتجفيفها في الفرن على درجة حرارة (– 60 50درجة مئوية) ومن ثم تم طحنها في مطحنة كهربائية وتغربل لحصول على بودرة ناعمة تحفظ في علبة محكمة الاغلاق الى وقت الاستخدام.

يمثل **الشكل (1.III)** المخلفات المستخدمة في تحضير المادة الأولية.

الشكل (1. III): المخلفات المستخدمة.

- **تحضير قشور الرمان:** يمثل **الشكل (2.III)** مراحل تحضير مسحوق قشور الرمان.

الشكل (2.III): تحضير مسحوق قشور الرمان.

- **تحضير قشور الليمون:** يمثل **الشكل (3.III)** مراحل تحضير مسحوق قشور الليمون.

الشكل (3.III): تحضير مسحوق قشور الليمون.

- **تحضير قشور البازلاء الخضراء:** يمثل **الشكل (4.III)** مراحل تحضير مسحوق قشور البازلاء الخضراء.

الشكل (4.III): تحضير مسحوق قشور البازلاء الخضراء.

- **تحضير قشور الفول الأخضر:** يمثل **الشكل (5.III)** مراحل تحضير مسحوق قشور الفول الأخضر.

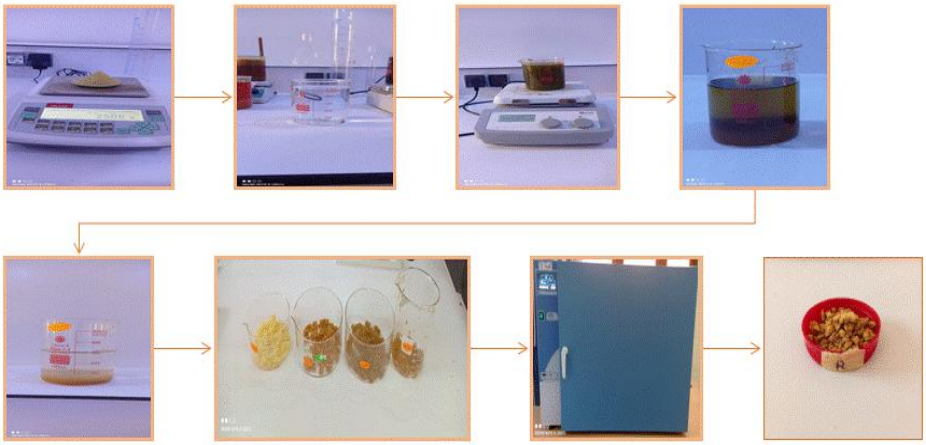
الشكل (5.III): تحضير مسحوق قشور الفول الأخضر.

3.III. تحضير المادة الأولية:

تم تحضير المادة الأولية وفق الدراسة[1]، حيث لخصت في المراحل التالية:

- **أولا:** تم تحضير محلول هيدروكسيد الصوديوم من خلال إذابة 40 g من مسحوق (NaoH)، في 500 ml من الماء المقطر، ثم اضيفت إليه كمية من مسحوق قشور الخضر والفواكه (25 g)، مع تحريك المزيج عند درجة حرارة 45 درجة مئوية لمدة 5 ساعات.
- **ثانيا:** رشح المزيج ويغسل جيدا عدة مرات بالماء المقطر حتى أصبح الراشح عديم اللون، ودرجة حموضة 4.
- **أخيرا:** جفف الجزء الراسب عند 50 درجة مئوية لمدة 24 ساعة، استعدادا لتحضير الهلام الحيوي.

يلخص **الشكل (6.III)** مراحل تحضير المادة الأولية.



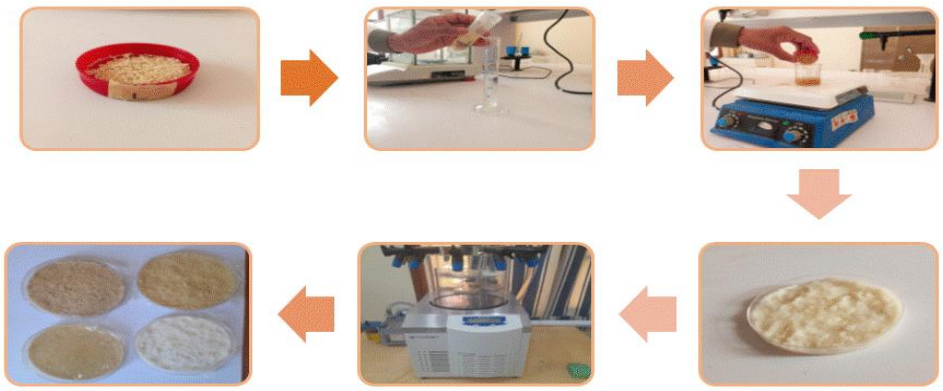
الشكل (6.III): مراحل تحضير المادة الأولية.

4.III. تحضير الهلام الحيوي:

تم تحضير الهلام الحيوي الهوائي وفق بروتوكول الدراسة[1]، حيث لخصت خطوات العمل وفق المراحل:

- **أولا:** خلط 2 g من المستخلص المحضر سابقا، مع 15 ml من الماء المقطر و 3 ml من محلول التوين 80 مع التحريك المستمر لمدة 30 دقيقة في درجة حرارة الغرفة (28 – 30 درجة مئوية).
- **ثانيا:** تم سكب المعلق المتحصل عليه في أطباق بتري، ووضع في المبرد عند درجة حرارة -18 درجة مئوية لمدة 24 ساعة.
- **أخيرا:** تم الحصول على الهلام الحيوي بعد عملية التجفيف بالتجميد عند درجة حرارة -92 درجة مئوية لمدة 48 ساعة.

يمثل **الشكل (7.III)** أهم خطوات تحضير الهلام الحيوي الهوائي.



الشكل (7.III): مراحل تحضير الهلام الحيوي.

III .5. تقنيات التوصيف:

III.1.5. مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

تعتبر مطيافية الأشعة تحت الحمراء أو ما يعرف بالتحليل الطيفي (FTIR) واحدة من أبرز أساليب التحليل دقة وفائدة في توصيف المركبات، كما إنها تعد تقنية آمنة متعددة الاستعمالات تقوم بتحليل النماذج المدروسة في كافة حالاتها الفيزيائية وتتيح أطيافا تستخلص استنتاجات تتعلق بالوظائف الكيميائية للمكونات الرئيسية[2]. أن امتصاص مطياف الأشعة تحت الحمراء يسبب اهتزاز في الذرات المكونة للجزيء، مما يترتب عنه تغييرات في طول نوعية الروابط والجسيمات المتواجدة فيه، ذلك من خلال تحديد طاقة الامتصاص أثناء التحليل الطيفي[3].

توجد علاقة طردية بين الحركات الاهتزازية التذبذبية وعدد الذرات المكونة للجزيء، حيث كلما زاد العدد الذري زادت التعقيدات في التحليل الطيفي للأشعة هذا نتيجة زيادة تداخل الاهتزازت، لتحديد البنية الجزيئية للمركبات العضوية والغير العضوية يتم اجراء تحليل FTIR مع بعض التحاليل الأخرى[4]، كما تم اجراء تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء لتعرف على المجموعات الوظيفية.

يلخص **الجدول (4.III)** أهم التعيينات لأهم المجموعات الوظيفية العضوية.

الجدول (4.III): المجموعات الوظيفية العضوية.

الرابطة	الوظيفة	التردد(cm^{-1})	الاهتزاز
C-H	Alkanes	2960. 2850	تمدد (s) stretch
	Alkenes	1000 .675	منحنى (s) bend
		3020.3080	تمدد (m) stretch
	Alkynes	3333 .3267	تمدد (s) stretch
		610.700	منحنى (b) bend
	Aromatic Rings	3000.3100	تمدد (m) stretch
	Phenyl Ring Substitution Bands	870.675	منحنى (s) bend
	Phenyl Ring Substitution Overtones	2000.1600	(w) fingerprint region
	CH3 Umbrella Deformation	1380	(v) scissoring and bending
C=C	Alkenes	1680.1640	تمدد (m.w) stretch
	Aromatic Rings	1600.1500	تمدد (w) stretch
C≡C	Alkynes	2260.2100	تمدد (w.sh) stretch

(s) stretch تمدد	1760.1670	Aldehydes، Ketones. Carboxylic acids، Esters	O=C
(s) stretch تمدد	1260.1000	Alcohols، Ethers Carboxylic acids، Esters	C-O
(S.br) stretch تمدد	3640.3160	Monomeric . Alcohols. Phenols	O-H
(b) stretch تمدد	3600.3200	Hydrogen.bonded . Alcohols. Phenols	
(b) stretch تمدد	3000.2500	Carboxylic acids	
(m) stretch تمدد	3500.3300	Amines	N-H
(m) bend منحنى	1650.1580		
(m) stretch تمدد	1340.1020	Amines	C-N
(v) stretch تمدد	2260.2220	Nitriles	C≡ *N*
(s) asymmetrical stretch التمدد غير متناظر	1660.1500	Nitro Compounds	NO_2
(s) symmetrical stretch التمدد المتناظر	1390.1260		

الشكل (8.III): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (ATR-FTIR).

2.5.III. مطيافية الأشعة فوق البنفسجية (Uv-vis،Ultraviolet visible spectrophotometer):

تصنف المطيافية المرئية للأشعة فوق البنفسجية (Uv-vis spectrophotometer) على أنها جهاز تحليل طيفي دقيق كما هو موضح في **الشكل (9.III)** يستخدم لقياس شدة امتصاص وتأثير الضوء على المواد، ومن المبادئ التي يرتكز عليها هذا التحليل مبدأ إثارة الالكترونات وهجرتها من الوضع الثابت الى وضع إثارة عقب امتصاص فوتونات الضوء البنفسجي –المرئي[5]، مما يكسبها طاقة اهتزازية تحولها الى طاقة حرارية، تستعمل مطيافية الامتصاص كدلالة لطول الموجة لإظهار الحد الأقصى للامتصاص الذي يتناسب طردا مع التركيز المولي وفق تطبيق قانون Beer-lambert الذي ينص على شدة امتصاص الضوء وعلاقته بطول مسار العينة وتركيزها المولي[6].

-تقديم تفسير رياضي لهاذا القانون كما هو موضح أدناه:

$$Log\ (I_0/I) = \varepsilon Cl \quad (1)$$

حيث:

I_0 : شدة الضوء الساقط، I : شدة الضوء المنقول بواسطة محلول العينة.

C : تركيز العينة، l : طول مسار العينة.

ε : معامل الامتصاص المولي.

تسمى النسبة (I_0 / I) بالنفاذية (T) ويسمى لوغاريتم النسبة العكسية (I_0 / I) بالامتصاصية (A).

الشكل (9.III): جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية(UV-vis).

1.2.5.III. التحليل الضوئي لإزالة صبغة أزرق الميثيلين (MB):

يعد الميثيلين الأزرق أحد أكثر الأصباغ الكاتيونية استخداما في صناعات النسيج والورق والجلود والأدوية، ويمثل إطلاقه غير المنضم في البيئات المائية مصدر قلق بيئي بالغ نظرا لسميته وثباته ومقاومته للتحلل البيولوجي. حتى بتركيزات منخفضة، يمكن لـ MB أن يقلل من نفاذ الضوء في الماء ويؤثر سلبا على النظم البيئية المائية، فضلا عن تسببه في آثار صحية ضارة مثل تهيج العين ومشاكل الجهاز التنفسي واضطرابات الجهاز الهضمي لدى الإنسان[7]، ومن بين تقنيات معالجة مياه الصرف الصحي المختلفة، برز الامتزاز كواحد من أكثر الطرق فعالية واقتصادية وصديقة للبيئة لإزالة الأصباغ، وذلك لبساطته وكفاءته العالية وانخفاض تكلفة تشغيله[8]. في السنوات الأخيرة، حظيت الهلاميات الحيوية المشتقة من الكتلة الحيوية

الليغنوسليلوزية باهتمام كبير كمواد ماصة واعدة، وذلك بفضل مساميتها العالية، وكثافتها المنخفضة، ومساحة سطحها النوعية الكبيرة، ووفرة المجموعات الوظيفية فيها، مثل: مجموعات الهيدروكسيل والكربوكسيل والفينول، القادرة على التفاعل مع جزيئات الصبغة[9]. وتعد المخلفات الزراعية، بما فيها قشور الفاكهة والخضراوات، مواد أولية جذابة بشكل خاص لإنتاج الهلاميات الحيوية، لكونها متجددة، وقابلة للتحلل الحيوي، وغير مكلفة، وغنية بالسليلوز والبكتين. علاوة على ذلك، يمكن للمعالجة القلوية وعمليات التجفيف بالتجميد أن تحسن بشكل ملحوظ الخصائص البنيوية والامتصاصية لهذه المواد، وذلك من خلال زيادة تكوين المسام وكشف مواقع الامتصاص النشطة[10]. لذا، يمثل استخدام الهلاميات الحيوية المحضرة من المخلفات الزراعية لإزالة الميثيلين الأزرق استراتيجية مستدامة وصديقة للبيئة لمعالجة مياه الصرف الصحي واستغلال الكتلة الحيوية، حيث تعتمد آلية إزالة الميثيلين الأزرق بواسطة الهلاميات الحيوية الهوائية بشكل أساسي على التجاذب الكهروستاتيكي بين المجموعات الوظيفية سالبة الشحنة على سطح الهلام وجزيئات الصبغة موجبة الشحنة، بالإضافة إلى الروابط الهيدروجينية، وانتشار المسام، وتفاعلات π–π مع البنى العطرية الموجودة في اللجنين والمركبات الفينولية.

وبناء على ذلك فقط تم قياس التباين في تركيز صبغة MB بين المحلول الابتدائي والمحلول بعد اجراء اختبار التحليل الضوئي لتقييم مدى الامتصاص اعتمادا على العلاقة التالية[11]:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

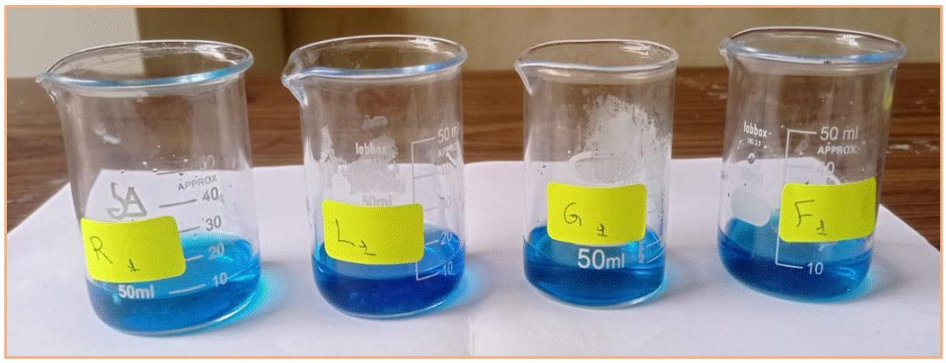
يشار الى تركيز التوازن للصيغة الممتزة بالرمز q_e (mg/g)، بينما يمثل تركيزي البداية والتوازن لمحلول الصبغة بالرمزين C_0 و C_t (mg/ L) على التوالي، وفي هذا السياق يتم الإشارة الى الرمز m بوزن الهلامات الحيوية المستخدمة (g) ويشار الى حجم محلول الصبغة بالرمز V بوحدة (L) ، وتتم مراقبة التقدم باستخدام جهاز مطياف الأشعة فوق البنفسجية – المرئية (UV-vis)، وعند وضع الهلام الحيوي في خليط التفاعل تخضع الصبغة لعملية اختزال محفزة، تم استعمال المعادلة (3) لحساب كفاءة التحلل الضوئي (%) لصبغة MB [11]:

$$Degradation\ ratio\ (\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \dots\dots\dots\dots (3)$$

III.2.2.5. تجربة إزالة صبغة أزرق الميثيلين (*BM*):

تم تحديد النشاط التحفيزي الضوئي من خلال التحلل الضوئي لصبغة الميثيلين الأزرق في محلول مائي تحت ضوء الشمس، وقبل التعرض لإضاءة تم مزج 10 مل من محلول الصبغة بتركيز 6×10^{-5} مول/لتر مع كمية كافية من المادة المازة (0.01 غ) لمدة ساعتين تحت أشعة الشمس، من أجل امتزاز أكبر كمية ممكنة من أزرق الميثيلين.

بعد ذلك تم استخدام جهاز UV-vis لمتابعة تطور التفاعل في فترات زمنية مختلفة بعد التعرض لاشعاع الشمس، وذلك بعد أخذ عينات من المحلول وقياس الامتصاصية عند الطول الموجي الأقصى (λ_{max} = 663nm). كما أجريت تجربة تفاعل الاختزال الكامل، حيث لوحظ تناقص في شدة اللون الأزرق لمزيج التفاعل تدريجيا[12].



الشكل (10.III): إزالة صبغة أزرق الميثيلين *(BM)*.

تضمن هذا الفصل طرق تحضير الهلام الحيوي الهوائي انطلاقا من المخلفات العضوية لقشور الخضر والفواكه، مع توصيفها باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء، أيضا تقنيات التحليل الطيفية للأشعة فوق البنفسجية والمرئية لمتابعة إزالة صبغة أزرق الميثيلين.

مراجع الفصل:

[1] A. Demir and M. Kaya, "Fabrication and characterization of bio-aerogel from mandarin peel-based agricultural waste," *Fibers and Polymers*, vol. 26, pp. 3217-3226, 2025.

[2] I. Siddique, "Exploring functional groups and molecular structures: a comprehensive analysis using FTIR spectroscopy," *Chemistry Research Journal*, vol. 9, pp. 70-76, 2024.

[3] T. Fiore and C. Pellerito, "Infrared absorption spectroscopy," *Spectroscopy for materials characterization*, pp. 129-167, 2021.

[4] A. E. Segneanu, I. Gozescu, A. Dabici, P. Sfirloaga, and Z. Szabadai, *Organic compounds FT-IR spectroscopy* vol. 145: InTech Rijeka, Croatia, 2012.

[5] F. C. Jentoft, "Electronic spectroscopy: ultra violet-visible and near IR spectroscopies," *Characterization of Solid Materials and Heterogeneous Catalysts: From Structure to Surface Reactivity*, vol. 1, pp. 89-147, 2012.

[6] M. M. Khan, "Absorption spectroscopy," in *Photocatalysts: Synthesis and Characterization Methods*, ed: Elsevier, 2025, pp. 141-149.

[7] V. K. Gupta, "Application of low-cost adsorbents for dye removal–a review," *Journal of environmental management*, vol. 90, pp. 2313-2342, 2009.

[8] G. Crini, "Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review," *Bioresource technology*, vol. 97, pp. 1061-1085, 2006.

[9] H. Maleki, L. Dur ães, C. A. Garc á-Gonz ález, P. Del Gaudio, A. Portugal, and M. Mahmoudi, "Synthesis and biomedical applications of aerogels: Possibilities and challenges," *Advances in colloid and interface science*, vol. 236, pp. 1-27, 2016.

[10] Y. Liu, S. Ahmed, D. E. Sameen, Y. Wang, R. Lu, J. Dai, *et al.*, "A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 112, pp. 532-546, 2021.

[11] F. Silva, L. Nascimento, M. Brito, K. da Silva, W. Paschoal Jr, and R. Fujiyama, "Biosorption of methylene blue dye using natural biosorbents made from weeds," *Materials*, vol. 12, p. 2486, 2019.

[12] Y. L. Pang, Z. X. Law, S. Lim, Y. Y. Chan, S. H. Shuit, W. C. Chong, *et al.*, "Enhanced photocatalytic degradation of methyl orange by coconut shell–derived biochar composites under visible LED light irradiation," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 27457-27473, 2021.

الفصل الرابع:

النتائج والمناقشة

1.IV. محتوى الماء:

يظهر **الشكل (1.IV)** مساحيق المخلفات الحيوية بعد العملية التجفيف.

قشور الرمان (R)

قشور الليمون (L)

قشور البازلاء (G)

قشور الفول (F)

الشكل (1.IV): مساحيق المخلفات الحيوية.

يوضح **الجدول (1.IV)** قيم محتوى الماء لمختلف العينات المستخدمة في العمل.

الجدول (1.IV): محتوى الماء لمختلف العينات.

العينة	الوزن الابتدائي (غ)	الوزن الجاف (غ)	نسبة محتوى الماء (%)
الرمان (R)	100	30	70
الليمون (L)	100	25	75
الفول (F)	100	15	85
البازلاء (G)	100	20	80

تظهر النتائج المتحصل عليها من عملية التجفيف أن محتوى الرطوبة يختلف اختلافا كبيرا بين أنواع قشور الفاكهة والبقوليات المختلفة، مما يعكس الاختلافات في تركيبها البنيوي ووظائفها الفيزيولوجية.

حيث تميزت قشور الليمون والرمان بمحتوى رطوبة مرتفع نسبيا (حوالي 70-75%)، يفسر هذا بغناها بالأنسجة البرنشيمية، التي تتميز بقدرة عالية على الاحتفاظ بالماء نظرا لوجود الفجوات والمركبات المحبة للماء مثل: البكتين والسكريات الذائبة، حيث تعرف قشور الحمضيات تحديدا بمحتواها العالي من البكتين، مما يعزز قدرتها على امتصاص الماء ويسهم في طبيعتها الاسترطابية، فعلى سبيل المثال، ذكر أن محتوى الرطوبة الأولي في قشر الرمان يبلغ 70.3%[1] والليمون يبلغ 90 %[2] (على أساس الوزن الرطب)، بينما تشير دراسات أخرى إلى نطاق أوسع يتراوح بين 46% و77% اعتمادا على الصنف والظروف[3].

في المقابل، تظهر قشور الفول والبازلاء محتوى رطوبة أعلى (بلغت 80-85%)، وهو ما يمكن تفسيره بدورها كنسيج واق ونشط أيضيا في البقوليات الطازجة، حيث تحتوي هذه القشور على كميات كبيرة من الهيميسليلوز والسليلوز، مشكلة مصفوفة مسامية قادرة على الاحتفاظ بالماء، مما يسهل تركيبها الرقيق نسبيا ومساحة سطحها الكبيرة امتصاص الماء والاحتفاظ به.

2.IV. معالجة المواد الأساسية:

يوضح **الشكل (2.IV)** المخلفات الحيوية بعد المعالجة القلوية.

الليمون الرمان

الفول البازلاء

الشكل (2.IV): المخلفات الحيوية بعد المعالجة القلوية.

يوضح **الجدول (2.IV)** مردود معالجة المواد الأساسية بمحلول هيدروكسيد الصوديوم.

الجدول (2.IV): مردود معالجة المواد الأساسية.

المادة	الكتلة الابتدائية (غ)	الكتلة النهائية (غ)	المردود (%)
الرمان (R)	25	3.25	13
الليمون (L)	25	6.77	27.08
الفول (F)	25	3.33	13.32
البازلاء (G)	25	3.54	14.16

أظهرت نتائج المعالجة اختلافات واضحة بين أنواع الكتلة الحيوية المدروسة، مما يعكس التباينات في تركيبها الكيميائي ومقاومتها البنيوية للمعالجة القلوية، حيث أعطت قشر الليمون أعلى قيمة (27.08%)، بينما سجلت قشر الرمان، الفول والبازلاء مردود أقل بكثير، تراوح بين 13 و14% تقريبا، يفسر ارتفاع مردود قشر الليمون إلى محتواه العالي من البكتين وهيكله السليلوزي المستقر نسبيا، والذي يقاوم جزئيا التحلل القلوي ويحافظ على بنيته بعد المعالجة، ومن المعروف أن قشور الحمضيات تحتوي على كميات كبيرة من السكريات المتعددة غير القابلة للذوبان والمواد البكتينية التي تساهم في سلامة بنيتها حتى بعد التعرض للقلويات، كما أظهرتها العديد من الدراسات[4]. في المقابل، يشير المردود المنخفض المتحصل لقشور الرمان والفول والبازلاء إلى إزالة أكبر للمستخلصات الذائبة والهيميسليلوز واللجنين والبروتينات والمكونات غير المتبلورة الأخرى أثناء المعالجة، ومن المعروف أن المحاليل القلوية تعمل على كسر روابط الإستر وإذابة المركبات غير السليلوزية، مما يؤدي إلى فقدان كبير في كتلة المخلفات الليغنوسليلوزية[5]. وقد يرتبط انخفاض مردود قشور الرمان نسبيا بمحتواها العالي من المركبات الفينولية والتانينات، والتي تستخلص جزئيا في الظروف القلوية، كما وصف ذلك سابقا[6]. وبالمثل، تحتوي قشور البقوليات، مثل الفول والبازلاء، على أجزاء هيميسليلوزية وبروتينية قابلة للتحلل القلوي، مما يفسر انخفاض الكتلة المستردة بعد المعالجة[7]. لوحظ انخفاض مماثل في إنتاجية الكتلة الحيوية بعد المعالجة NaOH على نطاق واسع في المخلفات الزراعية والألياف الطبيعية، حيث تعمل المعالجة القلوية على إزالة المواد غير المتبلورة مع زيادة نسبة السليلوز[8]. لذا، تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن المعالجة القلوية حسنت بشكل فعال بنية الليغنوسليلوز في قشور الفاكهة عن طريق إزالة المكونات غير السليلوزية، مما يعد مفيدا لتحضير الهلاميات الحيوية الهوائية وغيرها من المواد الوظيفية القائمة على السليلوز.

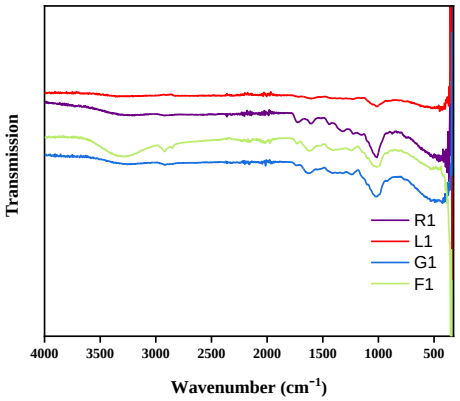
3.IV. مطيافية الأشعة تحت الحمراء لقشور الفواكه والخضروات

1.3.IV. قبل المعالجة

يظهر الشكل (3.IV) التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) تقنية فعالة وغير متلفة تستخدم لتحديد المجموعات الوظيفية في المواد الحيوية المعقدة، مثل قشور الفاكهة (الليمون (L1)، والرمان (R1)) والخضراوات (البازلاء (G1)، والفول (F1))، أظهر تحليل القشور أنها تتكون بشكل أساسي من كتلة حيوية ليغنوسليلوزية غنية بالسليلوز والهيميسليلوز واللجنين والبكتين والبوليفينولات والبروتينات والدهون، تظهر جميع الأطياف ملامح متشابهة إلى حد كبير، نموذجية لمواد جدار الخلية النباتية، ولكن مع اختلافات في شدة الذروة وموقعها، مما يعكس اختلافات في التركيب (على سبيل المثال، نسبة أعلى من البكتين/البوليفينولات عند الليمون/الرمان مقابل محتوى أعلى من الألياف/البروتين في قرون البقوليات).

لوحظ وجود نطاق امتصاص واسع في المدى 3200–3500 سم$^{-1}$ في جميع العينات، ويعزى ذلك إلى اهتزازات تمدد الرابطة O-H، مما يدل على وفرة مجموعات الهيدروكسيل وقوة الروابط الهيدروجينية؛ وهذا يعكس الطبيعة المحبة للماء لهذه المواد ويتوافق مع الدراسات السابقة على المخلفات النباتية[9, 10]. وتتوافق القمم حول 2850–2950 سم$^{-1}$ مع اهتزازات تمدد الرابطة C-H للمجموعات الأليفاتية، مما يؤكد وجود سلاسل عديد السكاريد، كما ورد في قشور الحمضيات والرمان[11]، تظهر حزمة امتصاص مميزة قرب 1730 سم$^{-1}$، أكثر وضوحا في قشر الليمون، إلى تمدد الرابطة C=O للمجموعات المؤسترة في البكتين، وهي سمة مميزة لقشور الحمضيات نظرا لمحتواها العالي من البكتين[4]. في المقابل، تبدو هذه الحزمة أقل كثافة في قشور البازلاء والفول، مما يشير إلى درجة أقل من الأسترة، وهو ما يتوافق مع تركيب مخلفات البقوليات[12]. أما الحزمة الملاحظة حول 1600–1650 سم$^{-1}$ فتعزى إلى اهتزازات الرابطة C=C العطرية و/أو مجموعات الكربوكسيلات، مما يعكس وجود اللجنين والمركبات الفينولية، وهي بارزة بشكل خاص في قشر الرمان، المعروف بمحتواه العالي من البوليفينولات[6]. بالإضافة إلى ذلك، يتوافق الامتصاص القوي في نطاق 1000–1200 سم$^{-1}$ مع اهتزازات تمدد روابط C–O و C–O في السليلوز والهيميسليلوز، مما يؤكد البنية الغنية بالسكريات المتعددة في جميع العينات، وهو ما يتوافق مع العديد من الدراسات حول الكتلة الحيوية الزراعية. وبشكل عام، تتوافق الأطياف المحصلة بشكل جيد مع البيانات المنشورة، مما يؤكد أن قشر الليمون أغنى بالبكتين، وأن قشر الرمان يحتوي على مستويات أعلى من المركبات الفينولية واللجنينية، بينما تظهر قشر البازلاء والفول بنية ليفية أكثر يهيمن

عليها السليلوز والهيميسليلوز، وهو ما يفسر اختلاف خصائصها الفيزيائية والكيميائية وتطبيقاتها المحتملة.



الشكل (3.IV): أطياف FTIR لمسحوق القشور.

2.3.IV. بعد المعالجة

الشكل (4.IV) يوضح صور مختلف الهلاميات الحيوية الهوائية المحضرة.

الليمون

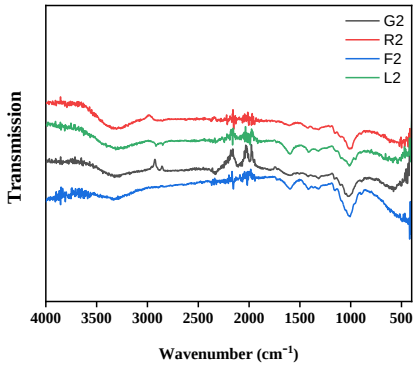
الرمان

البازلاء

الفول

الشكل (4.IV): مختلف الهلاميات الحيوية الهوائية المحضرة.

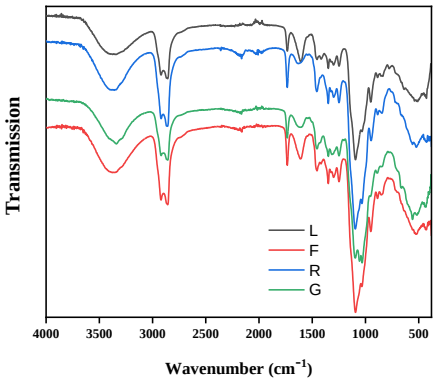
الشكل (5.IV) يكشف أطياف FTIR للقشور المعالجة بالقلويات عن تعديلات هيكلية ملحوظة، يتوافق نطاق امتصاص واسع ملاحظ حول 3200–3500 سم$^{-1}$ مع اهتزازات تمدد الرابطة O-H المرتبطة بمجموعات الهيدروكسيل في السليلوز والهيميسليلوز المتبقي. بالمقارنة مع العينات غير المعالجة، أصبح هذا النطاق أقل كثافة، مما يشير إلى تفكك الروابط الهيدروجينية والإزالة الجزئية للمكونات غير المتبلورة مثل: الهيميسليلوز واللجنين والشموع والبكتين أثناء المعالجة القلوية. وقد كشفت عدة دراسات[13, 14] عن ملاحظات مماثلة، حيث أثبتوا أن المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم تزيل المكونات غير السليلوزية وتزيد من انكشاف السليلوز في الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية، حيث يؤكد انخفاض شدة الحزمة القريبة من 1730 سم$^{-1}$، والظاهرة بشكل خاص في L2 وR2، إزالة مجموعات الإسترة والأسيتيل المرتبطة بالهيميسليلوز والبكتين، وهو تأثير مميز للمعالجة القلوية للمخلفات الزراعية[7]. ويتوافق الامتصاص حول 1600–1650 سم$^{-1}$ مع اهتزازات الرابطة العطرية C=C ومجموعات COO^- المرتبطة باللجنين والمركبات الفينولية؛ ويشير انخفاض شدتها بعد المعالجة إلى إزالة جزئية للجنين وإذابة المواد الفينولية، تعزى الحزم القوية في المنطقة 1000–1100 سم$^{-1}$ إلى اهتزازات التمدد C–O–C وC–O للسليلوز والهيميسليلوز، يشير التحسن النسبي في وضوح هذه القمم بعد المعالجة القلوية إلى زيادة تبلور السليلوز وزيادة انكشاف البنية الليفية نتيجة إزالة المواد غير المتبلورة، ومن بين العينات، أظهرت العينتان F2 وG2 نطاقات أكثر وضوحا متعلقة بالسليلوز، مما يشير إلى أن قشور البقوليات تمتلك بنية ليفية سليلوزية أكثر بعد المعالجة، بينما احتفظت العينتان L2 وR2 ببعض خصائص البكتين والفينول. وبشكل عام، تؤكد نتائج مطيافية FTIR أن المعالجة قد عدلت بشكل فعال البنية الكيميائية للقشور عن طريق تقليل محتوى الهيميسليلوز واللجنين والبكتين مع إثراء جزء السليلوز، مما يعزز ملاءمتها لتطبيقات مثل المواد الماصة الحيوية والهلاميات والمركبات الحيوية المقواة.



الشكل (5.IV): أطياف FTIR للقشور المعالجة.

3.3.IV. أطياف الهلام الهوائي الحيوي:

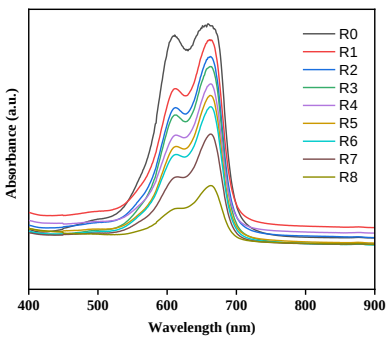
الشكل (6.IV) يكشف أطياف FTIR لعينات الهلام الهوائي الحيوي، المحضرة من قشور الليمون، الرمان، البازلاء، والفول المعالجة بالقلويات في وجود توين 80، عن نجاح تكوين شبكة مسامية قائمة على عديد السكاريد، مدعمة بمواد حيوية معدلة وظيفيا بمواد فعالة سطحية. تظهر جميع الأطياف حزمة امتصاص واسعة في نطاق 3200–3500 سم$^{-1}$، تعزى إلى اهتزازات تمدد الرابطة O-H لمجموعات الهيدروكسيل من السليلوز والهيميسليلوز والبكتين المتبقي والماء الممتص فيزيائيا. يشير اتساع هذه الحزمة بعد التجفيف بالتجميد إلى تعزيز تفاعلات الروابط الهيدروجينية داخل شبكة الهلام المائي ثلاثية الأبعاد، وهو ما يتوافق مع ورد في الدراسات[15]. ترجع الحزم الطيفية الواقعة حول 2850–2920 سم$^{-1}$ إلى اهتزازات التمدد غير المتماثلة والمتماثلة لرابطة C-H في السلاسل الأليفاتية، ويؤكد ازدياد شدتها الى دمج مادة توين 80، وهي مادة خافضة للتوتر السطحي غير أيونية غنية بجزيئات الهيدروكربون، في المصفوفة البوليمرية الحيوية، وقد أشارت دراسة[16] عن سلوك طيفي مماثل بعد دمج توين في أنظمة الهلام الهوائي متعدد السكريات، أما الامتصاص حول 1650–1730 سم$^{-1}$ فتتوافق مع اهتزازات التمدد لرابطة C=O ومجموعات COO^- المرتبطة ببقايا البكتين المؤسترة، وإسترات الأحماض الدهنية من توين 80، واللجنين المتبقي أو المركبات الفينولية، يشير استمرار هذه الحزم إلى بقاء بعض المجموعات الوظيفية الإسترية بعد المعالجة القلوية ومشاركتها في التفاعلات بين الجزيئات داخل بنية الهلام الهوائي. بالإضافة إلى ذلك، تعود الأطياف المسجلة قرب 1400–1600 سم$^{-1}$ إلى اهتزازات الرابطة العطرية C=C وانحناء CH_2، مما يؤكد وجود تراكيب فينولية مشتقة من اللجنين، وهي أكثر وضوحا في قشر الرمان نظرا لمحتواه الطبيعي العالي من البوليفينول، وتتوافق منطقة الامتصاص المكثفة بين 1000 و1150 سم$^{-1}$ مع اهتزازات التمدد C–O–C و C–O للسليلوز والهيميسليلوز والروابط الجليكوسيدية متعددة السكريات، ويشير ارتفاع شدة هذه القمم ووضوحها بعد التجفيف بالتجميد إلى تكوين شبكة مسامية أكثر تنظيمًا مع زيادة انكشاف ألياف السليلوز، وهو ما يميز الهلاميات الهوائية الحيوية المجففة بالتجميد[17]. من بين العينات، أظهرت عينات الفول والبازلاء امتصاصا أقوى مرتبطة بالكربوهيدرات، مما يشير إلى بنية غنية بالسليلوز الليفي، بينما احتفظت عينات الليمون والرمان بخصائص بكتينية وفينولية أكثر. وبشكل عام، تؤكد نتائج FTIR أن الجمع بين المعالجة القلوية، وإضافة توين 80، والتجفيف بالتجميد قد أنتج بنجاح هلاميات هوائية حيوية ذات شبكات عديد السكاريد مترابطة وتركيب كيميائي سطحي معدل، مما يجعلها مواد واعدة للامتزاز والتطبيقات الطبية الحيوية والبيئية.

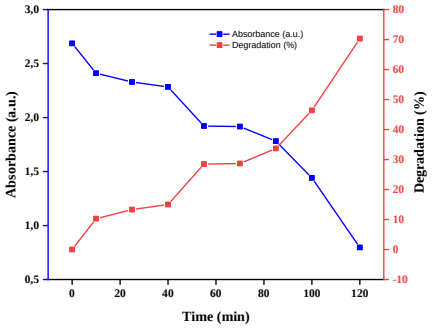


الشكل (6.IV): أطياف FTIR لعينات الهلام الهوائي الحيوي.

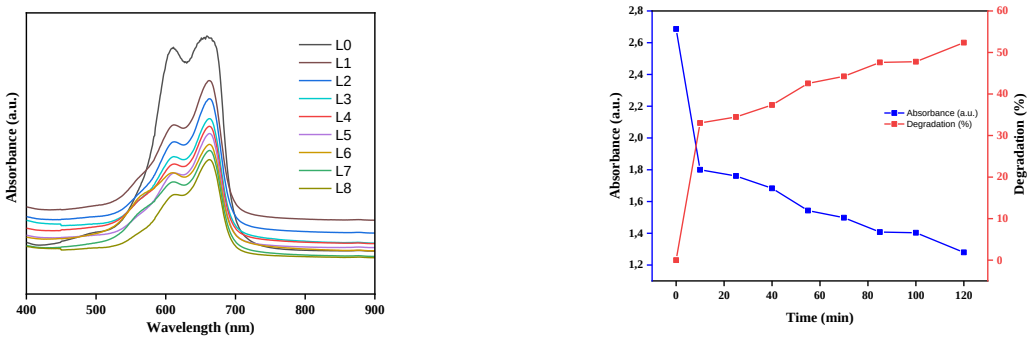
4.IV. إزالة صبغة أزرق الميثيلين

تظهر **الأشكال (10.9.8.7.IV)** النتائج المتحصل عليها انخفاضا تدريجيا في قيم الامتصاص مع زيادة زمن التلامس لجميع العينات المحضرة (L، R، F، وG)، مصحوبا بزيادة مستمرة في نسبة الإزالة، يؤكد هذا السلوك فعالية قدرة العينات المصنعة على امتصاص جزيئات الصبغة، مما يشير إلى أن المواقع النشطة الموجودة على أسطح العينات تتفاعل تدريجيا مع الملوث أثناء عملية المعالجة. يشير انخفاض الامتصاص إلى انخفاض تركيز الصبغة في المحلول، بينما تعكس الزيادة في كفاءة الإزالة نجاح امتزاز جزيئات الصبغة واحتجازها داخل بنية الهلام المسامية.

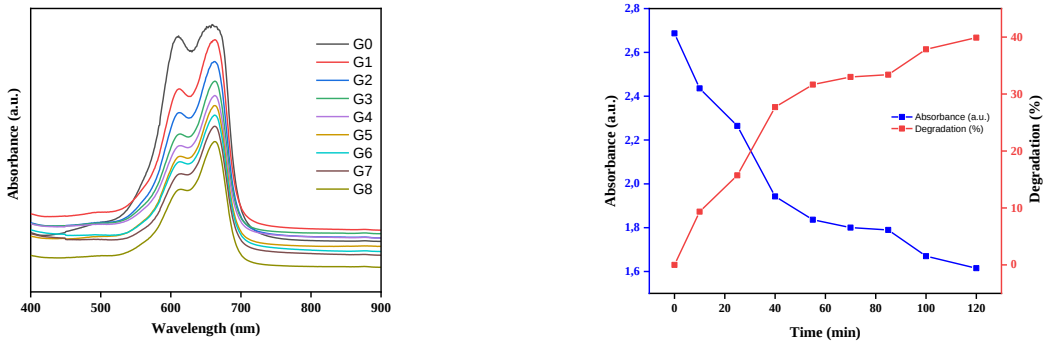




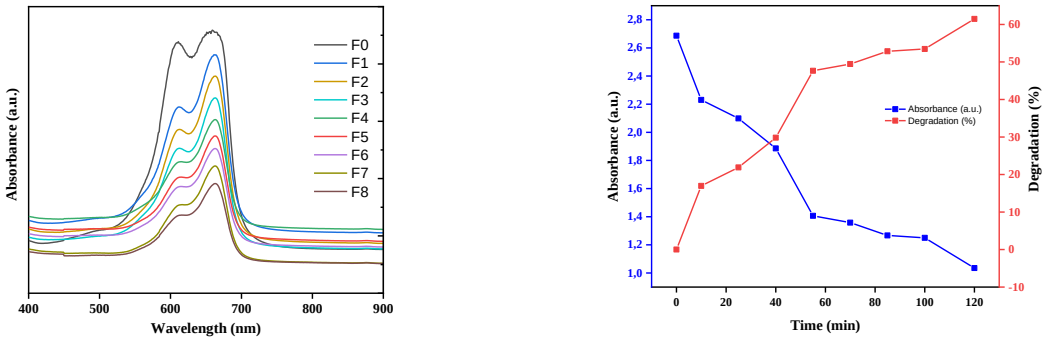
الشكل (7.IV): إزالة الصبغة لهلام الرمان.



الشكل (8.IV): إزالة الصبغة لهلام الليمون.



الشكل (9.IV): إزالة الصبغة لهلام البازلاء.



الشكل (10.IV): إزالة الصبغة لهلام الفول.

أظهرت العينة R أعلى كفاءة إزالة، حيث بلغت حوالي 70% بعد 120 دقيقة، بينما أظهرت العينة F أداء متوسطا بنسبة تحلل تقارب 60%. في المقابل، تليها العينة L وG بكفاءة إزالة أقل، حيث لم تتجاوز 50% و40% على التوالي. يعزى الآداء المتميز للعينة R إلى مساميته العالية، ومساحة سطحه النوعية الكبيرة، ووجود مجموعات وظيفية وفيرة مثل مجموعات الهيدروكسيل والكربوكسيل، مما يعزز

التفاعلات الكهروستاتيكية وقوة امتزاز جزيئات أزرق الميثيلين. علاوة على ذلك، تسهل الشبكة المسامية المترابطة للهلام الحيوي انتشار الصبغة وتحسن انتقال الكتلة أثناء عملية الامتزاز.

تبدو عملية الامتزاز سريعة خلال 20–40 دقيقة، تليها مرحلة أبطأ حتى الوصول إلى حالة التوازن عند فترات تلامس أطول. يمكن تفسير هذه الظاهرة بتوفر عدد كبير من مواقع الامتزاز الحرة في بداية العملية، مما يؤدي إلى امتزاز سريع للصبغة. ومع مرور الوقت، تشغل مواقع الامتزاز تدريجيا، مما يؤدي إلى تباطؤ معدل الامتزاز حتى الوصول إلى حالة التوازن، أيضا لوحظ سلوك امتزاز مماثل على نطاق واسع في الهيدروجيلات المشتقة من الكتلة الحيوية والمواد الممتزة الحيوية المستخدمة في تطبيقات إزالة الأصباغ. كما أشارت دراسات حديثة على الهلاميات القائمة على السليلوز والنشا إلى انخفاض ملحوظ في امتزاز أزرق الميثيلين خلال مرحلة الامتزاز الأولية، يليه استقرار عند ظروف التوازن[18].

قد تعزى الاختلافات الملحوظة بين أنواع العينات المختلفة إلى التركيب الكيميائي للمخلفات الزراعية الأصلية المستخدمة في تحضيرها، حيث تحتوي قشور الفاكهة والخضراوات على كميات متفاوتة من السليلوز والهيميسليلوز واللجنين والبكتين والمركبات الفينولية، والتي تؤثر بشكل كبير على الخصائص البنيوية وخصائص الامتزاز للعينات الناتجة. تظهر الهلاميات الغنية بالسليلوز والبكتين عموما سلوك انتفاخ محسنا وكفاءة امتزاز أعلى نظرا لوفرة المجموعات المحبة للماء القادرة على التفاعل مع الأصباغ الكاتيونية. وقد أظهرت دراسة (2024) أن الهلاميات الحيوية المركبة القائمة على السليلوز تتمتع بكفاءة ازالة عالية لصبغة الميثيلين الأزرق، وذلك بفضل بنيتها المسامية ومجموعاتها الوظيفية النشطة[19].

علاوة على ذلك، تتوافق النتائج المحصلة مع العديد من الدراسات السابقة التي بحثت في الهلاميات الصديقة للبيئة لمعالجة مياه الصرف الصحي، في دراسة[18] قام الباحثون بتصنيع هلام حيوي قائم على السليلوز المستخلص من كيزان الذرة، وأفادوا بكفاءة إزالة لصبغة الميثيلين الأزرق تبلغ حوالي 65%، وهي نسبة تضاهي الأداء الذي حققته العينة R في هذه الدراسة. وبالمثل، أظهرت الهلاميات القائمة على النشا، التي حضرها الباحثون في الدراسة[20]، حركية امتزاز فعالة وألفة قوية لجزيئات الميثيلين الأزرق، وذلك بفضل قدرة الهلام الحيوي على الانتفاخ ووجود مواقع امتزاز سالبة الشحنة.

وبشكل عام، تؤكد هذه النتائج أن الهلاميات الهوائية الحيوية المحضرة من المخلفات الزراعية العضوية تمتلك خصائص امتزاز واعدة لتطبيقات المعالجة البيئية، ولا سيما لمعالجة مياه الصرف

الصحي الملوثة بالأصباغ. إن فعاليتها وقابليتها للتحلل البيولوجي وانخفاض تكلفتها وأصلها المتجدد تجعلها بدائل مستدامة للمواد الماصة التقليدية.

في الختام، أظهرت النتائج أن الهلاميات الحيوية المحضرة من المخلفات الزراعية العضوية تتمتع بقدرة امتزاز عالية لصبغة أزرق الميثيلين، ويتضح ذلك من خلال الانخفاض التدريجي في الامتصاص وزيادة كفاءة الإزالة مع مرور الوقت. وتعود الاختلافات الملحوظة بين العينات المختلفة بشكل رئيسي إلى خصائصها البنيوية والكيميائية، ولا سيما المسامية ووجود المجموعات الوظيفية النشطة. ومن بين العينات المختبرة، أظهرت بعض العينات أداء امتزاز أعلى، مما يؤكد الدور المهم لتكوين الكتلة الحيوية في تحديد كفاءة إزالة الملوثات. وتبرز هذه النتائج إمكانات الهلاميات الحيوية المستخلصة من مخلفات الفاكهة والخضراوات كمواد مستدامة ومنخفضة التكلفة وصديقة للبيئة للتطبيقات البيئية، وخاصة في معالجة مياه الصرف الصحي.

مراجع الفصل:

[1] R. R. Mphahlele, P. B. Pathare, and U. L. Opara, "Drying kinetics of pomegranate fruit peel (cv. Wonderful)," *Scientific African*, vol. 5, p. e00145, 2019.

[2] J. García-Pérez, J. Cárcel, G. Clemente, and A. Mulet, "Water sorption isotherms for lemon peel at different temperatures and isosteric heats," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 41, pp. 18-25, 2008.

[3] C. Podetti, M. Riveros-Gomez, M. C. Román, D. Zalazar-García, M. P. Fabani, G. Mazza, *et al.*, "Polyphenol-enriched pectin from pomegranate peel: multi-objective optimization of the eco-friendly extraction process," *Molecules*, vol. 28, p. 7656, 2023.

[4] M. L. Fishman, H. K. Chau, P. D. Hoagland, and A. T. Hotchkiss, "Microwave-assisted extraction of lime pectin," *Food Hydrocolloids*, vol. 20, pp. 1170-1177, 2006.

[5] G. Zhang, K. Huang, X. Jiang, D. Huang, and Y. Yang, "Acetylation of rice straw for thermoplastic applications," *Carbohydrate polymers*, vol. 96, pp. 218-226, 2013.

[6] W. Elfalleh, H. Hannachi, N. Tlili, Y. Yahia, N. Nasri, and A. Ferchichi, "Total phenolic contents and antioxidant activities of pomegranate peel, seed, leaf and flower," *Journal of Medicinal Plants Research*, vol. 6, pp. 4724-4730, 2012.

[7] F. Xu, J.-X. Sun, R. Sun, P. Fowler, and M. S. Baird, "Comparative study of organosolv lignins from wheat straw," *Industrial crops and products*, vol. 23, pp. 180-193, 2006.

[8] M. Kabir, H. Wang, K. Lau, and F. Cardona, "Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview," *Composites Part B: Engineering*, vol. 43, pp. 2883-2892, 2012.

[9] J. Sun, F. Mao, X. Sun, and R. Sun, "Comparative study of hemicelluloses isolated with alkaline peroxide from lignocellulosic materials," *Journal of wood chemistry and technology*, vol. 24, pp. 239-262, 2005.

[10] M. Szymanska-Chargot and A. Zdunek, "Use of FT-IR spectra and PCA to the bulk characterization of cell wall residues of fruits and vegetables along a fraction process," *Food biophysics*, vol. 8, pp. 29-42, 2013.

[11] M. Çam and Y. Hışıl, "Pressurised water extraction of polyphenols from pomegranate peels," *Food chemistry*, vol. 123, pp. 878-885, 2010.

[12] B. Koubala, G. Kansci, L. Mbome, M.-J. Crépeau, J.-F. Thibault, and M.-C. Ralet, "Effect of extraction conditions on some physicochemical

characteristics of pectins from “Améliorée” and “Mango” mango peels," *Food Hydrocolloids,* vol. 22, pp. 1345-1351, 2008.

[13] X.-F. Sun, Sun, and J.-X. Sun, "Acetylation of rice straw with or without catalysts and its characterization as a natural sorbent in oil spill cleanup," *Journal of agricultural and food chemistry,* vol. 50, pp. 6428-6433, 2002.

[14] A. Alemdar and M. Sain, "Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues–Wheat straw and soy hulls," *Bioresource technology,* vol. 99, pp. 1664-1671, 2008.

[15] Y. Liu, S. Ahmed, D. E. Sameen, Y. Wang, R. Lu, J. Dai, *et al.*, "A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application," *Trends in Food Science & Technology,* vol. 112, pp. 532-546, 2021.

[16] S. Namlı, "Production of polysaccharide-based aerogels and exploring their use in different food applications," 2025.

[17] J. Wang, J. Tavakoli, and Y. Tang, "Bacterial cellulose production, properties and applications with different culture methods–A review," *Carbohydrate polymers,* vol. 219, pp. 63-76, 2019.

[18] S. Majamo, T. Amibo, and D. Mekonnen, "Expermental investigation on adsorption of methylene blue dye from waste water using corncob cellulose-based hydrogel. Sci Rep 14 (1): 4540," ed, 2024.

[19] L. Aymara, N. G. Herrera, H. H. Lezama, and N. A. Villacrés, "Preparation of cellulose-based composite hydrogels for the removal of methylene blue," *Polymers from Renewable Resources,* vol. 15, pp. 133-151, 2024.

[20] F. Mohammadzadeh, M. Golshan, V. Haddadi-Asl, and M. Salami-Kalajahi, "Adsorption kinetics of methylene blue from wastewater using pH-sensitive starch-based hydrogels," *Scientific Reports,* vol. 13, p. 11900, 2023.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة:

ركزت هذه الدراسة على استغلال مخلفات الفاكهة والخضراوات لإنتاج الهلاميات الحيوية الهوائية، وتقييم خصائصها الكيميائية وامتصاصها لصبغة أزرق الميثيلين، حيث أظهرت النتائج أن المخلفات الزراعية تشكل مصدرا وفيرا ومتجددا للبوليمرات الطبيعية، ما يجعلها مناسبة لتطوير مواد حيوية صديقة للبيئة ذات إمكانات بيئية واعدة.

أكد تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) الذي أجري على قشور الفاكهة والخضراوات الخام والهيدروجيلات الحيوية المحضرة، وجود العديد من المجموعات الوظيفية الهامة المميزة للكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية، بما في ذلك مجموعات الهيدروكسيل (–OH) والكربوكسيل (–COOH) والكربونيل (C=O) والإيثر (C–O–C). وترتبط هذه المجموعات الوظيفية بشكل أساسي بمكونات السليلوز والهيميسليلوز واللجنين والبكتين الموجودة طبيعيا في مخلفات الفاكهة والخضراوات. علاوة على ذلك، أشارت التغيرات الملحوظة في أطياف FTIR بعد تحضير الهيدروجيل إلى نجاح تكوين شبكة الهيدروجيل، وحدوث تفاعلات بين المكونات البوليمرية الحيوية المختلفة. ساهمت وفرة المجموعات الوظيفية المحبة للماء بشكل كبير في سلوك الانتفاخ وأداء الامتزاز للمواد المصنعة.

أظهرت تجارب الامتزاز انخفاضا تدريجيا في قيم الامتصاص مع زيادة زمن التلامس، مصحوبا بزيادة ملحوظة في كفاءة إزالة الصبغة، وأظهرت الهيدروجيلات المحضرة أداء امتزازيا مختلفا تبعا للتركيب الكيميائي والخصائص البنيوية للكتلة الحيوية الأصلية المستخدمة، وقد أظهرت بعض الهيدروجيلات قدرات امتزاز فائقة نظرا لمساميتها العالية وتوافر مجموعات وظيفية نشطة أكثر، قادرة على التفاعل مع جزيئات الصبغة من خلال التجاذب الكهروستاتيكي وروابط الهيدروجين.

بشكل عام، أظهر هذا العمل إمكانية تحويل مخلفات الفاكهة والخضراوات بنجاح إلى هيدروجيلات حيوية قابلة للتحلل الحيوي ومنخفضة التكلفة، تتميز بقدرة امتصاص فائقة، ما يجعلها مناسبة لتطبيقات المعالجة البيئية، لا سيما في معالجة مياه الصرف الصحي، إلى جانب الحد من التلوث البيئي الناجم عن تراكم النفايات العضوية، يسهم هذا النهج في تطوير مواد مستدامة تتماشى مع مبادئ الاقتصاد الأخضر والتنمية المستدامة، قد تركز الأبحاث المستقبلية على تحسين الاستقرار الفيزيائي والكيميائي لهذه الهيدروجيلات، وتعزيز قدرتها على الامتصاص، وتوسيع نطاق استخدامها ليشمل إزالة المعادن الثقيلة والملوثات الناشئة الأخرى من أنظمة المياه الملوثة.