الجمهورية الجزائريّة الديمقراطية الشّعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرّياضيات وعلوم المادة
قسم الكيمياء

مذكرة مقدّمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي في الكيمياء

التّخصص : كيمياء المحيط

من إعداد الطالبتين : إسراء هبة الله لميني _ وهيبة رواص

بعنوان:

استخلاص وتوصيف السليلوز من نبات الأثل
(Tamarix aphylla L.)

نوقشت علنا يوم :2026/06/14

أمام لجنة المناقشة المتكونة من :

سعيدات مصطفى	أستاذ مساعد (أ)	جامعة ورقلة	رئيسا
شاوش خولة	أستاذ محاضر(أ)	جامعة ورقلة	مناقشا
بن منين عبد القادر	أستاذ تعليم عالي	جامعة ورقلة	مشرف
مشري رزيقة	أستاذ مؤقت(دكتوراه)	جامعة ورقلة	مساعد مشرف

السنة الجامعية : 2026/2025

الإهداء

قال تعالى: ﴿ وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ ﴾[هود: 88].

إلى من يطيب لي أن أهديهم جني السنين وثمرة هذا التعب، أهدي هذا النجاح والتميز إلى نفسي أولاً، ثم إلى رمز الحب والعطاء التي منحتني القوة بصلواتها ودعائها الصادق، أمي الحبيبة أدامها الله تاجاً فوق رأسي. وإلى من شقّ لي طريق العلم والنجاح ولم يبخل عليّ يوماً برعايته وتوجيهه، أبي الغالي حفظه الله ورعاه. وإلى الشموع المضيئة في حياتي، إخوتي وأخواتي وأفراد عائلتي الذين كانوا لي دائماً الملجأ والمشجع الأكبر. كما أتوجه بخالص الشكر والتقدير إلى صديقاتي الغاليات، رفيقات الدرب اللواتي وقفن بجانبي وكان وجودهنّ سنداً حقيقياً ومصدراً للطاقة الإيجابية، وإلى كل من علمني حرفاً وأنار لي درباً من أساتذتي الأفاضل، وإلى كل من ترك أثراً طيباً في قلبي وفي مشواري الدراسي.

رواص وهيبة

الإهداء

قال تعالى: ﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾ [التوبة: 105].

الحمد لله الذي أغرقني فرحاً ينسيني مشقتي، ففرحني بما أتمّه الله عليّ من فضله. من قال "أنا لها" نالها، وإن أبت رغماً عنها أتيتُ بها، وما كنتُ لأفعلها لولا توفيقٌ من الله ورسوله.

بكل فخر، أهدي هذا النجاح إلى من شاب رأسه لتربيتنا، إلى فخري في هذه الحياة، أبي الغالي أدامه الله. وإلى الجنة وقرة عيني، والتي وهبتني بدعائها السداد، أمي الغالية. وإلى عزوتي وسندي في هذه الحياة، إخوتي، وإلى حبيبتي وأختي الغالية.

وإلى كل من تمنى لي الخير وشاركني طموحي، وإلى الأيام العظيمة التي صنعت منا ما نحن عليه اليوم، ها قد جنينا الثمار، واعتلينا قمم النجاح بفخر واعتزاز.

لميني إسراء هبة الله

الشكر و العرفان

" لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ " [إبراهيم: 7]

الحمد لله رب العالمين، حمداً يوافي نعمه ويكافئ مزيده، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين. الحمد لله الذي وفّقنا، وأعاننا، وأنعم علينا بنعمة العلم وبصيرة الفهم، ومنحنا الصبر والقدرة على إتمام هذا العمل المتواضع، ليخرج إلى النور ثمرةً لسنوات من الجد والاجتهاد.

نتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى الأستاذ المشرف الفاضل د. بن منين عبد القادر، وإلى الدكتورة المساعدة د. مشري رزيقة، اللذين لم يبخلا علينا بتوجيهاتهما القيمة ونصائحهما السديدة، وصبرهما معنا طوال فترة إعداد هذه المذكرة، فجزاهما الله عنا كل خير وثواب.

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى الأساتذة الأفاضل أعضاء لجنة المناقشة الموقرين لتفضلهم بقبول تقييم هذا العمل وتصويبه.

إلى أهالينا وسندنا في الحياة..

نرفع أسمى آيات الشكر والامتنان إلى والدينا الكريمين، اللذين كانا لنا الدافع الأكبر والملجأ الآمن، ودعواتهم الصادقة التي أنارت طريقنا؛ وإلى عائلتينا وكل من شدّ على أيدينا وكان لنا عوناً وسنداً في لحظات التعب.

إلى صديقاتنا الغاليات..

اللواتي وقفن معنا وقفة صدق، ودعمننا بكلماتهنّ المشجعة وطاقتهنّ الإيجابية في أصعب الأوقات، شكراً لكنّ من القلب على وجودكنّ الدائم كأخوات لم تَلدهنّ أمهاتنا، ولا يفوتنا أن نتقدم بخالص التقدير إلى الأساتذة والإخوة في جامعة قاصدي مرباح ورقلة، وتحديداً في كلية الرياضيات وعلوم المادة / قسم الكيمياء، ولكل من قدم لنا يد العون والتسهيلات في المخبر ومركز البحث (CRAPC) لإتمام التجارب و التحاليل.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى استخلاص السليلوز من نبات صحراوي هو الأثل (Tamarix aphylla) كمادة أولية، وذلك لأهميته الكبيرة في مختلف المجالات، بدءاً من الصناعات الغذائية والتغليف، مروراً بالصناعات الدوائية والمنسوجات، وصولاً إلى التكنولوجيا النانوية والطاقة المتجددة.

تتنوع طرق استخلاص السليلوز من مصادره الطبيعية وتعتمد كل طريقة على خصائص المصدر المستخدم والهدف من الاستخلاص؛ وحيث ركزت هذه الدراسة على الجانب الكيميائي، فقد تم الاعتماد على طريقتين ومقارنتهما: الطريقة المباشرة وطريقة جهاز سوكسلي (Soxhlet). وبعد الحصول على السليلوز وتنقيته، قمنا بإجراء بعض التحاليل الفيزيوكيميائية والمورفولوجية لتقييم كفاءة الاستخلاص ونقاوة المنتج، والتي تمثلت في:

مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير (FT-IR) : للكشف عن المجموعات الوظيفية المميزة للسليلوز والتأكد من إزالة اللغنين والهيميسليلوز.

المجهر الإلكتروني الماسح (SEM / MEB) : لفحص البنية المورفولوجية والسطحية للألياف المستخلصة.

تقنية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDX) : لإجراء التحليل الكيميائي الطيفي والتأكد من العناصر الأساسية المكونة (الكربون و الأكسجين) وغياب الشوائب المعدنية.

الكلمات المفتاحية: السليلوز، الأثل (Tamarix aphylla)، النباتات الصحراوية، الاستخلاص المباشر، جهاز سوكسلي، التوصيف الهيكلي.

Abstract

This study aims to extract cellulose from the desert plant Tamarix aphylla (Athel), which is considered a promising raw material due to its significant importance in various fields, ranging from the food and packaging industries to the textile and pharmaceutical sectors, as well as applications in nanotechnology and renewable energy.

Cellulose extraction methods vary according to the nature of the raw material and the intended application. Since this study focused on the chemical extraction of cellulose, two extraction methods were employed and compared: the direct extraction method and the Soxhlet extraction method.

After extraction and purification, several physicochemical and morphological characterization techniques were carried out to evaluate the extraction efficiency and the purity of the obtained cellulose. These analyses included.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR): to identify the characteristic functional groups of cellulose and confirm the removal of lignin and hemicellulose.

Scanning Electron Microscopy (SEM): to investigate the morphology and surface structure of the extracted fibers.

Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX): to determine the elemental composition and verify the presence of the main constituent elements (carbon and oxygen) as well as the absence of mineral impurities.

Keywords: Cellulose, Tamarix aphylla (Athel), desert plants, direct extraction, Soxhlet extraction, structural characterization .

الفهرس

الإهداء	II
	III
شكر وعرفان	IV
الملخص	V
	VI
الفهرس	VII - X
قائمة الأشكال	XI
	XII
	XIII
قائمة الجداول	XIV
قائمة المخططات	XV
قائمة الكلمات المختصرة	XVI
مقدمة عامة	1
	2
	3
الجزء النظري	
I	**I – الفصل الأول : الدراسة النظرية للنباتات الصحراوية**
1-I	تعريف النباتات الصحراوية 03
1-1-I	خصائص النباتات الصحراوية 04
2-1-I	أنواع النباتات الصحراوية 04
3-1-I	تكيف النباتات الصحراوية مع البيئة الجافة 05
4-1-I	أهمية النباتات الصحراوية 06
5-1-I	التحديات التي تواجه النباتات الصحراوية 06
2-I	الدراسة النظرية لنبات الأثل الصحراوي 07

1-2-I	العائلة الأثلية (Tamaricaceae)	07
2-2-I	الأنواع المهمة	07
3-2-I	التعريف التصنيفي (التسمية)	07
4-2-I	التصنيف	08
5-2-I	وصف النبات	09
6-2-I	الموطن البيئي والانتشار الجغرافي	09
7-2-I	المركبات الفعالة	09
8-2-I	الإستعمالات	10
9-2-I	أهمية الرعوية	11
10-2-I	المنافع	11
11-2-I	مجالات التثمين البيئي لنبات الأثل ومخلفاته الحيوية	12
	II- الفصل الثاني : الدراسة النظرية للسيليلوز	
1-II	ألياف اللجنوسليلوز	15
1-1-II	تعريف اللجنوسليلوز	16
2-1-II	بنية اللجنوسليلوز	16
3-1-II	المكونات الكيميائية لألياف اللجنوسليلوز	17
1-3-1-II	السليلوز	18
2-3-1-II	الهيميسليلوز	18
3-3-1-II	اللجنين	20
2-II	المادة محل الدراسة	23
1-2-II	تعريف السليلوز	24
2-2-II	بنيته الكيميائية	24
3-2-II	بنيته البلورية	26
4-2-II	الخصائص الفيزيائية والكيميائية	27
1-4-2-II	الخصائص الفيزيائية	27
2-4-2-II	الخصائص الكيميائية	28
5-2-II	مصادر السليلوز	29
6-2-II	مشتقات السليلوز	31

7-2-II	استخدامات السليلوز	32
8-2-II	الآفاق البيئية للسليلوز المستخلص	34
	قائمة المراجع	41-37
III- الجزء التطبيقي		
	الفصل الثالث : استخلاص السليلوز من نبات الأثل – III	
1-III	الأجهزة و المواد المستعملة	44
1-1-III	التعريف بالأجهزة والتقنيات المستخدمة في الدراسة التحليلية	49
2-1-III	البروتوكول الموحد لتحضير عينة الدراسة	51
1-2-1-III	تحضير العينة	51
2-2-1-III	جمع العينة	51
3-1-III	المعالجة الفيزيائية	52
1-3-1-III	غسل وتجفيف العينة	52
2-3-1-III	تقطيع وطحن العينة	52
1-2-III	**طريقة العمل الأولى**	54
1-1-2-III	المعالجة الكيميائية	54
2-1-2-III	نزع المواد الدهنية والذوابة للماء	54
3-1-2-III	المعالجة الحمضية HCL	55
4-1-2-III	المعالجة القاعدية بهيدروكسيد الصوديوم NaOH	56
5-1-2-III	مرحلة تبييض NaClO	57
2-2-III	**طريقة العمل الثانية**	60
1-2-2-III	تعريف بجهاز تركيبة سوكسليت	60
2-2-2-III	المعالجة الكيميائية	62
3-2-2-III	نزع البكتين	62
4-2-2-III	نزع المواد الشمعية	63
5-2-2-III	المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم NaOH	63
6-2-2-III	مرحلة التبييض NaClO	64
7-2-2-III	المعالجة بمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم KOH	65
8-2-2-III	المعالجة بحمض الكبريتيك H_2SO_4	66
3-III	الخصائص الفيزيوكيميائية	68
1-3-III	دراسة ذوبانية ألياف السليلوز المستخلصة	68

2-3-III	المردود	69
3-3-III	معدل الرماد	70
IV- الفصل الرابع : النتائج والمناقشة		
IV	**النتائج والمناقشة**	
1-IV	مردود الاستخلاص	74
2-IV	معدل رماد	79
3-IV	الذوبانية	81
4-IV	مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)	82
5-IV	المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) و الأشعة المشتتة للطاقة السينية (EDX)	94
1-5-IV	المجهر الالكتروني الماسح (MEB)	95
2-5-IV	تحليل الأشعة المشتتة للطاقة السينية (EDX)	95
6-IV	تحليل العناصر الكيميائية بأطياف تشتت الطاقة للأشعة السينية (EDX) والمجهر الإلكتروني الماسح (MEB)	96
1-6-IV	نتائج المجهر الإلكتروني الماسحMEB للعينة قبل الاستخلاص (نبات الأثل)	96
2-6-IV	التركيبة الكيميائية لمسحوق نبات الأثل الخام	97
3-6-IV	نتائج المجهر الإلكتروني الماسح MEB لألياف السليلوز المستخلصة لعينة الطريقة الأولى	98
4-6-IV	التركيب الكيميائي لألياف السليلوز المستخلصة من الطريقة الأولى	100
5-6-IV	نتائج المجهر الإلكتروني الماسح MEB لألياف السليلوز المستخلصة لعينة الطريقة الثانية	102
6-6-IV	التركيب الكيميائي لألياف السليلوز المستخلصة من الطريقة الثانية	103
7-IV	دراسة مقارنة تحليل العناصر الكيميائية بأطياف تشتت الطاقة للأشعة السينية (EDX) والمجهر الإلكتروني الماسح (MEB) للطرقتين الأولى والثانية	107
	الخلاصة العامة	111-112
	قائمة الملاحق	114-118

الفصل الأول :الدراسة النظرية لنبات الأثل الصحراوي		
الشكل(I . 1)	صورة لنبات الأثل الصحراوي	8
II- الفصل الثاني :الدراسة النظرية للسليلوز		
الشكل(II . 1)	رسم تخطيطي لهيكل جدار الخلية النباتية :تجويف (lumen)،طبقات الجدار الثانوية (S3،S2،S1)،الجدار الأساسي (P)، الصحيفة الوسطى (ml)	17
الشكل(II . 2)	رسم تخطيطي يوضح مكونات الألياف اللجنيوسليلوز	18
الشكل(II . 3)	بنية من نوع الكزيلوجليكان	19
الشكل(II . 4)	البنية الكيميائية للجنين وترابط الوحدات المشكلة له	21
الشكل(II . 5)	التركيبة الكيميائية للوحدات الأولية للجنين	22
الشكل(II . 6)	صورة للبنية الكيميائية للسليلوز	25
الشكل(II . 7)	رسم توضيحي للبنية البلورية للسليلوز	27
III- **الفصل الثالث: العمل التطبيقي**		
الشكل(III . 1)	صورة خريطة لمنطقة الجويني موقع جمع العينة	51
الشكل(III . 2)	صورة موقع جمع العينة	51
الشكل(III . 3)	صورة لنبات الأثل بعد الغسل	52
الشكل(III . 4)	صورة للعينة بعد التقطيع	52
الشكل(III . 5)	صورة للعينة بعد الطحن	52
الشكل(III . 6)	صورة لمرحلة نزع المواد الذوابة في الماء	54
الشكل(III . 7)	صور للمعالجة الحمضية /أ- العينة اثناء المعالجة /(ب و ج) المحلول الناتج من المعالجة المرة الأولى و الثانية	55
الشكل(III . 8)	صور المعالجة القاعدية / أ-العينة اثناء المعالجة / (ب إلى و) ناتج المعالجة من المرة الأولى إلى المرة الخامسة بالتوالي	56
الشكل(III . 9)	صور لمراحل المعالجة ب NaClO (مرحلة التبييض)	58

الشكل(III . 10)	صورة السليلوز المستخلص من الطريقة الأولى	58
الشكل(III . 11)	صورة لتركيبة جهاز سكوسليت	60
الشكل(III . 12)	صورة توضح خطوة نزع البكتين	62
الشكل(III . 13)	صورة توضح خطوة نزع المواد الشمعية	63
الشكل(III . 14)	صورة توضح المعالجة بمحلول (NaOH)	64
الشكل(III . 15)	صور توضح عملية التبييض	65
الشكل(III . 16)	صور توضح عملية المعالجة بمحلول(KOH)	65
الشكل(III . 17)	صورة توضح المعالجة الحمضية	66
الشكل(III . 18)	صورة توضح السليلوز المستخلص	66
الشكل(III . 19)	صورة السليلوز المستخلص من طريقة الثانية	68
الشكل(III .20)	صورة لإختبار ذوبانية السليلوز المستخلص (الطريقة الأولى)	69
الشكل(III . 21)	صورة لإختبار ذوبانية السليلوز المستخلص (الطريقة الثانية)	69
الشكل(III . 22)	صورة توضح رماد العينة	70
IV- **الفصل الرابع : النتائج والمناقشة**		
الشكل(IV . 1)	معادلة مردود الإستخلاص	
الشكل(IV . 2)	معادلة معدل الرماد	
الشكل(IV . 3)	صورة لجهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء	83
الشكل(IV . 4)	صورة لنتائج تحليل الأشعة تحت الحمراء لمسحوق نبات الأثل الخام	84
الشكل(IV . 5)	صورة لنتائج تحليل الأشعة تحت الحمراء للسليلوز المستخلص من الطريقة الأولى	87
الشكل(IV . 6)	صورة لنتائج تحليل الأشعة تحت الحمراء للسليلوز المستخلص من الطريقة الثانية	90
الشكل(IV . 7)	صورة لجهاز المجهر الإلكتروني الماسحMEB	96

الشكل(IV . 8)	صور بالمجهر الإلكتروني الماسح لنبات الأثل الخام	97
الشكل(IV . 9)	طيف تشتت الطاقة بالأشعة السينية لنبات الأثل الخام	98
الشكل(IV . 10)	صور بالمجهر الإلكتروني الماسح لألياف السليلوز المستخلصة	100
الشكل(IV . 11)	طيف تشتت الطاقة بالأشعة السينية لألياف السليلوز المستخلصة	101
الشكل(IV . 12)	صور بالمجهر الإلكتروني الماسح لألياف السليلوز المستخلصة	104
الشكل(IV . 13)	طيف تشتت الطاقة بالأشعة السينية لألياف السليلوز المستخلصة	105
III – الفصل الثالث : العمل التطبيقي		
المخطط (III . 1)	يوضح مخطط العمل لاستخراج السليلوز من العينة	53
المخطط (III . 2)	مخطط تجريبي يوضح مراحل المعالجة	59
المخطط (III . 3)	يوضح مخطط العمل لاستخراج السليلوز من العينة	61
المخطط (III . 4)	مخطط تجريبي يوضح مراحل المعالجة	67

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

I – الفصل الأول :الدراسة النظرية لنبات الأثل		
الجدول(I . 1)	التصنيف العلمي لنبات الأثل	8
II - الفصل الثاني : الدراسة النظرية للسليلوز		
	III -الفصل الثالث : العمل التطبيقي	
الجدول(I . 1)	المواد والأجهزة المستخدمة	44
IV - الفصل الرابع : النتائج والمناقشة		
الجدول(I . 1)	المقارنة بين نتائج وخصائص طريقتي الإستخلاص المعتمدتين	76
الجدول(I . 2)	مقارنة نتائج مردود استخلاص السليلوز المتحصل عليها مع بعض الدراسات السابقة	79
الجدول(I . 3)	مقارنة نتائج نسبة الرماد المتحصل عليها مع الدراسات السابقة	81
الجدول(I . 4)	يوضح دراسة ذوبانية الألياف المستخلصة	82
الجدول(I . 5)	التركيبة الكيميائية لمسحوق نبات الأثل الخام	97
الجدول(I . 6)	العناصر الكيميائية الموجودة في ألياف السليلوز المستخلصة	100
الجدول(I . 7)	العناصر الكيميائية الموجودة في ألياف السليلوز المستخلصة	104

قائمة الرموز و المختصرات

Ash content	معدل الرماد	**Ash**
Bacterial Cellulose	السليلوز البكتيري	**BC**
Crassulacean Acid Metabolism	أيض حمض المخلدات (تطوير آليات التمثيل الضوئي في بعض النباتات الصحراوية)	**CAM**
Carboxymethyl cellulose	كربوكسي ميثيل السليلوز	**CMC**
Cellulose Nanocrystals	البلورات السليلوزية النانوية	**CNC**
Cellulose Nanofibrils	الألياف السليلوزية الدقيقة النانوية	**CNF**
Energy-dispersive X-ray spectroscopy	تشتت الطاقة للأشعة السينية	**EDX / EDS**
Hydroxypropyl cellulose	هيدروكسي بروبيل السليلوز	**HPC**
Infrared (or FTIR for Fourier-transform infrared)	طيف الأشعة تحت الحمراء	**IR**
Scanning Electron Microscopy (French: MEB)	المجهر الالكتروني الماسح (المصطلح بالفرنسية)	**MEB**
Methyl cellulose	ميثيل السليلوز	**MC**
Scanning Electron Microscopy	المجهر الالكتروني الماسح(المصطلح بالإنجليزية)	**SEM**
Initial mass	الكتلة الإبتدائية	**Mi**
Final mass	الكتلة النهائية	**Mf**
Rendement d'extraction	مردود الإستخلاص	**R**

مقدمة عامة :

تُعدّ المناطق الصحراوية والجافة من الأنظمة البيئية الفريدة التي تتسم بظروف مناخية قاسية، كالتذبذب الحراري الحاد والندرة الشديدة في الموارد المائية. ورغم هذه التحديات، استطاعت النباتات الصحراوية تطوير آليات تكيف مورفولوجية وكيميائية حيوية معقدة أتاحت لها البقاء والاستمرارية، مما جعلها مخزناً طبيعياً للمركبات الكيميائية ذات الأهمية البالغة[1] . وفي ظل التوجه العالمي المعاصر نحو الاقتصاد الأخضر وتثمين الموارد الطبيعية المتجددة، تزايد الاهتمام العلمي بالكتلة الحيوية النباتية (Biomass) كبديل للمصادر الأحفورية، ولا سيما المواد اللجنوسليلوزية التي تُشكل الهيكل الأساسي لجدران الخلايا النباتية[2] .

وتتكون هذه المواد اللجنوسليلوزية من مزيج بوليمري معقد يضم ثلاثة مكونات رئيسية هي: السليلوز، الهيميسليلوز، واللجنين[3] . ويحتل السليلوز صدارة البوليمرات الحيوية الأكثر وفرة واستدامة على كوكب الأرض، حيث يتميز ببنية هرمية فريدة تجمع بين مناطق بلورية منتظمة تمنحه الصلابة ومقاومة الإجهاد الميكانيكي، ومناطق غير متبلورة (Amorphous) تمنحه المرونة؛ مما يجعله مادة ليفية مثالية تدخل في شتى التطبيقات البيئية والصناعية الحديثة[4] .

ورغم تعدد مصادر الحصول على السليلوز، فإن البحث عن مصادر نباتية برية غير تقليدية تنمو في المناطق الجافة ولا تنافس المحاصيل الغذائية يُعد ركيزة أساسية لتنمية المحيط وتثمين الثروات المحلية. ومن هذا المنطلق، يبرز نبات الأثل الصحراوي (Tamarix aphylla L) كواحد من أهم الشجيرات المعمرة المنتشرة بكثرة في مجاري الأودية والأراضي الملحية والرملية بالصحراء الجزائرية [5] يمتلك هذا النبات كتلة حيوية غنية بالألياف والسيقان المتينة التي يعود ثباتها الهيكلي إلى المحتوى العالي من السليلوز في جدرانها الخلوية، مما يجعله مرشحاً واعداً ومصدراً مستداماً للاستخلاص الكيميائي [1] .

ومن هنا تتبلور الإشكالية الرئيسية لهذا البحث؛ فرغم المؤهلات الهيكلية الواعدة لنبات الأثل كبديل حيوي مستدام، إلا أن طبيعته كشجيرة صحراوية تنمو في بيئة قاسية قد تؤثر على تركيبته النسيجية ونسبة الشوائب والرماد المصاحبة له. وبناءً على ذلك، تطرح الدراسة التساؤلات الجوهرية التالية:

ما مدى كفاءة نبات الأثل الصحراوي كمصدر محلي لإنتاج السليلوز ذو جودة ونقاوة عالية؟

وكيف تؤثر آلية الفصل الكيميائي (سواء عبر المعالجة المباشرة أو عبر الاستخلاص المسبق بجهاز سوكسلي) على مردودية السليلوز المستخلص وخصائصه الفيزيوكيميائية والمورفولوجية؟

وأيُّ المسارين التجريبيين يُعد الأمثل لتحقيق التوازن بين كمية المردود ونقاوة المنتج النهائي؟

إن النجاح في عزل السليلوز بنقاوة عالية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بآلية الفصل الكيميائي المتبعة، والتي تهدف أساساً إلى التخلص من المكونات المصاحبة كاللجنين والمواد الشمعية. ومن هذا المنطلق، تركز هذه الدراسة على الجانب التطبيقي والمقارن من خلال استخلاص السليلوز من نبات الأثل باستخدام مسارين تجريبيين: الطريقة الكيميائية التقليدية المباشرة (المعالجة المتعاقبة بالأحماض والقواعد والتبييض)، وطريقة الاستخلاص المستمر عبر جهاز سوكسلي (Soxhlet) لإزالة الدهون والزيوت كخطوة تحضيرية.

ولتقييم كفاءة عمليتي الاستخلاص والوقوف على الخصائص الفيزيوكيميائية والمورفولوجية للمنتج النهائي، تم إخضاع عينات السليلوز المستخلصة لجملة من التقنيات التحليلية الحديثة والمتمثلة في:

مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير (FT-IR): لتشخيص المجموعات الوظيفية المميزة للسليلوز وتتبع اختفاء قمم اللجنين والهيميسليلوز.

المجهر الإلكتروني الماسح (SEM): لفحص البنية المورفولوجية والتضاريس السطحية للألياف المعزولة.

تقنية تشتت الطاقة بالأشعة السينية (EDX): لإجراء التحليل الطيفي للعناصر الكيميائية والتأكد من نقاوة المنتج وغياب الشوائب المعدنية.

يهدف هذا العمل الحالي إلى تقديم دراسة مقارنة شاملة (كمية ونوعية) بين طريقتي الاستخلاص، ومناقشة المردود الفيزيائي والكيميائي، ومقارنة النتائج المحصل عليها مع أدبيات الدراسات السابقة لتحديد المسار التجريبي الأمثل للاستفادة من هذا النبات الصحراوي. تنقسم هذه الدراسة إلى أربع فصول:

الفصل الأول : الدراسة النظرية لنبات الأثل.

الفصل الثاني : الدراسة النظرية للسليلوز.

الفصل الثالث : الدراسة التطبيقية لإستخلاص السليلوز.

الفصل الرابع : النتائج والمناقشة.

الجزء النظري

الفصل الأول

الدراسة النظرية لنبات الأثل

I. الدراسة النظرية لنبات الأثل الصحراوي :

تمهيد:

تُعدّ الصحراء من أكثر الأنظمة البيئية قسوة على سطح الأرض، إذ تتميز بتذبذب حراري حاد بين النهار والليل، وندرة شديدة في الموارد المائية، إضافة إلى ضعف الغطاء النباتي والتربة الفقيرة بالعناصر الغذائية. ورغم هذه الظروف البيئية القاسية، تمكنت النباتات الصحراوية من تطوير آليات تكيف فعّالة سمحت لها بالبقاء والاستمرار، مما جعلها مكوّنًا أساسيًا في التوازن البيئي للمناطق الجافة، ومواردًا مهمًا للإنسان والحيوان. ويُعدّ نبات الأثل الصحراوي (Tamarix) من أبرز النماذج التي تعكس قدرة النباتات الصحراوية على التكيف مع الجفاف والملوحة[6].

1.I. النباتات الصحراوية (Desert plants):

تعريف :

النباتات الصحراوية هي نباتات تنمو طبيعيًا في البيئات القاحلة وشبه القاحلة، حيث يكون معدل التساقط المطري السنوي منخفضًا ولا يتجاوز غالبًا 250 ملم. وتتميز هذه النباتات بقدرتها على مقاومة العطش، وتخزين المياه لفترات طويلة، وتحمل درجات الحرارة المرتفعة وظروف التربة القاسية، كما هو الحال في نبات الأثل الذي ينتشر في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية[7] ، تتكيف هذه النباتات بأشكال جذور وشكل أوراق خاص، وقد تكون عشبية أو حولية أو معمّرة أو شجيرات . وتشمل تكيفاتها فسيولوجية وتشريحية مثل طلاء الشمعي على الأوراق والسوق ، تغيرالأوراق اتجاهها لتقليل التعرض للشمس ،امتلاك نسج خازنة للمياه ،خلايا غنية بالمواد الغروية ،مسام عميقة مغطاة بالشمع ،وجذور شاقولية للوصول إلى المياه الجوفية [8]، تعد مصدرا غنيا بالمركبات الكيميائية المعقدة التي قد تمتلك نشاطات بيولوجية .[9]

I .1. 1 . خصائص النباتات الصحراوية (Characteristics of desert plants):

تتصف النباتات الصحراوية بعدد من الخصائص المورفولوجية والفسيولوجية التي تمكّنها من التكيف مع الجفاف، من بينها

- **الأوراق:** غالبًا ما تكون صغيرة الحجم أو متحورة إلى أشواك، مما يقلل من فقدان الماء عن طريق التبخر.
- **الجذور:** تتميز بالامتداد العميق للوصول إلى المياه الجوفية، أو بالانتشار الأفقي الواسع لالتقاط مياه الأمطار بسرعة، وهي خاصية بارزة في نبات الأثل.
- **الساق:** قد تتحور لتخزين المياه كما في بعض النباتات العصارية.
- **التكاثر:** يتم خلال فترات المطر القصيرة عبر بذور سريعة الإنبات والنمو.
- **المواد الكيميائية:** تنتج بعض النباتات مواد شمعية أو زيوت تقلل من التبخر وتحميها من درجات الحرارة المرتفعة .[7]

I .1. 2. أنواع النباتات الصحراوية (Types of desert plants):

1. النباتات الحولية (annual desert Plants):

تنبت بسرعة بعد الأمطار الشتوية أو الربيعية وتكمل دورة حياتها السريعة قبل عودة الجفاف . تنتج بذورا تظل نائمة في التربة لسنوات ، ثم تنبت عند توفر الماء[10].

من الأمثلة :الخبيز والربلة[11] .

2. النباتات العصارية (Succulents Plants) :

تخزن الماء في أوراقها السميكة أو جذورها المنتفخة وتمتص كميات كبيرة بعد المطر[10]، مثل الصبار[12] .

3. النباتات المعمرة الصحراوية (Desert perennial plants) :

النباتات المعمرة تعيش عدة سنوات ، تمتاز بنمو مستمر وتكيفات مقاومة للجفاف[13] ، مثل جذور عميقة تصل للمياه الجوفية أو تصغير الأوراق أو احتفاظها بالأعضاء المخزنة ،ما يمكنها من البقاء في بيئات متنوعة لسنوات طويلة[13].

من الأمثلة : الأرطى والسدر[11] .

I .1. 3. تكيف النباتات الصحراوية مع البيئة الجافة (Adaptation of desert plants to arid environment)

:تتكيف النباتات الصحراوية لتنجو في الظروف القاسية للجفاف والحرارة المرتفعة عبر عدة آليات:

1. **التكيف المورفولوجي:** تحور الأوراق إلى أشواك وزيادة سمك الساق لحماية النبات وتقليل فقدان الماء.

2. **التكيف الفسيولوجي:** تغييرات في العمليات الحيوية مثل إغلاق الثغور نهارًا وفتحها ليلًا، وتطوير آليات التمثيل الضوئي مثل CAM لدى الصبار لتقليل تبخر الماء.

3. **التكيف السلوكي:** إسقاط الأوراق خلال فترات الحرارة الشديدة وإعادة نموها عند تحسن الظروف، ما يقلل استهلاك الماء.

4. التكيف البيئي: مقاومة المعادن الثقيلة أو الظروف غير المستقرة، والتطور المشترك مع الملقحات لضمان التكاثر والبقاء [14] .

I. 1 . 4 . أهمية النباتات الصحراوية (Importance of desert plants):

أ- بيئيًا :

– المساهمة في تثبيت الرمال والحد من ظاهرة التصحر.

– توفير موائل طبيعية للكائنات الحية الصحراوية.

– دعم التوازن البيئي في النظم البيئية الجاف .

ب– اقتصاديًا :

– تُعد مصدرًا للغذاء للإنسان والحيوان.

– تدخل في إنتاج الأخشاب والزيوت الطبية والعطرية.

– لها دور في السياحة البيئية نظرًا لتفردها وجمالها[6].

I .1.5 . التحديات التي تواجه النباتات الصحراوية(Challenges facing desert plants):

تواجه النباتات الصحراوية، بما فيها نبات الأثل، عدة تحديات أبرزها التغيرات المناخية وارتفاع درجات الحرارة، إضافة إلى الأنشطة البشرية مثل الرعي الجائر وقطع الأشجار، فضلاً عن ظاهرة التصحر وقلة الأمطار، مما يزيد من صعوبة بقاء هذه النباتات واستمراريتها[6].

I. 2 . الدراسة النظرية لنبات الأثل الصحراوي:

I . 2 . 1 .العائلة الأثلية (Tamaricaceae):

التعريف:

هي عائلة نباتية تشمل أشجارًا وشجيرات صغيرة لها أوراق متقابلة وصغيرة أزهارها غالبًا على شكل عناقيد تنمو غالبا في البيئات الجافة وشبه الجافة ،وتحتوي على أعضاء تكاثرية ذكرية وأنثوية معًا في نفس الزهرة .المبيض في أعلى الزهرة، والبذور كثيرة ومغطاة شعيرات عند القاعدة تصنف هذه العائلة حاليًا ضمن رتبة (Caryophyllales) [15]

I. 2 . 2 . الأنواع المهمة (Important species):

- Tamarix africana.
- Tamarix aphylla.

I . 2 . 3 . التعريف التصنيفي (Taxonomic definition):

- ينتمي نبات الأثل الصحراوي إلى عائلة الأثلية (Tamaricaceae) .
- يحمل الاسم العلمي: Tamarix articulata Vahl .
- يُعرف كذلك بالمرادف العلمي : Tamarix aphylla (L.) Karst .
- يسمى محليا الأثل : Ethle [16].

الشكلI – (1) : صور لنبات الأثل.

I .2 . 4 . التصنيف (Classification):

جدولI –(1): التصنيف العلمي لنبات الأثل [17]

الرتبة /المستوى التصنيفي	الاسم العلمي	الاسم العربي
المملكة(Kingdom)	Plantae	النباتات
الطائفة/الشق(Clade)	Angiosperms	نباتات كاسيات البذور
الرتبة(Order)	Caryophyllales	القرنفليات
الفصيلة(Family)	Tamaricaceae	الفصيلة الأثلية
الجنس(Genus)	Tamarix L.	الأثل

I. 2. 5 . وصف النبات (Plant description):

يُعد الأثل الصحراوي (Tamarix aphylla) من الأشجار أو الشجيرات المعمرة التي تظهر تكيفاً فريداً، حيث يتراوح طولها بين 5 إلى 20 متراً،تتميز بأزهار وردية اللون فترة نموها تكون في شهري مارس وأفريل. ويبرز نوع (T. aphylla) كشجرة كبيرة الحجم قد يتجاوز ارتفاعها عشرة أمتار، وتتميز بأغصان كثيفة وأوراق دقيقة تحتوي على ثغور مجهرية تفرز مادة مخاطية غنية بالأملاح والكلس[16]، إلا أن تركيز هذه المواد يكون أقل مقارنة بنبات (Tamarix gallica)، مما يمنح (T. aphylla) مظهراً أكثر اخضراراً. وتتجلى القيمة الهيكلية لهذا الجنس في سيقانه وأفرعه الغنية بالألياف النباتية والجدران الخلوية المكونة من السليلوز، بالإضافة إلى الألياف السليلوزية المحيطة ببذوره التي تسهل انتشارها لمسافات طويلة. وبفضل هذا التكوين وقدرة النبات على التكاثر السريع بالبذور أو شظايا السيقان، يضمن الأثل توفراً مستمراً لكتلة حيوية غنية بالسليلوز، مما يجعله مصدراً مستداماً لاستخلاصه [18].

I. 2 . 6 . الموطن البيئي والإنتشار الجغرافي (Ecological habitat and geographical distribution) :

تفضل هذه الشجرة الأراضي الرملية قليلة الملوحة، خاصة في مجاري الأودية لذا تكون منتشرة جداً في المناطق الصحراوية[16] .

I . 2 . 7 . المركبات الفعالة (Active compounds):

- ✓ قلويدات (Alkaloids) .
- ✓ فلافونويدات (Flavonoids) .
- ✓ بوليفينولات (Polyphenols).

- **سليلوز(Cellulose)** : يمنح الأوراق والجذور المتانة والصلابة، ويُستخدم في التطبيقات الطبية والصناعية.

- **النشاط المضاد للبكتيريا والفطريات:**

. **القلويدات:** تثبط Staphylococcus aureus و Pseudomonas aeruginosa .

. **الفلافونويدات:** تثبط Salmonella typhi و Staphylococcus aureus .

مستخلص لحاء الأثل يثبط نمو عدة سلالات بكتيرية وفطرية. [18]

I . 2 . 8 . الاستعمالات (Applications):

1- الاستعمالات العامة :

يوفر الأثل حطبًا جيدًا للتدفئة. ويمكن تدوير خشبه واستعماله في صناعة الأطباق وسروج الجمال. [16]

2 - الاستعمالات العلاجية الطبية :

- مضاد للبكتيريا المسببة للسل، خصوصًا Tamarix africana .

- يُستخدم تقليديًا لعلاج اضطرابات الجهاز الهضمي وأمراض المعدة والاثني عشر (في الجزائر).

- علاج التهاب الكبد، الإكزيما، وأمراض الجلد المختلفة.

- تخفيف الروماتيزم والحمى، والتيتانوس، واليرقان.

- يساعد في التئام الجروح والالتهابات الجلدية.

- **الأجزاء المستخدمة والفوائد:**

✓ **الأوراق:** مضاد للالتهاب، يعالج اضطرابات الهضم، الروماتيزم والحمى، ويساعد على شفاء الجروح.

✓ **اللحاء:** يُستخدم لعلاج التهاب الكبد والإكزيما وأمراض الجلد.

✓ **القلوب / القلل:** تُستخدم لعلاج التهاب الكبد والإكزيما وأمراض الجلد.

✓ **الجذور**: تُسحق وتُطبق على الجروح لعلاج الالتهابات الجلدية. [18]

I . 2 . 9 . الأهمية الرعوية (Pastoral importance) :

نادراً ما ترعاه الجمال. [16]

I . 2 . 10 . المنافع (Benefits):

1- المنافع الطبية والعلاجية (Medicinal and therapeutic benefits):

✓ **مضاد قوي للأكسدة والالتهابات:** تحتوي أوراق وقشور الأثل على نسبة عالية من الفينولات التي تساعد في محاربة الإجهاد التأكسدي وتقليل الالتهابات في الجسم.[19]

✓ **حماية الكبد:** أظهرت المستخلصات الميثانولية للنبات قدرة ملحوظة على حماية خلايا الكبد من التلف الناجم عن السموم.[19]

✓ **مضاد للميكروبات والبكتيريا:** يُستخدم المستخلص المائي والكحولي للأوراق لتثبيط نمو بعض أنواع البكتيريا والفطريات، ومكافحة العدوى الجلدية والجروح.[19]

- ✓ **تسكين الآلام وخفض الحرارة:** يُستخدم في الطب الشعبي التقليدي لتخفيف الآلام المعوية، آلام الأسنان، ونزلات البرد.[19]

2- المنافع البيئية والصناعية (Environmental and industrial benefits):

- ✓ **مكافحة التصحر وتثبيت التربة:** نظراً لجذوره العميقة وقدرته العالية على تحمل الجفاف والملوحة العالية، يُستخدم الأثل بشكل واسع في تشجير المناطق الجافة وتثبيت الكثبان الرملية.[19]
- ✓ **مصدر للمركبات الطبيعية:** يُعد مصدراً واعداً لاستخلاص السليلوز ومواد الدباغة (التانينات) لاستخدامها في تطبيقات صناعية مختلفة.[19]

I .2 .11. مجالات التثمين البيئي لنبات الأثل ومخلفاته الحيوية

Les domaines de valorisation environnementale du Tamarix et de ses résidus biomasse):

1- معالجة المياه الملوثة (Phytoremédiation & Adsorption): يُستغل الأثل كممتز حيوي (Bio-adsorbant) منخفض التكلفة بعد تعديله كيميائياً لإزالة المعادن الثقيلة والأصباغ من مياه الصرف الصناعي، كما تُستخدم قدرته الفيزيولوجية العالية في امتصاص وتفكيك الملوثات من التربة والمياه عبر آلية المعالجة النباتية[20].

2- إنتاج البلاستيك الحيوي (Bioplastiques): يُشكل السليلوز المستخلص من الأثل مادة أولية مستدامة لتصنيع أغشية حيوية قابلة للتحلل الكامل (Films biodégradables)، مما يقدم حلاً جذرياً للحد من التلوث بالبلاستيك التقليدي وجزيئات الميكروبلاستيك [21].

3- إنتاج الطاقة المتجددة (Bioénergie): تُثمن الكتلة الحيوية الناتجة عن مخلفات النبات حرارياً وكيميائياً عبر عملية التحلل الحراري (Pyrolyse) لإنتاج الفحم الحيوي (Biochar) الذي يساهم في احتجاز الكربون وتحسين التربة، أو لإنتاج الوقود الحيوي كبديل للطاقة الأحفورية [22]

4- استصلاح الأراضي والتربة المتدهورة (Restauration des sols): يساهم الأثل في استصلاح الأراضي السبخة (Chotts) عبر امتصاص الأملاح الزائدة وإفرازها، كما أن تحلل أوراقه المتساقطة يغني التربة الرملية بالمادة العضوية (Humus) ويزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة [23]

5- تصنيع المبيدات الحيوية الطبيعية (Biopesticides): نظراً لغنى مستخلصات أوراق وقشور الأثل بالمركبات الفينولية والفلافونويدات، يتم تثمينها كيميائياً لإنتاج مبيدات فطرية وحشرية طبيعية وصديقة للبيئة لتعويض المبيدات الاصطناعية الملوثة للمياه الجوفية [24].

الفصل الثاني

الدراسة النظرية لسليلوز

تمهيد :

في هذا الفصل، سنتناول ألياف اللجنوسليلوز وسنستكشف بنيتها الفراغية ومكوناتها الكيميائية. سنركز بشكل خاص على بنية وخصائص ألياف السليلوز مصادرها ومشتقاتها واستخدماتها .

✓ **الكتلة الحيوية (Biomass) :**

هي مزيج معقد من المواد العضوية مثل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات، بالإضافة إلى كميات صغيرة من مواد غير عضوية مثل الصوديوم والفوسفور والكالسيوم والحديد. يمكن أن تكون هذه المواد ذات أصل حيواني أو نباتي، وهذه الأخيرة هي موضوع بحثنا، حيث يتم إنتاجها خلال تفاعل أكسدة الكربون (CO_2) مع الماء في وجود الضوء (التركيب الضوئي). تشمل مصادر الكتلة الحيوية الأخشاب والنباتات البرية والبحرية والمحاصيل الزراعية والخضار[25].

الألياف هي مواد تأخذ شكل خيوط طويلة بقطر صغير يتراوح بين 3 إلى 10 ميكرومتر. تتميز الألياف الطبيعية بالتفكك البيولوجي وإمكانية الحصول عليها من مصادر متجددة، ويمكن استخراجها بعدة طرق. هناك ألياف ذات أصل حيواني مثل الصوف وخيوط العنكبوت، وأخرى معدنية مثل الأسبستوس الذي يتم استخراجه من الصخور الطبيعية. لكن أهمها هو الألياف النباتية التي سنقوم بتفصيلها لأنها تعتبر المصدر الرئيسي للسليلوز[25].

II . 1 . ألياف اللجنوسليلوز (Lignocellulosic fibers):الألياف النباتية أو المواد اللجنوسليلوزية هي هياكل بيولوجية تستخدم على نطاق واسع في الصناعة بسبب خصائصها الفيزيائية والميكانيكية العالية مثل القوة وخفة الوزن وقلة التكلفة، بالإضافة إلى كونها صديقة للبيئة. لذلك، وسنتناول في الفقرات القادمة البنية والمكونات[25] .

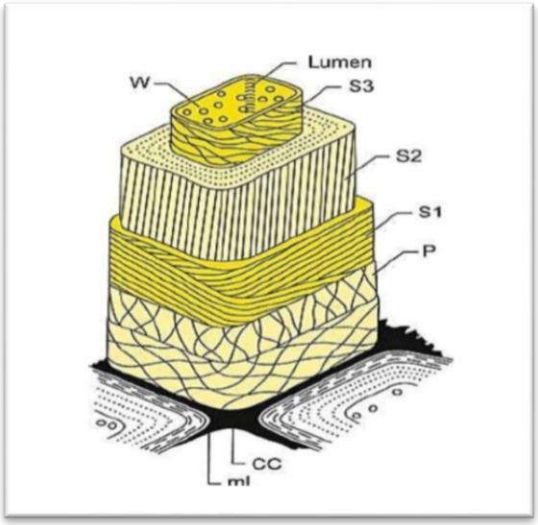
II .1. 1. تعريف اللجنوسليلوز (Definition of lignocellulose):

اللجنوسليلوز هو فئة من عديدات السكاريد غير القابلة للهضم، ويشكّل المكوّن الرئيسي لجدران الخلايا النباتية مثل قش القمح، الأغصان الميتة، سيقان الذرة، الأعشاب المتساقطة، الأوراق ورقائق الخشب. ويتكوّن من مزيج معقد من البوليمرات الكربوهيدراتية (السليلوز والهيميسليلوز) المرتبطة تساهميًا مع اللجنين بالإضافة إلى مواد بكتينية، ويتميّز بكونه مادة مقاومة للتحلل الحيوي ويمنح صلابة وبنية قوية لجدار الخلية النباتية[26] .

II .1. 2 . بنية الألياف اللجنوسليلوزية (Structure of lignocellulosic fibers):

في الواقع، تتكون الألياف النباتية بشكل أساسي من عناصر رئيسة تشكل الكتلة الحيوية النباتية بشكل عام. من الناحية الهيكلية، تتواجد كحزم مكونة من ملايين الألياف المجهرية التي تُعرف باسم "الميكروفيبريل". الوحدة الأساسية لهذه الألياف هي السليلوز الذي يرتبط باللجنين والهيميسليلوز. تحتوي هذه الهياكل على فراغ مركزي محاط بجدار مكون من عدة طبقات تختلف في السمك واتجاه الألياف الدقيقة ونسبة كل من اللجنين والسليلوز والهيميسليلوز .

يتكون الجدار الخلوي من الخارج إلى الداخل كالآتي: الجدار الأول الخارجي (wall-P) رقيق ويتراوح سمكه بين 100 إلى 200 نانومتر، بينما الجدار الثاني الداخلي (wall-S) يتكون من ثلاث طبقات حيث تكون الطبقتان S1وS2أقل سمكًا بينما S3 أكثر سمكًا وتحتوي على أكبر نسبة من مكونات جدار الخلية؛ على سبيل المثال، في الأخشاب اللينة تبلغ نسبة السليلوز حوالي 80% من كتلة الجدار الخلوي ، الشكل يوضح ذلك [25] .

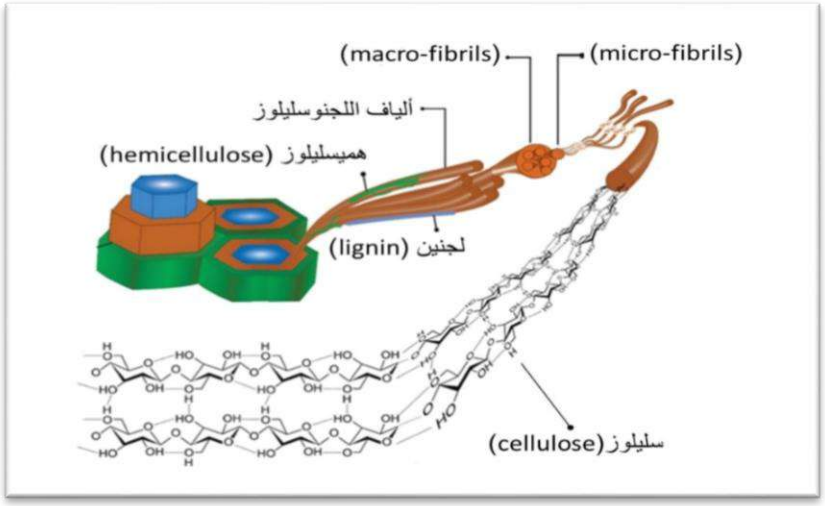


الشكلII (1): رسم تخطيطي لهيكل جدار الخلية النباتية :تجويف (lumen)،طبقات الجدار الثانوية (S3،S2،S1)،الجدار الأساسي (P)، الصحيفة الوسطى (ml)[25] .

II .1. 3 . المكونات الكيميائية لألياف اللجنوسليلوز Chemical components of lignocellulosic fibers) :

تتكون ألياف اللجنوسليلوز (Materials Lignocellulose) من ثلاثة مكونات :

رئيسية هي السليلوز، اللجنين، والهميسليلوز، كما هو موضح في الشكل (1). تُعتبر هذه المركبات الثلاثة الأكثر شيوعًا في الكتلة الحيوية النباتية، حيث تتراوح نسبها كالتالي: السليلوز بين 40% و60%، اللجنين بين 10% و25%، والهميسليلوز بين 20% و40%. بالإضافة إلى ذلك، تحتوي على كميات صغيرة من الرماد والمعادن وبعض المواد المستخلصة مثل البكتين والفينولات والدهون. تختلف البنية والتركيبة الكيميائية لليجنوسليلوز وفقًا لنوع السليلوز[25] .



الشكلII - (2): رسم تخطيطي يوضح مكونات الألياف اللجنيوسليلوز[25].

II .1. 3 . 1. السيليلوز (Cellulose):

يُعد السليلوز المكون الأساسي لجدار الخلايا النباتية، ولهذا يتواجد في جميع المواد النباتية بشكل متعدد السكاريد غير القابل للذوبان. تتفاوت نسبته حسب نوع وطبيعة النبات؛ فعلى سبيل المثال، يصل في القطن إلى أكثر من 90% بينما تتراوح النسبة في باقي الهياكل النباتية بين (30% ـ 50) [25].

II .1. 3 .2 . الهيموسليلوز (Hemicellulose):

هو عبارة عن مجموعة من السكريات المتعددة (Polysaccharides) التي لا تمتلك شكل السليلوز النقي. يتكون من سلاسل سكرية ترتبط ببعضها لتشكل حلقات تحتوي على 5 أو 6 ذرات كربون. في جدران الخلايا النباتية، يعمل الهيميسليلوز كـ "مصفوفة (Matrix) "تحيط وتدعم ألياف السليلوز، تكمن الفروقات الجوهرية عن السليلوز في ثلاثة جوانب رئيسية[27] .

1 - التركيب الكيميائي (Chemical composition) :

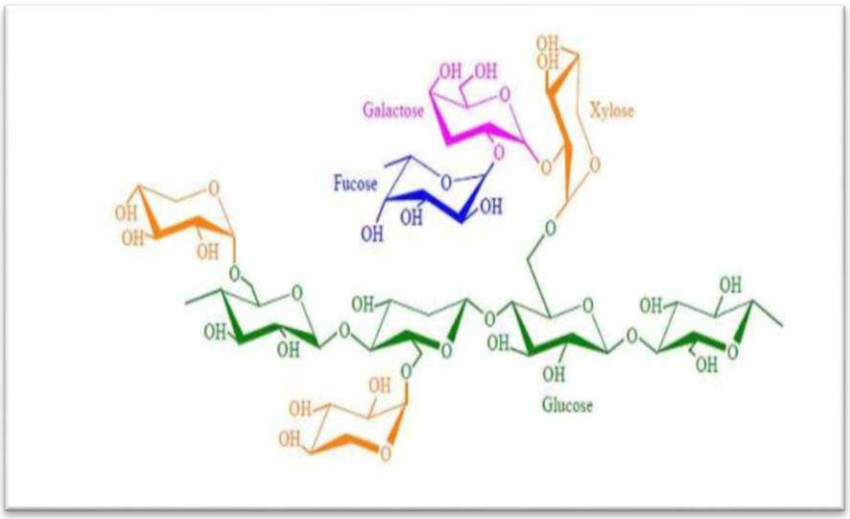
يتكون من سكريات متنوعة (مثل الكزيلوز، الأرابينوز، الجالاكتوز، الجلوكوز، والمانوز) وأحماض يورونيك، بينما السليلوز يتكون فقط من وحدات β-D-glucopyranose المرتبطة بروابط.(4−1) [27].[28].

2 - البنية الهيكلية (Structural architecture):

يحتوي على عدد كبير من الروابط التي تحمل مجموعات جانبية غير بلورية، مما يجعله أقل انتظاماً من السليلوز [27] .

3 - درجة البلمرة(Degree of polymerization):

درجة بلمرته منخفضة تتراوح بين 50 و300، بينما السليلوز الأصلي أعلى منه بمعدل عشر مرات [27] .



الشكلII - (3): بنية من نوع الكزيلوجليكان [27] .

4 - الخصائص الفيزيائية والكيميائية (Physical and chemical properties):

يتميز الهيميسليلوز بخصائص تجعله مختلفاً في التعامل الصناعي والمخبري:

- ✓ **محب للماء:** لديه قدرة عالية على امتصاص الماء.
- ✓ **الذوبان:** قابل للذوبان في الأوساط القلوية(Alkaline media) .
- ✓ **التحلل:** يسهل تحلله باستخدام الأحماض مقارنة بالسليلوز[27].[26] .

5- التنوع والأنواع الشائعة (Diversity and Common Types):

تركيب الهيميسليلوز ليس ثابتاً، بل يختلف حسب مصدر النبات ونوع الخلايا وعمر الأنسجة. ومن أشهر عائلاته في جدران خلايا الخشب:

- ✓ الزيلان(Xylan) .
- ✓ المانان(Mannan) .
- ✓ الجالاكتان(Galactan) [27].

6 - الكزيلوجليكان(Xyloglucan) :

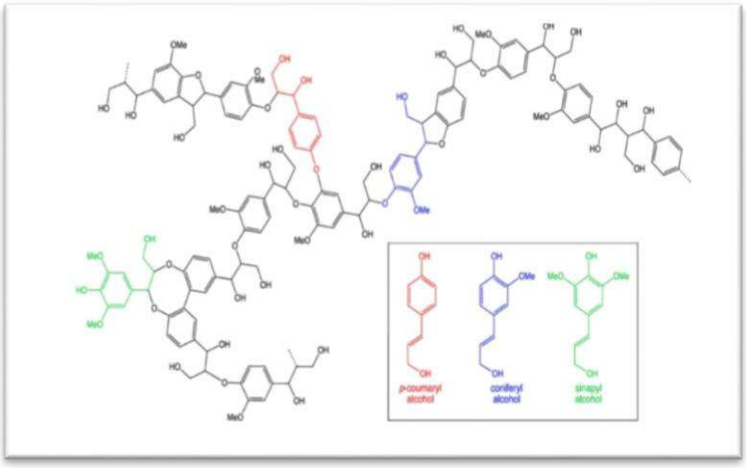
يُعد الكزيلوجليكان من أكثر أنواع الهيميسليلوز دراسة، ويتميز بـ:

- ✓ سلسلة طويلة من الجلوكوز.
- ✓ سلاسل جانبية قصيرة تتكون من الزيلوز، الفوكوز، وسكر اللبن (الجالاكتوز)[27] .

II . 1 . 3 . 3 . اللجنين (Lignin):

اللِّجنين هو بوليمر معقد ذو طبيعة عطرية وغير كربوهيدراتية، وهو ثلاثي الأبعاد ومتفرع ،يمكن العثور على اللِّجنين في جدران خلايا النباتات، وخاصة في الأنسجة الوعائية مثل الخشب. يترسب اللِّجنين في الفراغات بين مكونات الجدار الخلوي مثل السليلوز والهيميسليلوز، ويرتبط بشكل أساسي مع الهيميسليلوز ليشكل طبقة واقية

تعزز تماسك البنية الخلوية ، يُعتبر اللِّجنين ثاني أكثر البوليمرات شيوعًا في الطبيعة بعد السليلوز. يتكون بشكل رئيسي من وحدات فينيل–بروبان ويتميز ببنية غير متجانسة [29] .



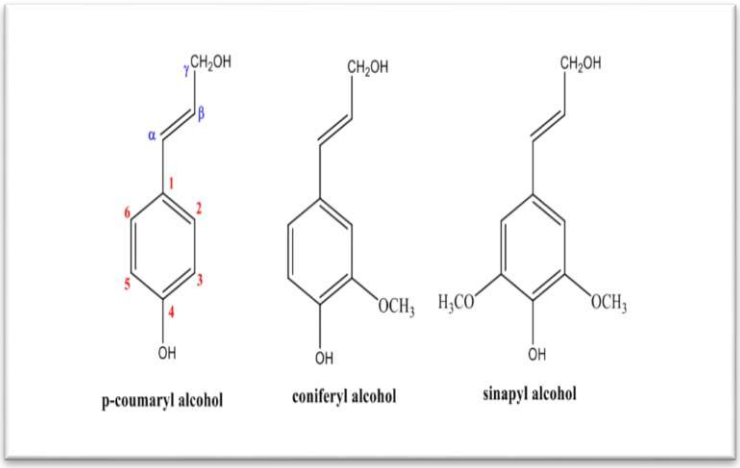
الشكلII - (4): البنية الكيميائية للجنين وترابط الوحدات المشكلة له [25] .

1- التركيب الكيميائي (Chemical Structure):

اللِّجنين هو جزيء حيوي يحتوي على عدة أنواع من الفينولات، ويتكون من ثلاث وحدات أساسية من كحولات هيدروكسي سينناميل وهي :

- ✓ كحول بارا–كوماريل
- ✓ كحول كونيفيريل
- ✓ كحول سينابيل

تختلف هذه الوحدات بناءً على وجود مجموعات الميثوكسي على الحلقات العطرية. ترتبط هذه المونومرات عبر تفاعلات بلمرة نزع الهيدروجين، مما يؤدي إلى تشكيل بوليمر ثلاثي الأبعاد معقد يحتوي على روابط كربون–كربون وروابط إيثرية، مما يشكل بنية عطرية غير متجانسة[29] .



الشكلII - (5) :التركيبة الكيميائية للوحدات الأولية للجنين [25].

2 - للِّجنين دور مهم في (Lignin plays an important role in):

- ✓ تقوية جدران خلايا النباتات ومنع انهيارها .
- ✓ دعم الأنسجة الوعائية، خاصةً في الخشب، حيث تتحمل الخلايا المجوفة الضغط الداخلي الذي يحتاج لدعامة قوية .
- ✓ توفير الدعم الميكانيكي للساق والأوراق .
- ✓ تكوين حاجز وقائي ضد الغزو الميكروبي والإجهاد التأكسدي [29].

3 - الخصائص (Properties):

يمتاز اللِّجنين بـ:

- ✓ مقاومة عالية للتحلل الحيوي .
- ✓ طبيعة غير متبلورة (غير بلورية) .
- ✓ عدم الذوبان في الماء (غير محب للماء) .

- ✓ حساسية للتلف في الوسط القلوي .
- ✓ قابلية الذوبان في بعض المذيبات العضوية مثل الفورماميد والبيريدين .

كما يحتوي على مجموعات وظيفية متنوعة مثل :

- ✓ الهيدروكسيل .
- ✓ الميثوكسيل .
- ✓ الفينولية .
- ✓ الكربونيل .

➢ **تأثيره على المعالجة :**

يؤثر اللِّجنين بشكل كبير على معالجة الكتلة الحيوية لأنه يعيق تفكيك اللجنوسليلوز بسبب بنيته المعقدة وترابطه مع السليلوز والهيميسليلوز. وهذا يتطلب إجراء معالجة أولية باستخدام مواد كيميائية أو إنزيمات أو حرارة لتفكيكه وتحسين استخلاص المكونات. كما يؤثر أيضًا على فعالية تحلل عديدات السكاريد ودرجة الانتقال الزجاجي[29].

2.II. المادة محل الدراسة (السليلوز) (Cellulose) The Material Under Study:

تمهيد:

يُعدّ السليلوز أكثر المركبات العضوية وفرةً على سطح الأرض والمشتقة من الكتلة الحيوية، حيث يُقدَّر إنتاجه العالمي من هذا البوليمر الحيوي بنحو100 مليار طن سنويًا. وهو مادة ليفية بيضاء عديمة الرائحة، تتراوح كثافتها الحجمية بين 0.2 و0.5 غ/سم^3. يمكن الحصول على السليلوز من مصادر طبيعية متنوعة تشمل النباتات مثل القطن والكتان والقنب، وبعض الطحالب والفطريات والبكتيريا، إضافةً إلى الكائنات البحرية مثل التونكيت. كما يوجد في أجزاء نباتية مختلفة مثل الأوراق (السيسال)، والثمار (الموز)، والسيقان والبنى الصلبة

للنباتات كالخشب والكتان. ويعتمد الإنتاج الصناعي للسليلوز أساسًا على المصادر النباتية، خاصة الخشب والقطن لكونهما الأكثر نقاءً والأكثر استخدامًا تجاريًا[30].

يتميز السليلوز ببنية هرمية معقدة تتكون من مناطق بلورية منتظمة وأخرى غير بلورية، مما يمنحه خصائص فيزيائية وميكانيكية مهمة مثل القوة العالية، والمرونة، وانخفاض الكثافة، والقابلية للتحلل الحيوي. وبفضل هذه الخصائص، يحظى السليلوز باهتمام كبير في التطبيقات الحديثة، خاصة في المجال الطبي الحيوي مثل هندسة الأنسجة، وتضميد الجروح، وأنظمة توصيل الأدوية[31].

II . 2 . 1 . تعريف السليلوز:

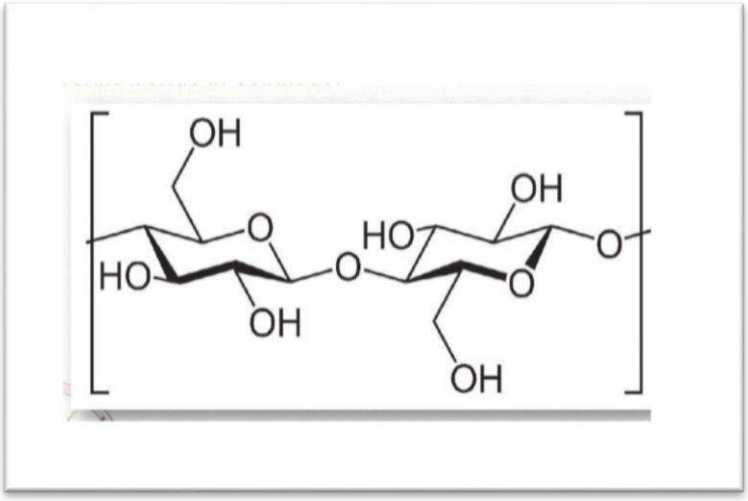
السليلوز هو عديد سكاريد طبيعي يُعدّ أكثر البوليمرات الحيوية وفرة على سطح الأرض، ويتكوّن من سلاسل خطية من وحدات الغلوكوز D مرتبطة بروابط β(1→4) وصيغته الكيميائية ($C_6H_{10}O_5$) ، [30] . ويُعد السليلوز المكوّن البنيوي الرئيسي في جدار الخلية النباتية، حيث يوجد بشكل رئيسي في جدران الخلايا للنباتات والخشب، كما يوجد في الطحالب وبعض أنواع البكتيريا التي تنتجه على شكل ألياف نانوية، إضافةً إلى الكيسيات البحرية ، حيث يساهم في دعم الخلايا ومنحها الصلابة والقدرة على النمو. تتجمع سلاسل الغلوكان عبر الروابط الهيدروجينية وقوى فان دير فال لتشكيل ألياف دقيقة (microfibrils) ذات بنية بلورية، ما يمنح السليلوز قوة ميكانيكية عالية. يتم تصنيع السليلوز في النباتات العليا بواسطة معقّدات سينثاز السليلوز الموجودة في الغشاء البلازمي، حيث تُنتج عدة سلاسل بشكل متزامن لتكوين هذه الألياف الدقيقة[32] .

II . 2 . 2 . البنية الكيميائية (Chemical Structure):

السليلوز هو بوليمر خطي ومتجانس يتكون من تكرار وحدات−β أنهيدروغلوكوز التي ترتبط بروابط جليكوسيدية من النوع .β−(1→4) تحتوي كل وحدة مونومر على ثلاث مجموعات هيدروكسيل، واحدة عند

الكربون C6 واثنتان عند الكربونين C2 وC3 يسمح هذا الترتيب بتكوين شبكة كثيفة من الروابط الهيدروجينية داخل السلاسل وبينها، مما يؤدي إلى تراصها في هيكل ليفي متماسك له ترتيب جزئي بلوري. تتجمع هذه السلاسل لتشكيل ألياف دقيقة (Microfibrils) بفضل قوة هذه الروابط، مما يمنح السليلوز صلابة واستقرارًا عالٍ .

بفضل وجود مجموعات الهيدروكسيل، يتمتع السليلوز بطابع محب للماء، حيث يمكنه التفاعل مع جزيئات الماء مما يسبب انتفاخ بنيته نتيجة ضعف الروابط الهيدروجينية. من ناحية أخرى، فإن فقدان الماء أثناء التجفيف يؤدي إلى تقارب السلاسل وتشكيل روابط هيدروجينية جديدة تكون أكثر ثباتًا. تُعرف هذه الظاهرة بتصلب السليلوز، مما يقلل من مرونة الألياف وقدرتها على إعادة الترابط. كما أن الطبيعة الخطية وقوة الروابط الهيدروجينية تجعل السليلوز مادة صلبة وصعبة الذوبان في معظم المذيبات الشائعة دون الحاجة إلى تعديل كيميائي [33] .



الشكلII - (6): صورة للبنية الكيميائية للسليلوز [34] .

II . 2 . 3 . البنية البلورية للسليلوز (Crystalline Structure of Cellulose):

- تعريف البنية البلورية للسليلوز(Cellulose Crystalline Structure)

تُعرَّف البنية البلورية للسليلوز بأنها الترتيب الفراغي ثلاثي الأبعاد المنتظم والمنسق لسلاسل بوليمر السليلوز داخل المادة الصلبة. تتجمع سلاسل β−D غلوكوز الخطية في مناطق عالية التنظيم تُعرف بـ "المناطق البلورية"

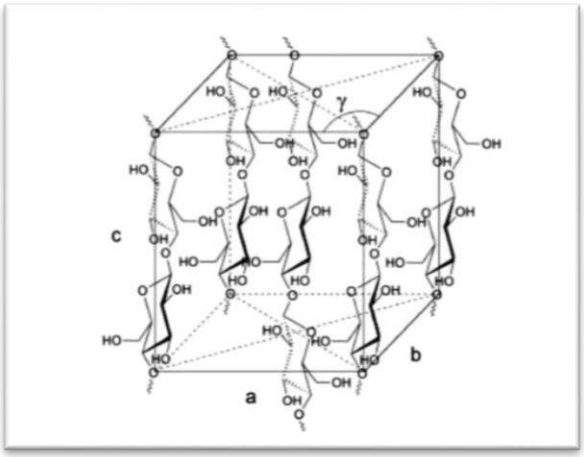
. تتميز بالخصائص البنيوية التالية:

. **التنظيم الجزيئي والروابط:** ترتبط وحدات الأنهيدروغلوكوز بروابط جليكوسيدية4−1− β، وتتثبت البنية البلورية بواسطة شبكة كثيفة من الروابط الهيدروجينية (داخل السلسلة وبين السلاسل) الناتجة عن الانتشار الكثيف لمجموعات الهيدروكسيل (مجموعة أولية ومجموعتان ثانويتان في كل وحدة).

. **تعدد الأشكال البلورية (Polymorphism):** حيث يوجد السليلوز في أربعة أشكال رئيسية(I, II, III, IV) ، ويُعد السليلوز (I) هو النمط الطبيعي الأكثر وفرة، وينقسم إلى نوعين:

- السليلوز(Iα) : يسود في الكائنات البدائية (الطحالب والبكتيريا).
- السليلوز(Iβ) : يسود في النباتات الراقية (الأنسجة الخشبية والقطن).

. **الدور الوظيفي:** تمنح هذه البنية المحكمة للسليلوز خصائصه الفيزيائية والميكانيكية الفريدة، مثل الصلابة العالية، الثبات الكيميائي، وعدم الذوبان في الماء والمذيبات العضوية، كما تتحكم في نفاذية الألياف للسوائل وتفاعلها معها[35] .



الشكلII- (7):رسم توضيحي للبنية البلورية للسليلوز [25] .

II . 2 . 4 . الخصائص الفيزيائية والكيميائية (Physical and chemical properties):

II . 2 . 4 . 1 . الخصائص الفيزيائية للسيليلوز(Physical Properties) :

- ✓ البنية الليفية خفيفة الوزن (Lightweight Fibrous Structures) : يمتاز السيليلوز بكثافة منخفضة وبنية ليفية متناسقة تمنحه وزناً خفيفاً جداً، وهو ما يجعله ركيزة أساسية في صناعات الورق والمنسوجات والمواد المتطورة.
- ✓ المتانة والخواص الميكانيكية العالية (Strong Mechanical Properties) : يمتلك السيليلوز قوة شد وصلابة ميكانيكية ممتازة ناتجة عن الترتيب المحكم لسلاسله البوليمرية.
- ✓ العزل الحراري الفائق (Minimal Thermal Conductivity) : يتميز بانخفاض ناقليته وتوصيله الحراري إلى حد كبير، مما يجعله مادة عازلة ممتازة للحرارة.
- ✓ الخصائص البصرية الجيدة (Good Optical Qualities) : يبدي السيليلوز (خاصة عند أبعاده النانوية) شفافية ونفاذية ضوئية متميزة تجعله مناسباً للاستخدام في الشاشات والإلكترونيات المرنة.

- ✓ التحكم في درجة التبلور (Controlled Crystallinity) : يحتوي على مناطق بلورية عالية الترتيب تمنحه الصلابة الفيزيائية ومقاومة الإجهاد، إلى جانب مناطق غير متبلورة (Amorphous) توفر المرونة.
- ✓ مساحة السطح النوعية العالية (High Specific Surface Area) : تبرز هذه الخاصية بوضوح في المواد السيليلوزية النانوية (Cellulosic Nanomaterials)، مما يمنحها قدرة فيزيائية فائقة على الامتصاص والترابط السطحي.[36]

II . 2. 4 . 2 . الخصائص الكيميائية للسليلوز (Chemical Properties) :

- ✓ الطبيعة البرمائية (Amphiphilic Nature) : يُظهر السيليلوز سلوكاً كيميائياً مزدوجاً (محباً للماء وكاره للماء في آن واحد)، ويعود ذلك بدقة إلى التوزيع الفراغي لمجموعات الهيدروكسيل على طول السلسلة وروابط الكربون في الحلقات.
- ✓ التوافق الحيوي الكامل (Biocompatibilit) : خاصية كيميائية وحيوية جوهرية تعني أن المادة غير سامة، متوافقة مع الخلايا الحية، ولا تسبب أي تفاعلات مناعية طاردة، مما يسمح بدمجها في التطبيقات الطبية والدوائية.
- ✓ القابلية العالية للتحلل الحيوي (Biodegradability) : يمتلك روابط غليكوسيدية قابلة للتفكك بفعل المحفزات البيئية والكائنات الدقيقة، مما يجعله صديقاً للبيئة ومتميزاً ببصمة كربونية منخفضة مقارنة بالبوليمرات المصنعة.
- ✓ النشاط الكيميائي وقابلية التعديل السطحي (Chemical Functionality & Modification) : يرتكز النشاط الكيميائي للسيليلوز على وفرة مجموعات الهيدروكسيل (OH−) النشطة، والتي تعد موقعاً مثالياً لإجراء تفاعلات التعديل الكيميائي السطحي مثل:

- ✓ الأسترة (Esterification)
- ✓ الإيثرة (Etherification)
- ✓ الأكسدة (Oxidation)

وذلك لإنتاج سيليلوز وظيفي (Functional Cellulose) ذي خصائص مخصصة.

- ✓ المقاومة الكيميائية للمذيبات التقليدية : نظراً لشبكة الروابط الهيدروجينية القوية المعقدة بين سلاسله، يبدي السيليلوز مقاومة كيميائية عالية ضد الذوبان في الماء والمذيبات العضوية الشائعة، مما يتطلب استخدام "مذيبات خضراء" متطورة أو سوائل أيونية لتفكيك بنيته البلورية.[36]

II . 2 . 5. مصادر السليلوز(Sources of Cellulose) :

السليلوز هو كربوهيدرات معقد (عديد سكاريد) يشكل لبنة البناء الأساسية لجدران خلايا النباتات، وهو البوليمر الطبيعي الأكثر وفرة في المحيط الحيوي، حيث يقدر إنتاجه وتحلله السنوي عالمياً بحوالي 1.5×10^{12} طن. مع تطور الأبحاث العلمية في السنوات الأخيرة، أصبح من الممكن استخراج السليلوز من مجموعة واسعة ومتنوعة من المصادر النباتية والحيوانية والميكروبية، ويُعد تحديد مصدر السليلوز ذا أهمية كبيرة نظراً لتأثيره المباشر على أبعاد وخصائص السليلوز المستخرج [37] .

1- المصادر النباتية والألياف النباتية (Plant Sources and Plant Fibers):

تعتبر النباتات والنفايات الزراعية المصدر الأساسي للسليلوز، وتشمل كلاً من النباتات الخشبية وغير الخشبية مثل القطن (الذي تصل نسبة السليلوز فيه إلى 90%)، القنب، الجوت، السيزال، بالإضافة إلى أنواع الأعشاب البحرية مثل بوسيدونيا أوشيانيكا. في جدار الخلية النباتية، يتخذ السليلوز شكلاً أنبوبياً يتكون من تكوين

ملفوف حلزونياً لألياف نانوية سليلوزية (تعرف بالألياف الدقيقة للسليلوز) بعرض يتراوح بين 1.5–3.5 نانومتر، ولها ترتيب بلوري جزئي يدمج سلاسل السليلوز الجزيئية المرتبطة بروابط هيدروجينية[37].

وقد تم إجراء العديد من الدراسات لاستخراج السليلوز من مصادر نباتية متعددة، شملت قشور البطاطا، قشور البرتقال، ألياف القطن، الذرة، الخيزران، جوز الأريكا، قشور الخيار، قشور الثوم، شاي أولونغ، تفل قصب السكر، قشور الأرز، ولب البنجر السكري. وقد أظهرت هذه المصادر تفاوتاً في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للسليلوز المنتج منها [37]

2 – الطحالب (Algae):

بعد عدة دراسات متعمقة، تم اعتبار الطحالب بمختلف أنواعها مصدراً واعداً لاستخلاص السليلوز. على سبيل المثال، تم استخراج السليلوز من أنواع مثل فالونيا(Valonia) ، ميكراستيرياس(Micrasterias) ، بوروجيسينيا(Boerogesenia) ، وكلادوفورا(Cladophora) ، بالإضافة إلى الكلوروفيسيا، كيتامورفا ميلاغونيكوم، وغلوكوسيستيس. وقد أظهرت النتائج أن خصائص وأبعاد ألياف السليلوز المستخلصة تختلف حسب نوع الطحالب؛ فالألياف المعزولة من الفالونيا تظهر في شكل أجزاء مربعة بأبعاد تقارب (20 × 20 نانومتر) ونوع تبلورها(Iα) ، بينما الألياف المستخرجة من (M. denticulata) تكون على شكل مقاطع عرضية مستطيلة (20–30 × 50 نانومتر) ونوع تبلورها(Iβ) [37] .

3– البكتيريا (السليلوز البكتيري) (Bacteria (Bacterial Cellulose:

يتم إنتاج السليلوز البكتيري (BC) من خلال عمليات الأيض الأولية لأنواع محددة من البكتيريا تحت ظروف نمو مدروسة بعناية. وتُعد بكتيريا (Gluconacetobacter xylinus) من أكثر الأنواع استخداماً لهذا الغرض. ينتج السليلوز البكتيري على شكل هلام سميك، مع طبقة حبيبية تتكون على السطح المعرض للهواء، بينما يحتفظ

داخلياً بكمية كبيرة من الماء. وتمنحه هذه البنية المتماسكة خواصاً فيزيائية فريدة تجعله مختلفاً عن السليلوز المستخلص من المصادر النباتية أو الطحلبية، مثل النقاوة العالية والبنية الليفية ثلاثية الأبعاد المميزة. بالإضافة إلى ذلك، توجد بكتيريا موجبة الجرام من أجناس أخرى قادرة على إنتاج السليلوز مثل أغروباكتيريوم، سودوموناس، ريزوبيوم، وسارسينكان [37] .

4 – المصادر الحيوانية (Animal Sources):

يوجد السليلوز أيضاً في الأغشية الخارجية لبعض الكائنات البحرية مثل الأسيديان (التونيكات أو بخاخ البحر)، ويمكن الحصول عليه من خلال معالجات تبييض البروتين في تلك الأغشية[37].

II .2 . 6 . مشتقات السليلوز (Cellulose Derivatives):

يُستخلص السليلوز من مصادر نباتية وميكروبية متنوعة، بيد أن قيمته الصناعية الحقيقية تبرز عند تحويله كيميائياً إلى مشتقات ذات خواص محسنة تلبي احتياجات قطاعات واسعة. وتنقسم هذه المشتقات بشكل رئيسي إلى صنفين كبيرين: إسترات السليلوز وإيثرات السليلوز، يضاف إليهما أشكال فيزيائية متخصصة كالسليلوز البلوري الدقيق والسليلوز النانوي[38].

تتصدر نترات السليلوز قائمة الإسترات من حيث الأسبقية التاريخية، إذ اكتُشفت عام 1832 ودخلت التطبيق التجاري كأول بلاستيك صلب عام 1863، وسرعان ما هيمنت على صناعة الأفلام السينمائية والتصوير الفوتوغرافي بفضل شفافيتها وخفة وزنها ومرونتها، كما امتدت استخداماتها إلى المتفجرات والألعاب النارية. أما أسيتات السليلوز فتُستخدم في الأفلام والمنسوجات والطلاءات كبديل عملي للبلاستيك[38].

وفي جانب الإيثرات، يبرز كربوكسي ميثيل السليلوز (CMC) بوصفه الأكثر شيوعاً بفضل ذوبانه الممتاز في الماء وقدرته على العمل كمثخن ورابط ومثبت، مما يجعله أساسياً في مستحضرات التجميل والصناعات الغذائية

والصيدلانية والنسيج وسوائل حفر النفط. وإلى جانبه، يُستخدم ميثيل السليلوز (MC) في الأغذية والأدوية، وهيدروكسي بروبيل السليلوز (HPC) وهيدروكسي بروبيل ميثيل السليلوز (HPMC) في تركيبات التحرر الدوائي، وهيدروكسي إيثيل السليلوز (HEC) في الدهانات ومواد العناية الشخصية. وقد مكنت هذه الإيثرات من إنتاج هيدروجيالات سليلوزية تتميز بمحبة الماء والتحلل البيولوجي والتوافق الحيوي، مما يفتح آفاقاً في هندسة الأنسجة وتنقية الدم ومعالجة المياه [38]

- أشكال فيزيائية متخصصة :

- ✓ السليلوز البلوري الدقيق(MCC) : يستخدم كسواغ في المستحضرات الصيدلانية.
- ✓ السليلوز النانوي (Nanoscale Cellulose) : بات يلعب دوراً محورياً في تطوير المواد المركبة الحديثة، مما يعزز أداء المنتجات الصناعية من خلال تحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية.
- ✓ مشتقات أخرى: هيميسليلوز، أرابينوكسيلان، ليجنو-سليلوز، وملح صوديوم حمض السيلورونيك.

وبالتوازي، يُستخدم السليلوز البلوري الدقيق (MCC) كسواغ رئيسي في الأقراص الدوائية، بينما يقتحم السليلوز النانوي مجالات المواد المركبة والإلكترونيات المرنة بفضل متانته الفائقة ومساحته السطحية الكبيرة[38].

II .2 . 7 . استخدامات السليلوز (Uses of Cellulose) :

للسليلوز ومشتقاته تطبيقات واسعة ومتنوعة في العديد من القطاعات الصناعية والطبية والغذائية.

1 - التطبيقات الصيدلانية والطبية (Pharmaceutical and Medical Applications):

✓ **تغليف الكبسولات الدوائية:**

يستخدم السليلوز في تغليف الكبسولات لحماية الأدوية الحساسة من العوامل البيئية الضارة مثل الرطوبة والأكسجين وظروف التخزين غير المناسبة، مما يضمن الحفاظ على استقرار الدواء وفعاليته طيلة فترة الصلاحية.

السواغات الصيدلانية: يستخدم السليلوز البلوري الدقيق (MCC) كسواغ في الأقراص يعمل كمادة رابطة ومالئة لتعزيز المتانة الميكانيكية وضمان انتشار متساوٍ للمادة الفعالة. كما تستخدم البوليمرات القائمة على السليلوز في تركيبات التحرر الدوائي المتحكم به.

هندسة الأنسجة والطب التجديدي: يجد السليلوز تطبيقات واسعة في المجال الطبي، حيث يُستخدم في زراعة الأسنان وتجديد وترميم العظام، بالإضافة إلى دوره الفعال في تسريع شفاء الجروح. ويُستخدم السليلوز البكتيري (النقي جداً) في ضمادات طبية عالية الجودة لعلاج الجروح والحروق والقروح نظراً لتوافقه الحيوي وامتصاصيته العالية وقدرته على تعزيز تكاثر الخلايا [39]

2- الصناعات الغذائية :

يستخدم السليلوز بكثرة في الصناعات الغذائية، لا سيما في تصنيع المرطبات والمخبوزات، كما يستخدم كبديل للدهون (Fat Replacer) في تركيبات غذائية منخفضة السعرات الحرارية تعتمد على معادلة الطعم الحلو، مما يجعله مناسباً للمنتجات الصحية والحميات الغذائية. ويعمل السليلوز ومشتقاته (مثل ميثيل السليلوز وكربوكسي ميثيل السليلوز) كعوامل تثخين وتثبيت واستحلاب لتحسين قوام واتساق الأغذية المصنعة مثل الصلصات وتتبيلات السلطة والمخبوزات. كما يعمل كمصدر للألياف الغذائية التي تعزز صحة الجهاز الهضمي[39].

3- صناعة الورق والمنسوجات والحرير الصناعي :

يدخل السليلوز بشكل أساسي في صناعة اللب والورق لمختلف الأغراض الصناعية والتجارية، حيث يُستخلص من لب الخشب. كما يُستخدم القطن (المكون الرئيسي للسليلوز) في صناعة الخيوط والأقمشة مثل القمصان والسراويل. بالإضافة إلى ذلك، يُستخدم السليلوز في إنتاج الحرير الصناعي (Rayon) بالاعتماد على الخامات السليلوزية المستخرجة من النباتات[39] .

4- التطبيقات المتقدمة للسليلوز النانوي :

يلعب السليلوز النانوي (Nanoscale Cellulose) دوراً محورياً في تطوير العديد من المواد المركبة الحديثة، مما يعزز من أداء المنتجات الصناعية من خلال تحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية. وتشمل تطبيقاته المتقدمة: هندسة الأنسجة، تنقية الدم، الزراعة، بالإضافة إلى تقنيات تنقية المياه واستخدامها كدعامات في الكروماتوغرافيا [39] .

5- معالجة المياه والبيئة :

تستخدم ألياف السليلوز في أغشية تنقية المياه لإزالة الشوائب والملوثات، حيث تسمح بنيتها المسامية بتثبيت الجسيمات وتحسين جودة المياه[39].

II .2. 8. الآفاق البيئية للسليلوز المستخلص :

يفتح استخلاص السليلوز من نبات الأثل آفاقاً واعدة في مجال الهندسة البيئية، وتحديداً في معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي، وذلك من خلال التطبيقات التالية:

1- تطوير ممتزات حيوية منخفضة التكلفة (Bio-adsorbants): يحتوي السليلوز المستخلص على نسبة عالية من مجموعات الهيدروكسيل (OH-) النشطة على سطحه والمثبتة عبر تحليل FTIR، مما يمنحه قدرة عالية على الارتباط بالجزيئات الملوثة وإزالة الأصباغ العضوية والمعادن الثقيلة كالرصاص والكروم عبر ظاهرة الامتزاز[40].

2-التعديل الكيميائي لزيادة كفاءة التنقية: يمكن تحسين الخصائص السطحية للسليلوز كيميائياً (عبر عمليات السلفنة أو التطعيم Polymer grafting) لإنتاج مرشحات حيوية ذات كفاءة عالية جداً في جذب واحتجاز الملوثات بدقة [41].

3- بديل مستدام للكربون المنشط التجاري: يُعد السليلوز المستخلص بديلاً حيوياً، متجدداً، وصديقاً للبيئة يساهم في خفض التكلفة الاقتصادية والبصمة البيئية لمحطات معالجة المياه مقارنة بالكربون المنشط التجاري[42] . [43].

المراجع

المراجع العربية :

[6].الصحراوية النباتات1 3.2026. Twinkl(n.d)Retreved Fedruay.

[8]. الموسوعة العربية ، النباتات المعمرة التصنيف :التاريخ والجغرافيا والآثار ،المجلد الثاني عشر .طبعة 2005 دمشق.

[10]. بيئة الصحراوية وثروتها 440 نبت العنود الفغم قسم النبات و الأحياء الدقيقة كلية العلوم جامعة الملك سعود 31_30ص 2021.

[11]. وكاري, س. صناعة الإنتماء: دراسة في ملكية الأرض في المجتمع الصحراوي (أيت أوسى 1600-1958). (المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات, 2023).

[12]. الموسوعة العربية ، النباتات العربية السامة (Poisonous Plante _ Plantes toxiqurs)التصنيف التاريخ
والجغرافيا والآثار ،المجلد الثاني عشر .طبعة 2005 دمشق

[13]. وكاري, س. صناعة الإنتماء: دراسة في ملكية الأرض في المجتمع الصحراوي (أيت أوسى 1600-1958). (المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات, 2023)

25].التجاني شعيب، فطحيزة (2020) استخلاص السليلوز من بقايا شجرة نخيل التمر Phoenix dactylifera L: خصائصه ودراسة (أطروحة دكتوراه، جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي، الوادي، الجزائر).

[27]. العايب، النوري. (2021). المواد المركبة ذات مصفوفة مقواة بألياف (أطروحة دكتوراه، جامعة المسيلة، الجزائر).

المراجع الأجنبية :

[1]. Bahramsoltani, R., Kalkhorani, M., Zaidi, S. M. A., Farzaei, M. H. & Rahimi, R. The genus Tamarix: Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. *J. Ethnopharmacol.* **246**, 112245 (2020).

.[2] Popoola-Akinola, O. O., Raji, T. J. & Olawoye, B. Lignocellulose, dietary fibre, inulin and their potential application in food. *Heliyon* **8**, (2022).

[3] . Madhushree, M., Vairavel, P., Mahesha, G. & Bhat, K. S. A Comprehensive Review of Cellulose and Cellulose-Based Materials: Extraction, Modification, and Sustainable Applications. *J. Nat. Fibers* **21**, 2418357 (2024).

[4] . Seddiqi, H. *et al.* Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications. *Cellulose* **28**, 1893–1931 (2021).

[5] Chehma, A. *Catalogue Des Plantes Spontanées Du Sahara Septentrional Algérien*. (Éditions universitaires européennes, 2019).

[7] .Twinkl(n.d)Retreved Fedruay .3.2026… - Google Scholar.

[9]. OTMANI, R. Evaluation du pouvoir herbicide des extraits aqueux de trois plantes spontanées récoltées au Sahara. http://dspace.univ-ghardaia.edu.dz/xmlui/handle/123456789/8238 (2024).

[14]. EBSCO Information Services,… - Google Scholar..

[15] . ABDESSLAM, B. Genre Tamarix L. au Maroc: caractérisation géographique, morphologique, biochimique et effet antibactérien. https://toubkal.imist.ma/handle/123456789/25628 (2020).

[16] . Chehma, A. *Catalogue Des Plantes Spontanées Du Sahara Septentrional Algérien*. (Éditions universitaires européennes, 2019).

[17] . Arianmanesh, R., Mehregan, I., Assadi, M. & Nejadsattari, T. Phylogenetic relationships of the genus Tamarix L.(Tamaricaceae) from Iran based on nuclear and plastid DNA sequences. *Asian J. Conserv. Biol.* **5**, 45–50 (2016).

[18] . ABDESSLAM, B. Genre Tamarix L. au Maroc: caractérisation géographique, morphologique, biochimique et effet antibactérien. https://toubkal.imist.ma/handle/123456789/25628 (2020).

[19] . Bahramsoltani, R., Kalkhorani, M., Zaidi, S.... - Google Scholar.

[20] . Ali, H., Khan, E. & Sajad, M. A. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere* **91**, 869–881 (2013).

[21] . Khalil, H. P. S., Davoudpour, Y., Islam, M. N.,... - Google Scholar.

[22] . Makavana, J. M. *et al.* A review of sustainable technologies for bio-char production from biomass. *Invertis J. Renew. Energy* **10**, 114–129 (2020).

[23] . DE MORAIS, M. B., DO METABOLISMO, P. D. E. R. & DE LEMNACEAE, A. N. P. F. REDE NORDESTE

[24] . Gurib-Fakim, A. Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Mol. Aspects Med.* **27**, 1–93 (2006).

[26] . Tenkanen, M. & Gatenholm, P. *Hemicelluloses: Science and Technology*. (American Chemical Society, 2004).

[28] . Ebringerová, A., Hromadkova, Z. & Heinze, T. Hemicellulose. Advances in Polymer Sciences. (2005).

[29] . Popoola-Akinola, O. O., Raji, T. J. & Olawoye, B. Lignocellulose, dietary fibre, inulin and their potential application in food. *Heliyon* **8**, (2022).

[30] . As' ad yousef Alhaj, N. R. Synthesis of Specialty Polymer from Cellulose Extracted from Olive Industry Solid Waste. (2013).

[31] . Honarkar, H. S. E. O. H., Jin, J., Bacabac, L. C. G. R. G. & Klein-Nulend, J. Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications. *Cellulose* **28**, 1893–1931 (2021).

[32] . Li, S., Bashline, L., Lei, L. & Gu, Y. Cellulose synthesis and its regulation. *Arab. BookAmerican Soc. Plant Biol.* **12**, e0169 (2014).

[33] . Sahin, H. T. & Arslan, M. B. A study on physical and chemical properties of cellulose paper immersed in various solvent mixtures. *Int. J. Mol. Sci.* **9**, 78–88 (2008).

[34] . Tonozuka, T., Yoshida, M. & Takeuchi, M. Enzymes for cellulosic biomass conversion. in *Research approaches to sustainable biomass systems* 225–242 (2013).

[35] . Gomes, T. C. F., & Skaf, M. S. (2012).Journal of Computation chemistry 33 (14) .

[36] . Madhushree, M., Vairavel, P., Mahesha, G. & Bhat, K. S. A Comprehensive Review of Cellulose and Cellulose-Based Materials: Extraction, Modification, and Sustainable Applications. *J. Nat. Fibers* **21**, 2418357 (2024).

[37] . Danafar, F. Recent development and challenges in synthesis of cellulosic nanostructures and their application in developing paper-based energy devices. *Cellul Chem Technol* **54**, 327–346 (2020).

[38] . Atalla, R. H. & Isogai, A. Recent developments in spectroscopic and chemical characterization of cellulose. *Polysacch. Struct. Divers. Funct. Versatility* 123–157 (1998).

[39] . El-Gendi, H., Taha, T. H., Ray, J. B. & Saleh, A. K. Recent advances in bacterial cellulose: a low-cost effective production media, optimization strategies and applications. *Cellulose* **29**, 7495–7533 (2022).

[40] . O'Connell, D. W., Birkinshaw, C. & O'Dwyer, T. F. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresour. Technol.* **99**, 6709–6724 (2008).

[41]. Hubbe.M.A.Amini , E.& Nazhad M.M (2019)

[42] . Converse, A. O. & Saddler, J. N. Bioconversion of forest and agricultural plant residues. *CAB Int. UK Wollingford* **93**, (1993).

[43] . Gupta, V. Ks. Application of low-cost adsorbents for dye removal–a review. *J. Environ. Manage.* **90**, 2313–2342 (2009).

الجزء التطبيقي

الفصل الثالث

إستخلاص السليلوز

III . الدراسة التطبيقية لإستخلاص السليلوز

تمهيد:

بعد استعراض الأسس النظرية والمفاهيم الجوهرية المتعلقة باستخلاص السليلوز من نبات الاثل ، ننتقل في هذا الفصل إلى الجانب التطبيقي ،الذي سنقدم وصف تفصيلي للخطوات التجريبية ابتداء من تحضير العينة الخام وتشخيصها . كما سنصف طريقة استخلاص ألياف السليلوز المتبعة ودراسة خصائصها كما يتضمن هذا الفصل وصفاً لطرق استخلاص ألياف السليلوز المتبعة ودراسة خصائصها وتشخيصها، وقد جُسِّد هذا العمل التجريبي في مخابر كلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة قاصدي مرباح ورقلة، وذلك خلال الفترة الممتدة من [1ماي] إلى [27أفريل] من عام 2026. تمت هذه التجربة إستنادا على المرجعين التاليين: عيشاوي أسماء ، إستخلاص السليلوز من نبات الطرفاء الصحراوي ، 2025. لعمري، بلعباس. استخلاص السليلوز من نبات الدرين، جامعة ورقلة، مذكرة ماستر، 2024.

III .1. الأجهزة والمواد المستعملة:

لإنجاز هذا العمل التجريبي إستعنا بمجموعة من المواد الكيميائية و الأجهزة المخبرية والتي يلخصها الجدولIII. (1) التالي:

الجدولIII - (1): المواد والأجهزة المستخدمة

المواد	الأجهزة
– هيدروكسيد الصوديوم NaOH (1 M). - حمض كلور الماء HCL(0,5 M). - حمض الأسيتيك CH3COOH (10%) . - ماء المقطر(H2O). – الإيثانول (C_2H_6O) 96% – الطوليان (C_7H_8) 99,5% - هيدروكسيد البوتاسيوم(KOH) – حمض الكبريت (H_2SO_4) 99% – كلوريت الصوديوم(NaClO) 95%-97% (0.53M).	- قضيب مغناطيسي. - لوح مسخن مرفق بجهاز قياس درجة الحرارة. - جهاز ترشيح تحت الفراغ . - ورق ph. - ميزان إلكتروني حساس ، فرن كهربائي. - جهاز طرد مركزي. - جهاز الأمواج فوق الصوتية. - بيشر (100،200ml). - مخبار مدرج 100ml. - أرلينة ، حوجلة سعتها 1000ml. - جهاز الأشعة تحت الحمراء IR. - جهاز الطحن. - المجهر الإلكتروني الماسح MEB. - جهاز سوكسلي. - الأشعة المشتتة للطاقة السينيةEDX

III-1-1- التعريف بالأجهزة والتقنيات المستخدمة في الدراسة التحليلية:

1- مطيافية الأشعة تحت الحمراء (IR):

التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (مطيافية الأشعة تحت الحمراء أو التحليل الطيفي الاهتزازي) هو تقنية تُستخدم لقياس تفاعل الأشعة تحت الحمراء مع المادة. يتم ذلك من خلال دراسة امتصاص أو انبعاث أو انعكاس الأشعة.

تُستعمل هذه التقنية لتحديد الروابط الكيميائية أو المجموعات الوظيفية في المواد، سواء كانت في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية.

كما تُستخدم مطيافية الأشعة تحت الحمراء لدراسة بنية المركبات الكيميائية والتعرف على مكوناتها بدقة.

تقنية التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء باستخدام جهاز يسمى طيف الأشعة تحت الحمراء (أو قياس الطيف الضوئي) الذي ينتج طيفا للأشعة تحت الحمراء يمكن تصور طيف الأشعة تحت الحمراء في رسم بياني لامتصاص ضوء الأشعة تحت الحمراء (أو النفاذية) على محور الرأسي مقابل التردد أو العدد الموجي على المحور الأفقي.

وحدات التردد النموذجية المستخدمة في أطياف الأشعة تحت الحمراء هي سنتيمترات متبادلة (تسمى أحيانا العدد الموجي) مع الرمز cm^{-1}.

2- تحليل الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX) والمجهر الإلكتروني الماسح (MEB): المجهر الإلكتروني التحليلي يسمح بتحديد نسب وتركيز العناصر بدقة عالية، حتى عند وجود كميات صغيرة جدًا منها، وذلك من خلال التحليل الطيفي للأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX).

يتم هذا التحليل عبر قياس شدة الإشارات الناتجة ومقارنتها مع عينات مرجعية، من أجل تقليل تأثير عوامل عدم اليقين مثل السمك، والمقطع العرضي للتأين، وكفاءة الكشف، وهندسة الكاشف.

من حيث المبدأ، يمكن أيضًا مقارنة النتائج مع حسابات نظرية للمقاطع العرضية للتأين للحصول على دقة أكبر.

في طيف (EDX)، تظهر القمم الناتجة أساسًا عن الأشعة السينية المنبعثة نتيجة إشعاع مميز لكل عنصر. وتعتمد هذه التقنية على مبدأ أن لكل عنصر في الجدول الدوري تركيبًا ذريًا فريدًا، مما يعطي مجموعة مميزة من القمم في طيف الأشعة السينية.

عند سقوط شعاع عالي الطاقة من الجسيمات النشطة (مثل الإلكترونات أو البروتونات أو الأشعة السينية) على العينة، تنبعث منها أشعة سينية يمكن تحليل طاقتها باستخدام مطياف مشتت للطاقة.

تعكس شدة كل قمة في الطيف كمية العنصر الموجود في العينة.

في تحليل تشتت الطاقة، يتم فحص الإشعاع الفلوري المنبعث من العينة عن طريق فرز طاقة الفوتونات، مما يسمح بتحديد العناصر المكونة لها بدقة.

تعتمد طريقة عمل المجهر الإلكتروني الماسح على استخدام حزمة إلكترونية عالية الطاقة تُسلَّط عموديًا على سطح العينة. عند اصطدام هذه الحزمة بالسطح، تنتج عدة إشارات (مثل الإلكترونات المنعكسة والإلكترونات الثانوية)، يتم التقاطها بواسطة كواشف مختلفة.

يتميّز هذا المجهر بقدرته التكبيرية العالية، والتي قد تصل إلى أكثر من مليون مرة، مما يسمح بدراسة تفاصيل دقيقة جدًا لا يمكن رؤيتها بالمجاهر الضوئية العادية. بفضل هذه التقنية، يمكن دراسة سطح العينة وبنيتها الدقيقة، وكذلك التعرف على مكوناتها، وتحليل المراحل التي مرت بها قبل التشكّل، بالإضافة إلى العديد من التطبيقات الأخرى في مجالات مختلفة.

III.1.2. البروتوكول الموحد لتحضير عينة الدراسة:

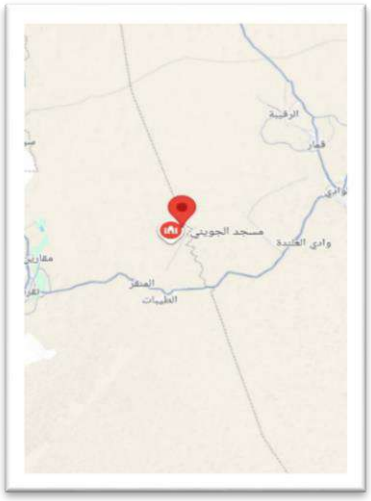
إعتمدنا في منهجية العمل على المراحل الفيزيائية حيث:

III. 1. 2. 1. تحضير العينة:

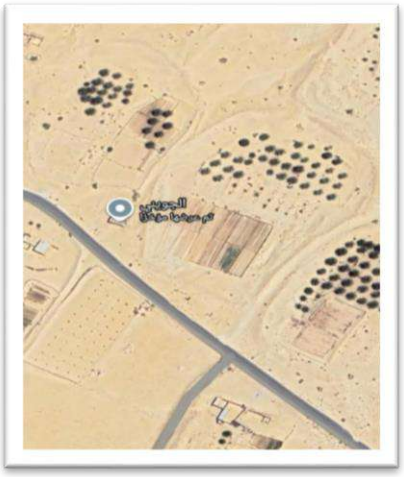
III. 1. 2. 2 . جمع العينة :

تم جمع الجزء العلوي من نبات الأثل من منطقة الجويني بلدية الطيبات ولاية تقرت يوم: السبت10 فيفري 2026 حوالي ساعة 12:00 صباحا.تم أخذ صور الخرائط إستنادا من المرجع التالي:Google. (2026)

Google Maps. Retrieved April10, 2026, from https://maps.google.com



الشكلIII – (1): صورة خريطة لمنطقة الجويني



الشكلIII – (2): صورة موقع جمع العينة.

موقع جمع العينة.

III. 1. 3. المعالجة الفيزيائية (Physical Treatment):

III. 1. 3. 1. غسل وتجفيف العينة:

- تم غسل عينة نبات الأثل بماء الحنفية جيدا 3 مرات ثم بالماء المقطر من أجل إزالة الشوائب .
- تجفف العينة طبيعيا بتعريضها للهواء في مكان ظلي.

الشكلIII - (3): صورة لنبات الأثل بعد غسل .

III. 1. 3. 2 . تقطيع والطحن العينة :

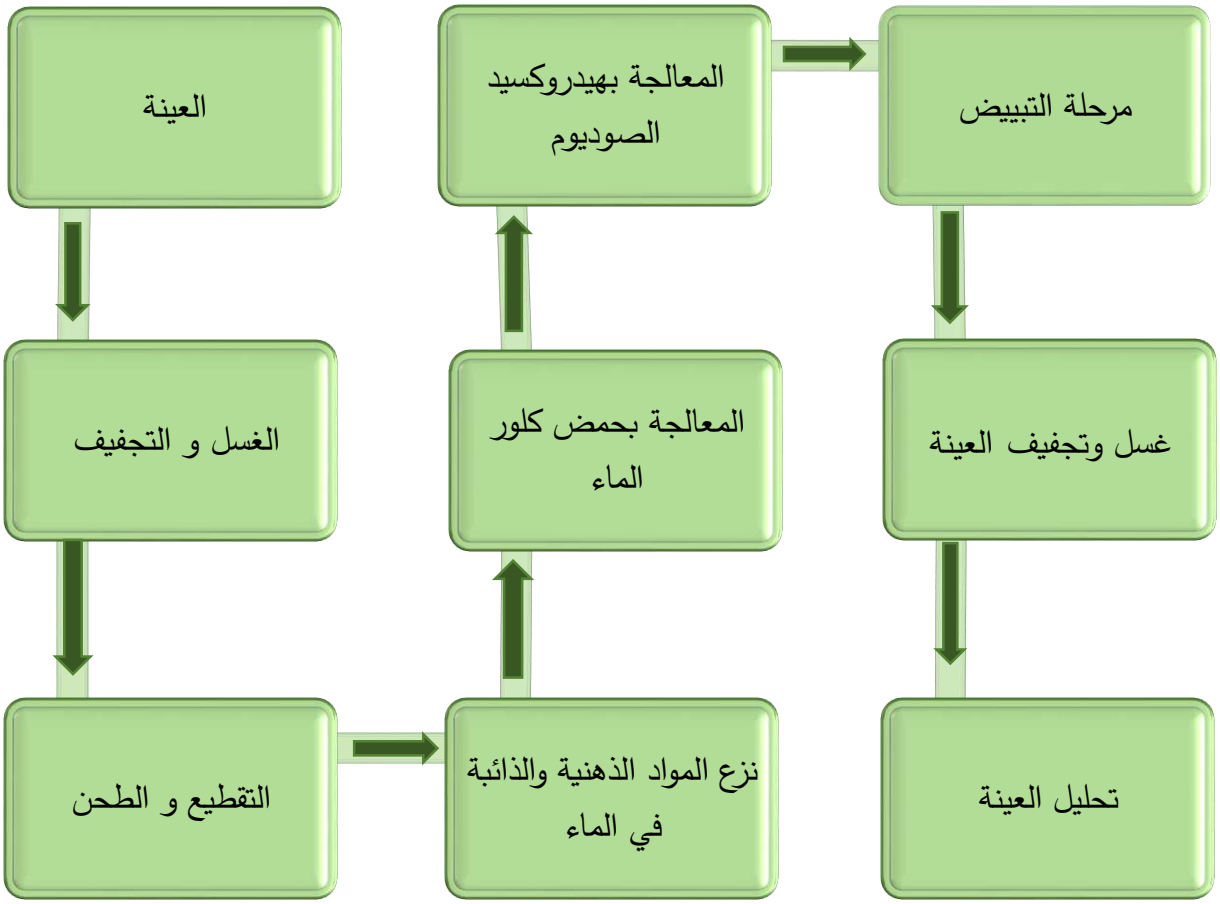
تم تقطيع العينة إلى قطع صغيرة ، ثم طحنت في جهاز الطحن المتواجد في مخبر الكيمياء الحيوية بجامعة ورقلة كلية الرياضيات وعلوم المادة.

الشكلIII - (4): صورة لعينة بعد التقطيع.

الشكلIII - (5): صورة لعينة بعد الطحن.

III. 2. مخطط العمل لاستخراج السليلوز من العينة:

مخطط III - (1):يوضح مخطط العمل لاستخراج السليلوز من الطريقة الأولى :



III. 2. 1. طريقة العمل الأولى:

الطريقة الأقماع لإستخلاص السليلوز من نبات الاثل .

III. 2. 1. 1. المعالجة الكيميائية (Chemical Treatment):

III. 2. 1. 2. نزع المواد الدهنية والمواد الذائبة في الماء :

- نزن 100 غ من عينة نبات الأثل، ثم نضعها في حوجلة سعتها 1000ml .
- نضيف 400 ml من الماء المقطر.
- نقوم برجّ العينة مع تسخينها حتى درجة الغليان لمدة 10 دقائق.
- بعد ذلك، نقوم بترشيح العينة.
- تُوضع العينة في فرن التجفيف عند درجة حرارة 60°C حتى الجفاف.

العينة بعد الغسل .

ترشيح العينة .

الشكلIII - (6): صور لمرحلة نزع المواد الذوابة في الماء .

III. 2. 1. 3. المعالجة الحمضية Acid Hydrolysis (HCl):

❖ تمت معالجة العينة بحمض كلور بتركيز M1 لمدة ساعة على درجة حرارة 60C°.

خطوات المعالجة:

- نقوم بوضع المادة الجافة الناتجة من عملية الغسل في حوجلة سعتها 1000ml .
- نضيف محلول حمض كلور الماء للحوجلة.
- ترج العينة بواسطة قضيب مغناطيسي مع التسخين.
- بعد انتهاء الوقت اللازم يتم ترشيح العينة.
- تكرر العملية مرتين.
- تجفف الرشاحة بمجفف كهربائي عند درجة حرارة60 C°

(أ)

(ب)

(ج)

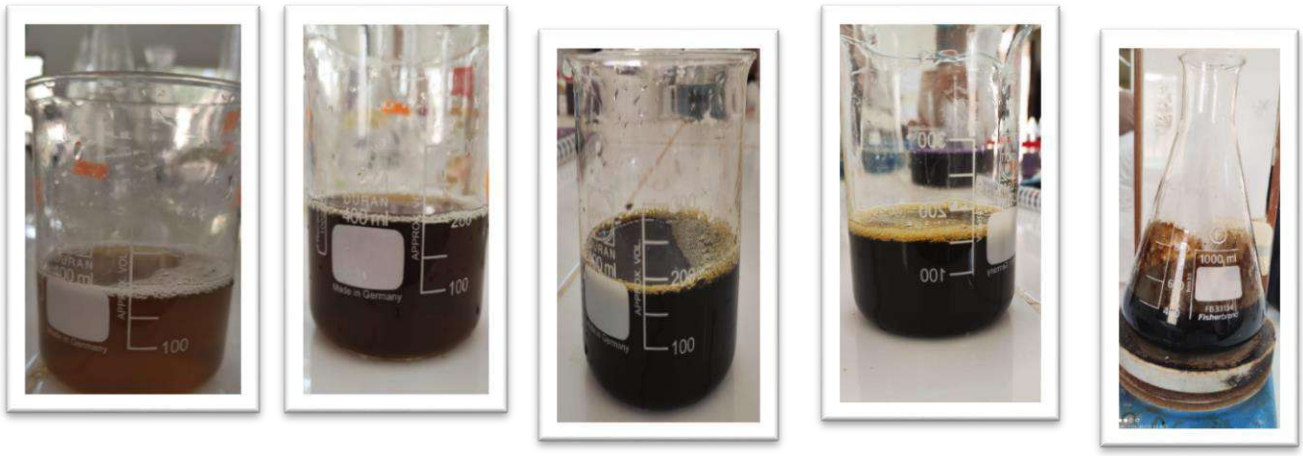
الشكلIII - (7): صور للمعالجة الحمضية /أ- العينة اثناء المعالجة /(ب و ج) المحلول الناتج من المعالجة المرة الأولى و الثانية.

III. 2. 1. 4. المعالجة القاعدية بهيدروكسيد الصوديوم (NaOH):

❖ تتم المعالجة بـ NaOH بتركيز 1 M، عند درجة حرارة 60°C لمدة ساعة ، وذلك لإزالة الهيميسليلوز.

خطوات المعالجة:

- نقوم بوضع المادة الجافة الناتجة من المعالجة الحمضية في حوجلة سعتها 1000ml .
- نضيف 250ml محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى حوجلة.
- تتم عملية الرج مع التسخين باستخدام قضيب مغناطيسي.
- بعد انتهاء الوقت اللازم، يتم ترشيح العينة.
- تُكرر العملية بـ NaOH حتى الحصول على مستخلص عديم اللون.
- نغسل الرشاحة بالماء المقطر حتى تعديل قيمة pH.
- تُجفف الرشاحة في مجفف كهربائي عند درجة حرارة 60°C.



(أ) (ب) (ج) (د) (و)

الشكل III - (8): صور المعالجة القاعدية / أ-العينة اثناء المعالجة / (ب إلى و) ناتج المعالجة من المرة الأولى إلى المرة الخامسة بالتوالي.

III . 2. 1. 5. مرحلة التبييض (Bleaching Process):

❖تتم المعالجة بـ NaClO بتركيز(0.53 M)، عند pH = 5 لمدة ساعة، وفي درجة حرارة 80°C، وذلك لإزالة بقايا اللجنين والحصول على السليلوز النقي.

خطوات المعالجة:

- نقوم بوضع المادة الجافة الناتجة من المعالجة القاعدية في حوجلة سعتها 1000ml .
- نضيف250 ml محلول ماء جافيل (NaClO)إلى حوجلة.
- نضيف حمض الخل حتى تصل الحموضة إلى 5.
- تتم عملية الرج مع التسخين باستعمال القضيب المغناطيسي.

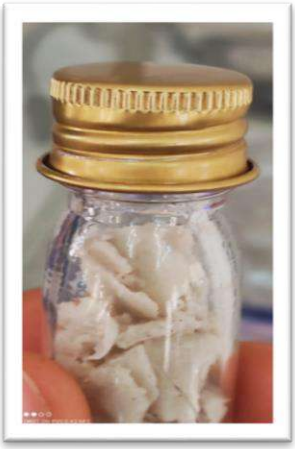
بعد انتهاء الوقت اللازم يتم ترشيح العينة.

- تكرر العملية مع NaClO حتى الحصول على المستخلص الناتج عديم اللون.
- نغسل الرشاحة بالماء المقطر وبجهاز الطرد المركزي حتى اختفاء أثر الكلور.
- نأخذ العينة إلى حوض الأمواج فوق الصوتية لإزالة التكتلات لمدة نصف ساعة.
- تجفف الرشاحة بمجفف كهربائي عند درجة حرارة 50C°.
- نأخذ العينة إلى التحاليل.

المعالجة الرابعة والأخيرة المعالجة الأولى

صورة الناتج بعد المعالجة

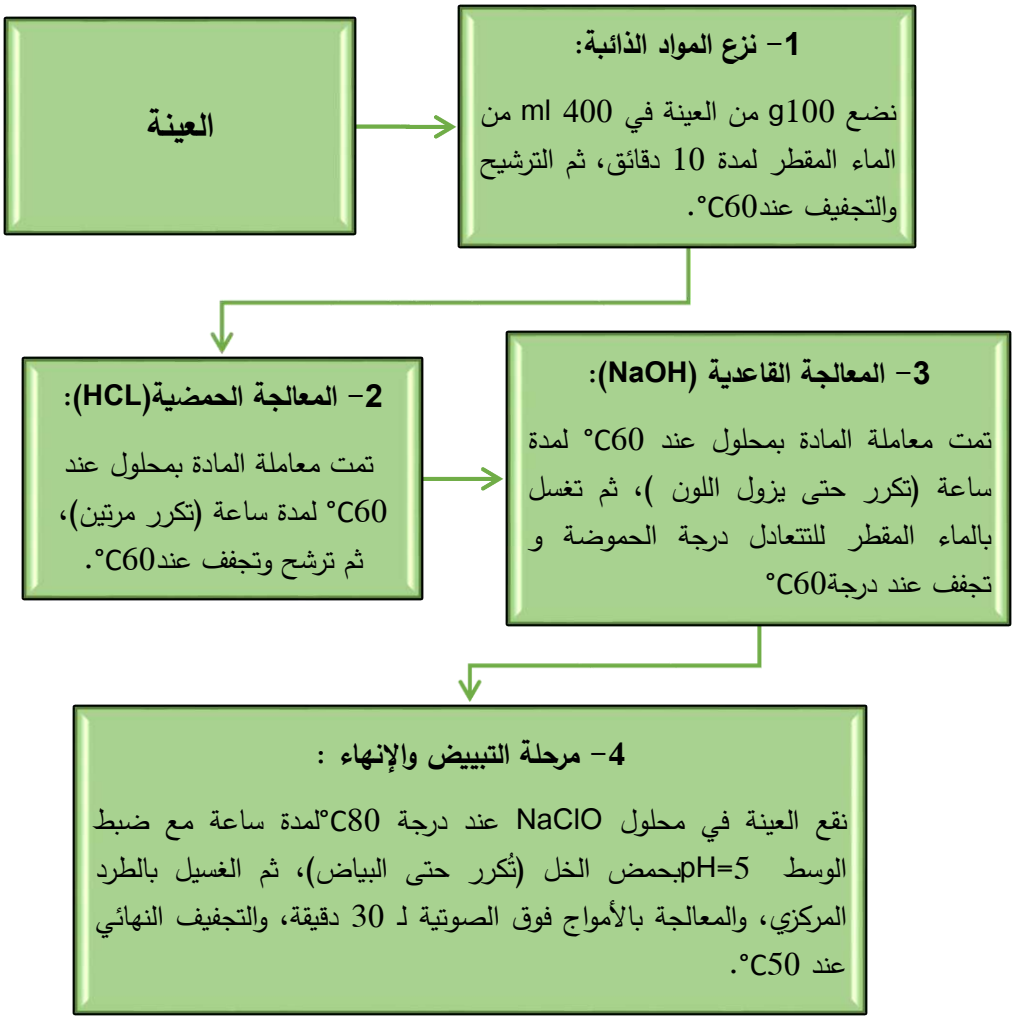
الشكلIII - (9): صور لمراحل المعالجة ب NaClO (مرحلة التبييض)



الشكلIII -(10): صورة توضح السليلوز المستخلص من الطريقة الأولى.

تمت المعالجة وفق مخطط التالي :

مخطط III - (2): مخطط تجريبي يوضح مراحل المعالجة



III.2.2. الطريقة الثانية:

استخلاص السليلوز من نبات الأثل بواسطة تركيبة سوكسلي.

الهدف:

نهدف من استخدام جهاز سوكسلي إلى إزالة المركبات القابلة للذوبان مثل الدهون والزيوت من العينة النباتية ، وذلك لتنقية المادة الأولية وتحسين جودة ومردود استخلاص السليلوز.

III. 2.2 - 1 - تعريف بجهاز تركيبة سوكسليت (Soxhlet):

هي وسيلة من وسائل الفصل تُستخدم لاستخلاص المركبات من المواد الصلبة باستعمال مذيب سهل التطاير.

يوضع المذيب في دورق، ويتصل هذا الأخير بأنبوب الاستخلاص، حيث توضع المادة الصلبة المحتوية على المركب المرغوب داخل خرطوشة مصنوعة من السليلوز أو من ورق ترشيح سميك، مع وزن معلوم من العينة.

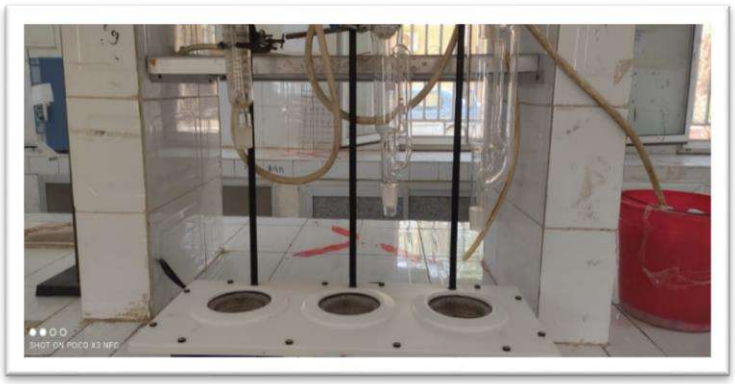
توضع الخرطوشة في الغرفة الرئيسية لجهاز سوكسليت، ثم تُركب المكثفة.

يُسخن المذيب فيتبخر، ويصعد البخار عبر ذراع التقطير، ثم يتكثف ويعود على شكل سائل ساخن إلى الغرفة التي تحتوي على العينة.

عند امتلاء غرفة سوكسليت، تُفرغ تلقائيًا بواسطة ذراع سيفون جانبية، ليعود المذيب إلى دورق التقطير.

تتكرر هذه العملية عدة مرات لضمان استخلاص جيد.

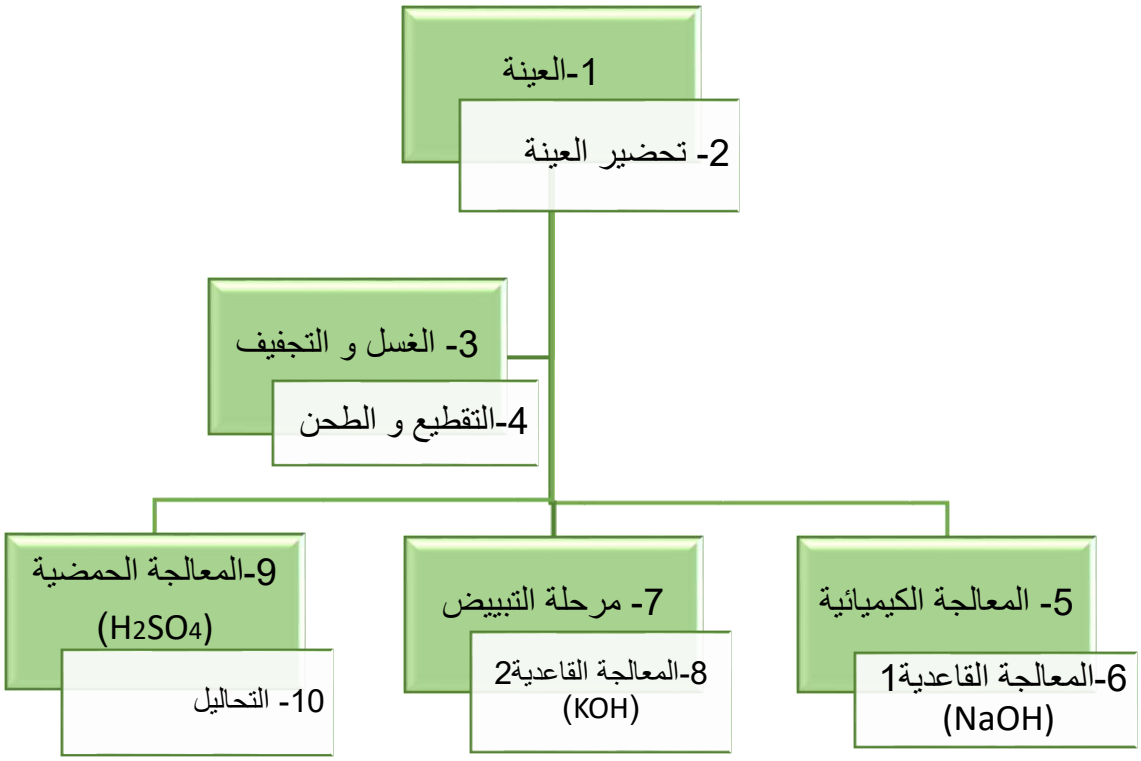
بعد انتهاء الاستخلاص، يُزال المذيب ويُبخر باستعمال المبخر الدوراني للحصول على المستخلص النهائي.



الشكلIII - (11): صورة لتركيبة جهاز سوكسلي

تمت طريقة العمل وفق المخطط التالي:

مخطط III - (3):يوضح مخطط العمل لاستخراج السليلوز من الطريقة الثانية



تم إعداد وتحضير عينة التجربة الثانية باتباع نفس المراحل المذكورة سابقاً في البروتوكول الموحد (العنصر)، لتبدأ مباشرة المعالجة التالية:

III. 2 . 2. 2 . المعالجة الكيميائية:

III . 2 . 2 . 3. نزع البكتين:

بعد تحضير العينة، تم وزن كمية قدرها 10 g، ثم نُقعت في 800 ml من الماء المقطر لمدة ساعتين (h2) عند درجة حرارة 50°C، وذلك بهدف إزالة مادة البكتين.

بعد الترشيح **قبل الترشيح**

الشكلIII - (12): صور توضح خطوة نزع البكتين.

III. 2 . 2 . 4 . نزع المواد الشمعية :

تمت إزالة المواد الشمعية باستخدام جهاز سوكسليت (Soxhlet)، وذلك باستعمال مزيج من الطوليان والإيثانول بنسبة مناسبة(2/1) لمدة 4 ساعات.

تُجرى هذه العملية بهدف استخلاص المركبات الشمعية والمواد الدهنية من العينة، مما يساعد على تنقيتها قبل المراحل اللاحقة من المعالجة.

الشكل III - (13): صور توضح خطوة نزع المواد الشمعية.

III . 2 . 2 . 5 . المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم (NaOH):

بعد غسل البقايا الصلبة بالإيثانول المخفف وتجفيفها، تمت معالجتها 20ml بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 20%.

استُخدمت نسبة صلب إلى سائل قدرها (2/1)، وتمت المعالجة عند درجة حرارة 105°C مع التحريك المستمر.

أُعيدت هذه الخطوة مرتين تحت نفس الظروف، ثم رُشِّحت العينة وغُسلت جيدًا بالماء المقطر حتى الوصول إلى درجة حموضة متعادلة (pH ≈ 7).

بعد الترشيح(المعالجة الأولى وثانية) **صورة اثناء المعالجة**

الشكلIII - (14): صور توضح المعالجة بمحلول (NaOH)

III. 2. 2 .6 . مرحلة التبييض(NaClO):

بعد تجفيف البقايا الصلبة، ومن أجل تبييضها، تم نقعها في محلول 150mlهيبوكلوريت الصوديوم بتركيز 12°C.

تم ضبط درجة الحموضة عند pH = 5 باستعمال حمض الأسيتيك (CH_3COOH) بتركيز 10%.

أُجريت العملية لمدة ساعة واحدة (h1) عند درجة حرارة 70°C.

أُعيدت هذه الخطوة مرتين تحت نفس الظروف، ثم غُسلت العينة جيدًا بالماء المقطر إلى أن وصلت إلى درجة حموضة متعادلة

صورة بعد الترشيح صورة اثناء المعالجة

الشكلIII - (15): صور توضح عملية التبييض .

III . 2 . 2. 7 . المعالجة بمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH):

بعد مرحلة التبييض، تمت معالجة العينة 100ml بمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم بتركيز 5%.

أُجريت المعالجة عند درجة حرارة C°25 لمدة 15 ساعة.

بعد ذلك، غُسلت العينة عدة مرات بالماء المقطر حتى الوصول إلى درجة حموضة متعادل.

مستخلص الرشاحة العينة بعد المعالجة

الشكلIII - (16): صورة توضح عملية المعالجة بمحلول (KOH).

III . 2 . 2 . 8 . المعالجة بحمض الكبريتيك (H_2SO_4) :

تمت معالجة البقايا الصلبة 60ml بحمض الكبريتيك بتركيز 2%.

أُجريت العملية عند درجة حرارة 80°C لمدة ساعة واحدة (h1).

بعد ذلك، غُسلت العينة جيدًا بالماء المقطر حتى الوصول إلى درجة حموضة متعادلة.

الرشاحة

العينة أثناء المعالجة

الشكلIII - (17): صور توضح المعالجة الحمضية

السليلوز الناتج

العينة أثناء الغسل

الشكلIII - (18): صور توضح السليلوز المستخلص.

تمت المعالجة الكيميائية وفق المخطط التالي:

مخطط III - (4): مخطط تجريبي يوضح مراحل المعالجة:

العينة

نزع البكتين والمواد الذوابة في الماء:

تم وضع العينة في الماء المقطر مع التحريك المستمر لمدة عند درجة حرارة 50 ، وذلك بهدف إزالة (2h) ساعتين البكتين والمواد القابلة للذوبان في الماء.

نزع المواد الدهنية:

تمت إزالة المواد الدهنية باستعمال جهاز سوكسلي باستخدام مزيج من (الطوليان/الإيثانول) لمدة أربع ساعات، بهدف استخلاص الدهون والشوائب العضوية من العينة.

المعالجة القاعدية الأولى:

تمت معالجة العينة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH20 %) عند درجة حرارة C105° لمدة ساعة ونصف، وذلك لإزالة جزء من اللجنين والهيميسليلوز والشوائب المرتبطة.

التبييض:

تمت عملية التبييض باستعمال محلول كلوريت الصوديوم ($NaClO_2$) عند درجة حرارة 70 °Cلمدة ساعة واحدة، مع ضبط درجة الحموضة عند5 = pH ، وقد أُعيدت العملية مرتين للحصول على تبييض أفضل للعينة.

المعالجة القاعدية الثانية:

تمت معالجة العينة بمحلول هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH5%) عند درجة حرارة C25°، وذلك لإزالة بقايا الهيميسليلوز والشوائب المتبقية وتحسين نقاوة السليلوز.

المعالجة الحمضية:

تمت معالجة العينة بحمض الكبريتيك (H_2SO_4) لمدة ساعة واحدة عند درجة حرارة C80° ، وذلك لإزالة الشوائب المتبقية والمساهمة في تنقية السليلوز وتحسين خصائصه.

الشكلIII - (19): صور السليلوز المستخلص من الطريقة الثانية.

III . 3 . الخصائص الفزيوكيميائية:

تمت دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة الخام والمواد المعزولة منها باستخدام التحاليل الكيميائية وفق الطرق القياسية التالية:

III. 3. 1. دراسة ذوبانية الألياف السليلوز المستخلصة:

لدراسة ذوبانية ألياف السليلوز المستخلصة، تم استعمال ثلاثة مذيبات وهي: الأسيتون، الكلوروفورم، والماء المقطر.

حيث تم وضع كمية قليلة من السليلوز المستخلص في حجم معين من كل مذيب على حدة، ثم تُترك لمدة زمنية محددة. بعد ذلك، يتم تسجيل الملاحظات والنتائج .

أسيتون

كلوروفورم

ماء مقطر

الشكلIII - (20): صور لاختبار ذوبانية السليلوز المستخلص (الطريقة الأولى).

الماء المقطر

الأسيتون

كلوروفورم

الشكلIII - (21): صورة لاختبار ذوبانية السليلوز المستخلص (الطريقة الثانية).

III. 3. 2.المردود :

تم تحديد مردود العينتين في هذا العمل باستخدام العلاقة التالية:

$$R\ (\%) = (mf / mi) \times 100$$

حيث:

mi : الكتلة الأولية للمادة الخام

mf : الكتلة النهائية للمادة المستخلصة

III. 3. 3. معدل الرماد(Ash Rate) :

تم تحديد معدل الرماد بطريقة التكليس(Calcination) ، وذلك بأخذ كتلة معينة من العينة ووضعها في فرن عند درجة حرارة 500 °C لمدة 4 ساعات، مع اتباع الخطوات التالية:

يتم أخذ كمية معروفة من العينة وتجفيفها ثم وزنها، وتسمى هذه الكتلة الكتلة الأولية (mi) .

توضع العينة في الفرن وتُعرض لعملية التكليس عند 500 °C لمدة 4 ساعات.

بعد انتهاء العملية، تُخرج العينة وتُترك لتبرد داخل مجفف.(Desiccator)

الشكلIII - (22): صورة توضح رماد العينة.

يتم وزن العينة بعد التكليس، وتسمى الكتلة النهائية.(mf)

حساب معدل الرماد:

يتم حساب معدل الرماد باستعمال العلاقة التالية:

$$Ash\% = (mf / mi) \times 100$$

النتائج و المناقشة

الفصل الرابع

النتائج و المناقشة

IV- النتائج و المناقشة:

تمهيد:

بعد عرض الجوانب النظرية والتجريبية المتعلقة باستخلاص السليلوز من نبات الأثل بواسطة طريقتين الأولى بالأقماع، وثانية بتركيبة سوكسلي ، يأتي هذا الفصل لتقديم النتائج المتحصل عليها ومناقشتها. يهدف هذا الفصل إلى تحليل المعطيات التجريبية بدقة من خلال تقييم مردود الاستخلاص وخصائص السليلوز المستخرج، مثل اللون، الذوبانية، ونسبة الرماد، إضافة إلى دراسة نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية المنجزة. كما يتضمن مقارنة النتائج المتحصل عليها مع نتائج دراسات سابقة مماثلة، وذلك من أجل تقييم فعالية المعالجة الكيميائية المعتمدة ومدى نجاحها في الحصول على سليلوز ذو نقاوة جيدة ، وذلك إستنادا على المرجعين التاليين :

. عيشاوي أسماء ، إستخلاص السليلوز من نبات الطرفاء الصحراوي ، 2025 لعمري، بلعباس. استخلاص السليلوز من نبات الدرين، جامعة ورقلة، مذكرة ماستر، 2024

IV. 1 . مردود الاستخلاص:

$$R\% = (m_f / m_i) \times 100 \quad \text{(الشكل (IV-(1)}$$

IV. 1.1 . الطريقة الأولى: استخلاص السليلوز بطريقة الأقماع

أ- العلاقة الرياضية لحساب المردود:

$$R\% = (mf / mi) \times 100 = (14.6844/100) \times 100$$

$$R = 14.6844\%$$

ب- مناقشة وتحليل نتائج الطريقة الأولى:

أظهر مردود استخلاص السليلوز المتحصل عليه، والمقدر بـ 14.6844%، كفاءة مقبولة لعملية الاستخلاص، مما يؤكد إمكانية استخدام نبات الأثل كمصدر نباتي محلي ومستدام لاستخلاص السليلوز. ويمكن تحسين هذا المردود من خلال التحكم بشكل أفضل في شروط المعالجة الكيميائية، مثل التركيز، درجة الحرارة، ومدة المعالجة، أو بالاعتماد على أجزاء معينة من النبات كالساق دون الأوراق.

كما أن قيمة المردود المتحصل عليها تعد قريبة من النتائج المسجلة في دراسات سابقة أجريت على نباتات ليفية مشابهة مثل Phragmites australis وArundo donax، حيث تراوحت نسب استخلاص السليلوز بين 14% و25% باستعمال طرق معالجة كيميائية مشابهة. وعليه، فإن النتيجة المتحصل عليها في هذه الدراسة تقع ضمن المجال المقبول، مما يعزز موثوقية النتائج وفعالية الطريقة المعتمدة في استخلاص السليلوز من نبات الأثل.

IV.1. 2. الطريقة الثانية: استخلاص السليلوز بواسطة جهاز سوكسلي (Soxhlet):

تعتمد هذه الطريقة على الاستخلاص المستمر باستخدام جهاز سوكسلي ، بهدف إزالة المواد الذائبة غير السليلوزية (مثل الدهون، الشموع، والراتنجات) وزيادة كفاءة ونقاوة السليلوز المستخلص من نبات الأثل.

أ. العلاقة الرياضية لحساب المردود:

يتم تحديد مردود الاستخلاص بالطريقة الثانية في هذه العينة باستخدام العلاقة التالية:

$$R\% = (mf / mi) \times 100 = (0.611/10) \times 100$$

$$R = 6.11\%$$

ب. مناقشة وتحليل نتائج الطريقة الثانية:

أظهر مردود استخلاص السليلوز المتصل عليه بالطريقة الثانية، والمقدر بـ 6.11%، كفاءة مقبولة لعملية الاستخلاص باستخدام تركيب سوكسلي. بالرغم من أن هذه النتيجة تعد أقل كمياً مقارنة بالطريقة الأولى (14.6844%)، إلا أن هذا الانخفاض يُعزى أساساً إلى انتقائية جهاز سوكسلي العالية في إزالة المركبات المصاحبة للسليلوز كالشحوم والشموع والمركبات المستخلصة الأخرى بدقة أكبر، مما يمنح السليلوز الناتج نقاوة فيزيوعضوية أعلى.

كما أن قيمة المردود المتحصل عليها تقع ضمن النطاقات المرجعية المقبولة علمياً لبعض أجزاء النباتات الخشبية والليفية، وتؤكد الفعالية المعتمدة لطريقة سوكسلي في فصل المكونات غير السليلوزية، مما يجعل السليلوز المستخلص من نبات الأثل بهذه الطريقة صالحاً للاستخدامات الكيميائية التي تتطلب درجات نقاوة عالية.

- **دراسة مقارنة بين الطريقتين الأولى والثانية لاستخلاص السليلوز:**

بهدف تقييم نجاعة الطرق التجريبية المعتمدة في هذه الدراسة، تم إجراء مقارنة كمية ونوعية بين الطريقة الأولى (المعالجة الكيميائية المباشرة) والطريقة الثانية (الاستخلاص المستمر بجهاز سوكسلي). يوضح الجدول الموالي الفروقات الأساسية المستنتجة:

الجدول IV – [1]: مقارنة بين نتائج وخصائص طريقتي الاستخلاص المعتمدتين.

وجه المقارنة	الطريقة الأولى (المعالجة بالأقماع)	الطريقة الثانية (تركيبة سوكسلي)
الكتلة الابتدائية الخام	100g	10g
مردود الاستخلاص النهائي	%14.6844	%6.11
الإنتاجية الكمية	مرتفعة نسبيا	منخفضة كميا
درجة نقاوة السليلوز الناتج	متوسطة إلى مقبولة (احتمال وجود بقايا اللجنين أو أشباه سليلوز).	عالية جداً (خالٍ من الشموع، الدهون، والراتنجات).
آلية الفصل التجريبي	تعتمد على التفاعل الكيميائي المباشر والترشيح.	تعتمد على الاستخلاص العضوي المستمر والتطهير بالمذيبات

- **المناقشة والتحليل المقارنة:**

من خلال القراءات التحليلية لنتائج المردود، نلاحظ وجود تباين واضح بين الطريقتين؛ حيث حققت الطريقة الأولى مردوداً أعلى قُدّر بـ 14.6844%، في حين انخفض المردود في الطريقة الثانية ليصل إلى 6.11%. ومن الناحية العلمية، يمكن تفسير هذا التفاوت بناءً على العوامل التالية:

1-انتقائية آلية الاستخلاص(Selectivity) :

تتميز الطريقة الثانية باستخدام جهاز سوكسلي (Soxhlet) بكفاءتها العالية في الفصل والانتقائية؛ حيث يتيح التدوير المستمر للمذيبات العضوية غسيلاً مكثفاً للعينة، مما يؤدي إلى إذابة واستخلاص كافة المركبات المصاحبة غير السليلوزية بدقة عالية (مثل الشموع، الدهون، والراتنجات والمركبات المستخلصة الأخرى). هذا

التطهير العميق يؤدي طبيعياً إلى تقليص كتلة المنتج النهائي، ولكنه في المقابل يمنح سليلوزاً ذو نقاوة فيزيوعضوية عالية جداً مقارنة بالطريقة الأولى.

2-تأثير الشوائب المصاحبة على الوزن:

في الطريقة الأولى (المعالجة الكيميائية المباشرة)، على الرغم من أن المردود الكمي أكبر، إلا أن السليلوز الناتج قد يشوبه جزء من المركبات الجدارية الأخرى مثل اللجنين (Lignin) أو أشباه السليلوز (Hemicellulose) التي لم تتحلل أو تُفصل بشكل كامل أثناء خطوات الترشيح العادية، مما يتسبب في زيادة وزنية نسبية ترفع من قيمة المردود الظاهري.

خلاصة المقارنة:

تُثبت هذه المقارنة أن الطريقة الأولى تعد الخيار الأفضل إذا كان الهدف التجريبي هو الحصول على عائد كمي أوفر بمراحل عمل أقل تعقيداً، بينما تُصنف الطريقة الثانية (سوكسلي) كخيار مثالي ونموذجي عند استهداف الجودة والنقاوة العالية للسليلوز، مما يجعله ملائماً للتطبيقات والصناعات الكيميائية الدقيقة التي تتطلب خلو المادة من أي شوائب راتنجية أو دهنية.

- **مقارنة مع الدراسات السابقة:**

الجدول IV–(2): مقارنة نتائج مردود استخلاص السليلوز المتحصل عليها مع بعض الدراسات السابقة :

مردود السليلوز	النبات المستخدم	المصدر
26%	الدرين	العمري، بلعباس. استخلاص السليلوز من نبات الدرين، جامعة ورقلة، مذكرة ماستر، 2024
28–16%	القصب البري	Shuvo, I. et al. (2018). Characterization of Natural Fiber Cellulose for Industrial Applications. Journal of Natural Fibers, 15(4), 555–567
	الطرفاء الصحراوي	عيشاوي أسماء ، إستخلاص السليلوز من نبات الطرفاء الصحراوي ، 2025
25–18%	قشور القمح	Rowell, R. M., et al. (2005). Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press
12.81%	قشور الجلبانة	بن عمر يوسف، استخلاص وتشخيص السليلوز من بعض المخلفات النباتية،2020
15.30%	قشور الفول السوداني	
14.6844%	نبات الأثل	هذه الدراسة (الطريقة الأولى).
%6.11	نبات الأثل	هذه الدراسة (الطريقة الثانية).

IV . 2. معدل الرماد (Ash Rate):

تم تحديد معدل الرماد للسليلوز المستخلص من نبات الأثل باستعمال طريقة التكليس (Calcination)، وذلك بتسخين كتلة معينة من العينة داخل فرن الحرق عند درجة حرارة 500° م لمدة 4 ساعات، بهدف التخلص من المواد العضوية والحصول على البقايا المعدنية غير القابلة للاحتراق.

وقد تمت العملية وفق الخطوات التالية:

بعد تجفيف العينة جيدًا، تم وزن كمية معينة منها وسميت بالكتلة الابتدائية : mi

ثم وُضعت العينة داخل فرن الحرق من أجل التكليس والتربيد.

بعد انتهاء عملية الحرق وترك العينة لتبرد، تم وزن البقايا المتحصل عليها والتي تمثل الكتلة النهائية : mf

وفي الأخير تم حساب معدل الرماد باستعمال العلاقة التالية:

(الشكل (IV-(2) $Ash\%=(mf / mi)\times 100$

$$Ash\% = (mf / mi)\times 100 = (0.3319/5)\times 100$$

$$Ash = 6.638\%$$

تُظهر نسبة الرماد المتحصل عليها (6.638%) وجود محتوى معدني معتبر في العينة، وقد يرجع ذلك إلى الطبيعة النباتية لنبات الأثل واحتوائه على بعض الأملاح والعناصر المعدنية، أو إلى بقاء آثار من الشوائب غير العضوية نتيجة عدم كفاية مراحل التنقية والغسيل أثناء عملية الاستخلاص.

كما يمكن تفسير هذه النسبة بوجود بقايا من المواد الكيميائية المستعملة في المعالجة، إضافة إلى بعض المركبات المعدنية الطبيعية المرتبطة بالبنية النباتية للأثل.

ولتحسين نقاوة السليلوز المستخلص مستقبلاً، يُنصح بتحسين خطوات الغسيل والتنقية، والتحكم بشكل أفضل في شروط المعالجة الكيميائية، مما يساهم في تقليل نسبة الرماد والحصول على سليلوز أكثر نقاوة.

الجدول IV - (3): مقارنة نتائج نسبة الرماد المتحصل عليها مع دراسات سابقة :

نسبة الرماد(%)	العينة	المصدر
6 – 2	ألياف نباتية	Shuvo, I. et al. (2018). Characterization of Natural Fiber Cellulose for Industrial Applications. .Journal of Natural Fibers, 15(4), 555–567
5.56	الطرفاء الصحراوي	عيشاوي أسماء ، استخلاص السيليلوز من نبات الطرفاء الصحراوي ،2025
0.8 – 0.3	سليلوز الخشب	Rowell, R. M., et al. (2005). Handbook of Wood .Chemistry and Wood Composites. CRC Press
8.7	الدرين	العمري، بلعباس. استخلاص السليولوز من نبات الدرين. مذكرة ماستر، جامعة ورقلة، 2024.
6.638	نبات الأثل	هذه الدراسة .

IV. 3. الذوبانية (Solubility):

لدراسة ذوبانية ألياف السليلوز المستخلصة في كلا الطريقتين، تم استخدام ثلاث مذيبات مختلفة هي: الأسيتون، الكلوروفورم، والماء المقطر. تم وضع كمية قليلة من السليلوز في كل مذيب على حدا، ثم تُركت لمدة زمنية محددة، وبعدها تمت ملاحظة وتسجيل النتائج

الجدول IV- (4) : يوضح دراسة ذوبانية الألياف المستخلصة

الخاصية	الذوبانية		
المذيبات	ماء مقطر	كلوروفورم	أسيتون
نتيجة الطريقة 1	لا يذوب	لا يذوب	لا يذوب
نتيجة الطريقة 2	لا يذوب	لا يذوب	لا يذوب

- **نتائج اختبار الذوبانية في المذيبات:**

أظهرت نتائج الاختبار أن الألياف المستخلصة لا تذوب في جميع المذيبات المستعملة (الماء المقطر، الأسيتون، والكلوروفورم)، مما يدل على:

نقاوة السليلوز المستخلص.

نجاح عمليات التنقية والمعالجة الكيميائية.

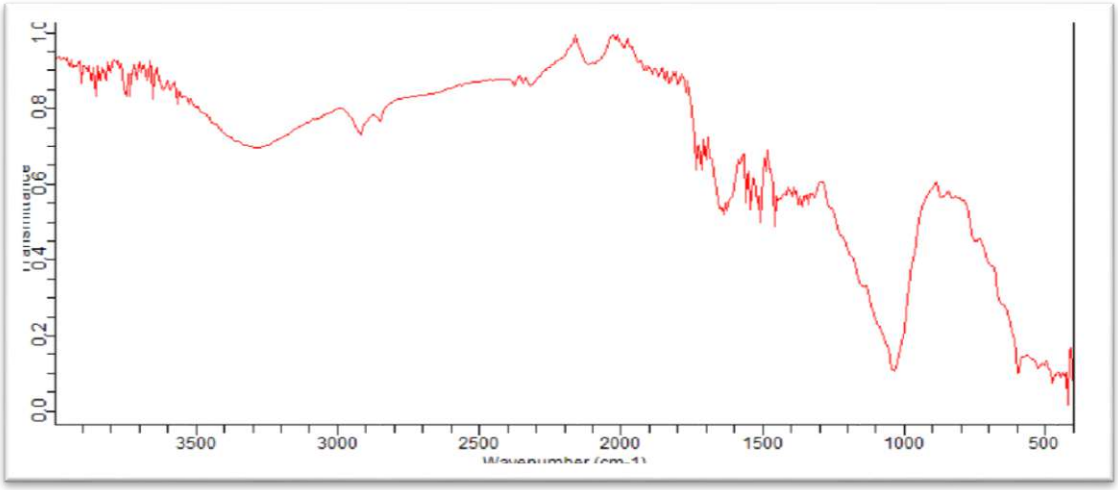
تأكيد الطبيعة البوليمرية غير الذائبة للسليلوز في المذيبات العضوية والمائية التقليدية.

إمكانية استخدامه في تطبيقات صناعية مثل المواد المركبة والمواد العازلة دون الحاجة لذوبانه.

IV. 4. مطيافية الأشعة تحت الحمراء :

تُعد مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) تقنية تحليلية فعّالة تعتمد على دراسة الاهتزازات الجزيئية للروابط الكيميائية، حيث يمتلك كل نوع من المجموعات الوظيفية نطاق امتصاص مميزاً يعمل بمثابة "بصمة إصبع" كيميائية للتعرف على المركبات. وفي سياق استخلاص السليولوز من نبات الأثل، تلعب هذه التقنية دوراً محورياً في تأكيد هوية الألياف المستخلصة والتحقق من نقاوتها من خلال مقارنة أطيافها المسجلة مع أطياف مرجعية معروفة. وتتجلى أهميتها التطبيقية في مراقبة فعالية العمليات المخبرية، مثل المعالجة القلوية والتبييض، عبر تتبع اختفاء القمم المميزة للمكونات غير السليلوزية كاللجنين والهيميسليولوز (مثل القمة 1735 و 1510 cm^{-1})، مما يوفر الدقة العلمية اللازمة لتوصيف بنية السليلوز المستخرج وإثبات نجاح عملية الاستخلاص .

الشكلIV - (3): صورة لجهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء .



الشكلIV - (4): صورة لنتائج تحليل الأشعة تحت الحمراء لمسحوق نبات الأثل الخام.

1- توصيف نبات الأثل الخام باستخدام تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريه(FT-IR) :

تم إجراء هذا التحليل بهدف تحديد المجموعات الوظيفية المميزة لسطح ألياف عينة (Chantellan brut) وتأكيد بنيتها اللينوسيليلوزية الخام. يُظهر الطيف المحصل عليه حزم امتصاص رئيسية تعود للمركبات الأساسية الثلاثة (السيليلوز، الهيميسيليلوز، واللجنين)، ويمكن تقسيم وتنسيق هذه النتائج طيفياً كالتالي:

منطقة روابط الهيدروكسيل(O–H) :

تظهر حزمة عريضة ومكثفة تتمركز عند حدود العدد الموجي(3345 cm^{-1}) تعود هذه القمة لاهتزازات استطالة روابط الهيدروكسيل الحرة والمرتبطة بجسور هيدروجينية، وهي مميزة جداً للبنية السكرية في السيليلوز والهيميسيليلوز، كما تعكس وجود الرطوبة والماء الممتص في الألياف.

منطقة الروابط الأليفاتية (C–H):

تظهر قمة متوسطة الشدة وحادة عند (2918 cm^{-1})، وهي تعبر بدقة عن اهتزاز استطالة الروابط الأليفاتية كربون–هيدروجين في مجموعات الميثيل والميثيلين (CH_3– و CH_2–)تشير هذه القمة إلى الهيكل الأساسي للكربوهيدرات والشموع السطحية المحيطة بالألياف الخام.

منطقة روابط الكربونيل(C=O) :

يُلاحظ وجود كتف (Peak/Shoulder) واضح عند العدد الموجي (1732cm^{-1}) هذا الامتصاص ناتج عن استطالة الرابطة الثنائية لمجموعة الكربونيل الإسترية أو مجموعات الأسيتيل، وهو دليل كيميائي قاطع على وجود مركب الهيميسيليلوز في العينة قبل المعالجة.

منطقة الروابط العطرية للّجنين(C=C) :

تسجل المنطقة المحصورة بين (1595cm^{-1}) و (1510cm^{-1}) قممًا امتصاصية متعددة ومنخفضة الشدة. تعود هذه الإشارات لاهتزازات التمدد للروابط الثنائية كربون–كربون في الحلقات العطرية السداسية، وهي البصمة الطيفية الفريدة المميزة لمركب اللجنين الفينولي المعقد.

منطقة الهيكل السكري لبصمة الإصبع :

تبدو القمة الأكثر شدة وعمقاً في كامل الطيف عند العدد الموجي ($1031\ cm^{-1}$) ترتبط هذه الحزمة الحادة باهتزازات التمدد للروابط السكرية من نوع (C–O و C–O–C) في حلقة البيرانوز، والتي تشكل العمود الفقري السلاسل البوليمرية للسيليلوز.

ميزة خاصة بنبات الأثل (البصمة الملحية والمعدنية)

بما أن الأثل نبات ملحي (Halophyte) ينمو في بيئات جافة وسبخية ويمتلك غدداً لفرز الأملاح، فإن المنحنى الخاص به يتميز بوجود إشارات للمركبات اللاعضوية المخزنة في أنسجته:

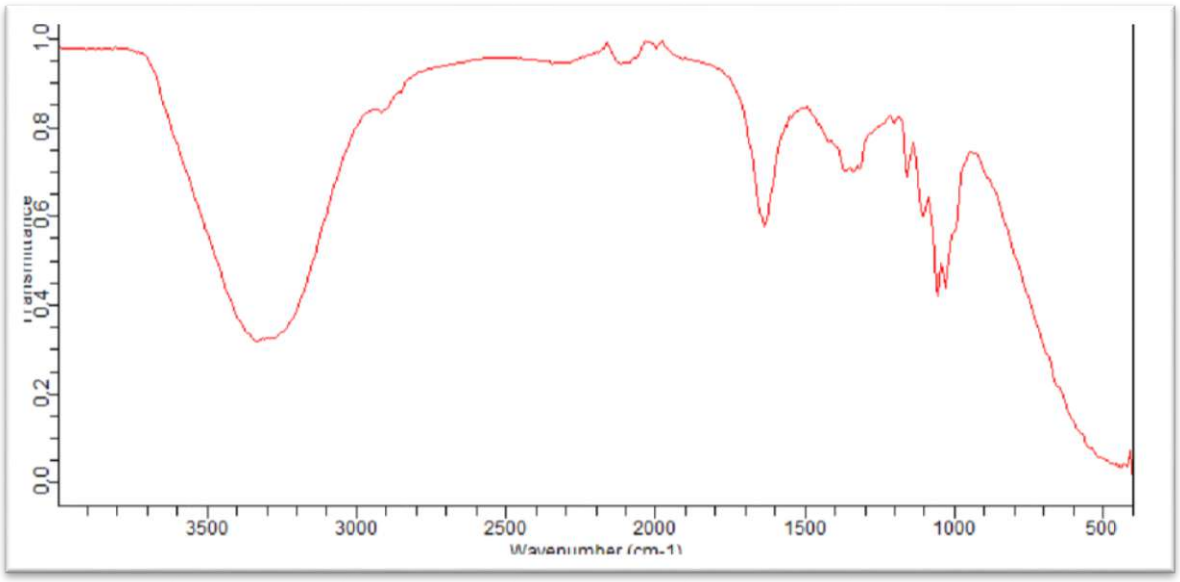
حزم السلفات (الكبريتات): تظهر بوضوح قمم حادة في المنطقة المنخفضة حول 660 – 600 cm^{-1}، وتشير الدراسات التحليلية لأخشاب وأنسجة الأثل إلى أنها تعود لبلورات كبريتات الكالسيوم نصف المائية (باصانيت – Bassanite أو الجبس)، وهي قمم مميزة جداً للأثل الخام مقارنة بنباتات أخرى.

مناقشة النتائج :

تثبت مجموع هذه البصمات الطيفية المستخلصة من عينة الألياف الخام طبيعتها اللينوسيليلوزية الأصلية المتكاملة والمطابقة للمراجع العلمية الخاصة بالألياف النباتية.

إن الوضوح الجلي للقمم المرتبطة بالهيميسيليلوز عند ($1732\ cm^{-1}$) واللجنين عند (1510 cm^{-1}) يعد مؤشراً جوهرياً على أن العينة في حالتها الخام (Brut) لا تزال محاطة بغلافها غير التبلوري (Amorphous fraction) والمكون من اللجنين والمواد الشمعية وسكريات البكتين والهيميسيليلوز التي تربط الألياف ببعضها في النسيج النباتي.

الطريقة الأولى:



الشكلIV - (5): صورة لنتائج تحليل الأشعة تحت الحمراء للسليلوز المستخلص من الطريقة الأولى

2- تحليل ومناقشة نتائج طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) للعينة الأولى:

يعتبر طيف الأشعة تحت الحمراء الموضح في الشكل وسيلة أساسية لتشخيص المجموعات الوظيفية الموجودة في العينة المستخلصة من نبات الأثل، وهو ما يسمح بتتبع كفاءة المسار الكيميائي المتبع.

أ. تحديد الحزم الاهتزازية الرئيسية:

من خلال تحليل الطيف، تم رصد القمم الامتصاصية التالية التي تميز بنية السليلوز في الطريقة 1:

1- القمة (3334 cm^{-1}):

تعود لاهتزاز الامتطاط لمجموعات الهيدروكسيل (OH-)، وهي قمة عريضة تشير إلى وجود شبكة من الروابط الهيدروجينية القوية بين سلاسل السليلوز.

2- القمة ($2898\ cm^{-1}$) :

تمثل اهتزاز الامتطاط للرابطة C–H في مجموعات الميثيلين، وهي سمة هيكلية للمركبات العضوية السكرية.

3- القمة ($1636\ cm^{-1}$):

تشير إلى امتصاص جزيئات الماء المرتبطة بالبنية السليلوزية، مما يدل على احتفاظ العينة بخصائصها المحبة للماء.

4- القمة ($1031\ cm^{-1}$):

وهي القمة الأكثر حدة، وتمثل اهتزاز الرابطة C–O–C في الحلقة البيرنوزية للهيكل السكري، وهي الدليل القاطع على وجود السليلوز.

5- القمة ($897\ cm^{-1}$):

تظهر اهتزازات الروابط الغليكوسيدية من نوع β ، وهي الروابط التي تربط وحدات الغلوكوز ببعضها في سلاسل السليلوز الطويلة.

ب. المناقشة:

من خلال مقارنة هذا الطيف مع الأطياف المرجعية، نلاحظ غياب القمم المميزة للّيجنين (مثل الحزمة عند $1510\ cm^{-1}$) والقمم المميزة للهيميسليلوز (مثل الحزمة عند $1730\ cm^{-1}$)هذا الاختفاء يؤكد أن المعالجات الكيميائية المتعاقبة (الطهو القلوي والتبييض) قد نجحت في تفكيك المادة الخشبية ونزع المكونات غير السليلوزية بشكل شبه كلي.

جـ. استنتاج (Conclusion) :

بناءً على نتائج تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) الموضح في الشكل، يمكن استخلاص النتائج التالية:

إثبات الهيكل السليلوزي: أكد التحليل وجود المجموعات الأساسية المكونة للسليلوز، وهي:

1- مجموعة O–H (كحول أو ماء ممتص) عند التردد 3334 cm^{-1}

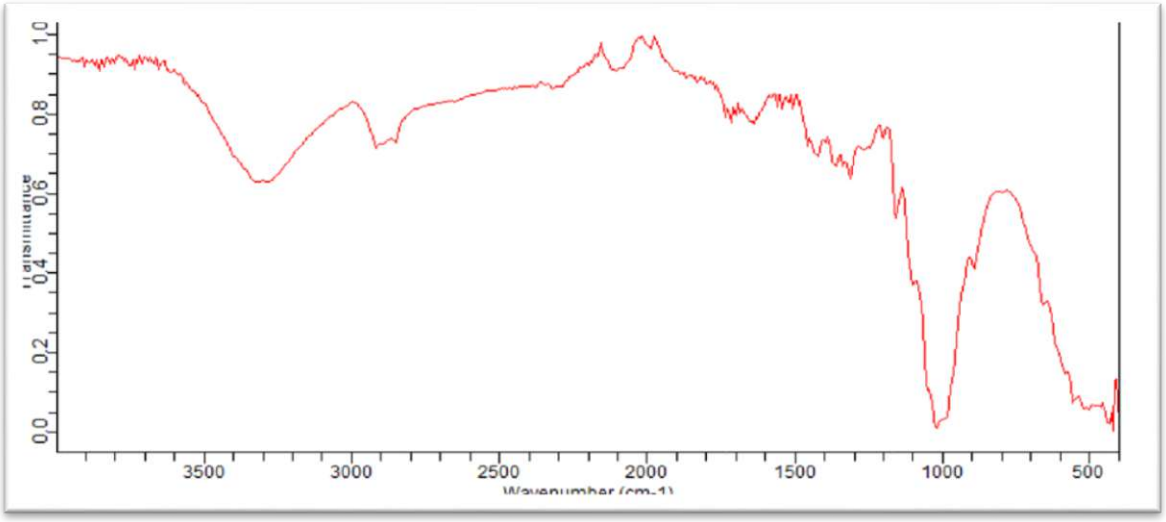
2- مجموعة C–H ألكيل (الميثيل والميثيلين) عند التردد 2898 cm^{-1}

3- مجموعة C–O (كحول/إيثر) المرتبطة بالحلقة السكرية عند التردد 1031 cm^{-1}

كفاءة عملية الاستخلاص: نلاحظ اختفاء أو ضعف الحزم المتعلقة بمجموعة الكربونيل (C=O) والحزم الأروماتية (C=C) ، مما يدل على التخلص الفعال من الهيميسليلوز والليجنين اللذين كانا يشكلان جزءاً من المادة الخام لنبات الأثل.

الخلاصة النهائية : الطيف المحصل عليه في الصورة يطابق المرجعية العلمية للسليلوز النقي، مما يؤكد نجاح البروتوكول التجريبي المتبع (المعالجة القلوية والتبييض) في عزل ألياف السليلوز من نبات الأثل بنجاح.

الطريقة الثانية:



الشكلIV - (6): صورة لنتائج تحليل الأشعة تحت الحمراء للسليلوز المستخلص من الطريقة الثانية

3- تحليل ومناقشة نتائج طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) للطريقة الثانية:

أ-تحديد الحزم الاهتزازية الرئيسية:

من خلال تحليل الطيف ، تم رصد القمم الامتصاصية التالية التي تميز بنية السليلوز في الطريقة الثانية :

1-الحزمة عند حوالي (3340–3330 cm^{-1}):

تمثل اهتزازات التمدد لمجموعات الهيدروكسيل(OH) ، وهي حزمة عريضة مميزة للسليلوز ناتجة عن الروابط الهيدروجينية بين السلاسل السليلوزية.

2-القمة عند حوالي (2900 cm^{-1}):

تعود إلى اهتزازات روابط C–H الخاصة بالمركبات العضوية الأليفاتية الموجودة في البنية السليلوزية.

3-القمة عند حوالي ($1630\ cm^{-1}$):

تشير إلى امتصاص الماء المرتبط داخل البنية السليلوزية، مما يدل على الطبيعة المحبة للماء للسليلوز.

4-القمة القوية عند حوالي ($1030\ cm^{-1}$):

تمثل اهتزاز روابط C–O و C–O–C داخل الحلقة البيرانية لوحدات الغلوكوز، وتُعد من أهم القمم المميزة للسليلوز.

5-القمة عند حوالي ($890\ cm^{-1}$):

تدل على وجود الروابط الغليكوسيدية β-(1→4) بين وحدات الغلوكوز، وهي دليل مباشر على البنية السليلوزية.

ب-المناقشة :

أظهر طيف للعينة وجود القمم المميزة للسليلوز بوضوح، خاصة قمم OH و C–O–C والرابطةβ-glycosidic ، مما يؤكد نجاح عملية استخلاص السليلوز والمحافظة على بنيته الكيميائية.

كما يُلاحظ انخفاض الإشارات المرتبطة باللجنين والهيميسليلوز، وهو ما يدل على فعالية المعالجة الكيميائية المستعملة أثناء عملية الاستخلاص والتنقية.

إثبات الهيكل السليلوزي:

تم إثبات الهيكل السليلوزي للعينة من خلال:

1- ظهور الحزمة العريضة الخاصة بـ.OH

2- وجود القمة القوية عند 1030.cm^{-1}

3- ظهور القمة عند 890 cm^{-1} الخاصة بالروابط.β-(1→4)

وهي قمم مميزة ومعروفة للسليلوز الطبيعي.

كفاءة عملية الاستخلاص:

تشير نتائج FTIR إلى أن عملية الاستخلاص كانت فعالة، وذلك بسبب:

وضوح القمم المميزة للسليلوز.

انخفاض قمم الشوائب غير السليلوزية.

الحفاظ على البنية الكيميائية للسليلوز بعد المعالجة.

ج-الاستنتاج:

أكد تحليل الطيف للعينة أن المادة المستخلصة ذات طبيعة سليلوزية واضحة، مع نجاح عملية الاستخلاص والتنقية في إزالة نسبة معتبرة من المركبات غير السليلوزية والحفاظ على سلامة الهيكل السليلوزي.

- **المقارنة بين نتائج تحليل ومناقشة أطياف الأشعة تحت الحمراء لكلا الطريقتين الأولى و ثانية:**

يُظهر الشكلين المقارنين أطياف الأشعة تحت الحمراء المحولة فوريرياً (FTIR) للعينتين 1و2 في المدى الترددي ما بين 4000 – 400 ومن خلال المقارنة الطيفية بين المنحنيين، تَبين وجود تغيرات هيكلية وكيميائية واضحة في المجموعات الوظيفية (Functional Groups) نتيجة لتغير طبيعة العينة أو المعاملة التي خضعت لها، وتتضح هذه الفروقات علمياً في النقاط التالية:

.1-منطقة اهتزاز مط روابط الهيدروكسيل :

تظهر العينة الأولى من الطريقة المباشرة حزمة امتصاص عريضة وقوية (Broad and Intense Band) متمركزة عند العدد الموجي $3300.cm^{-1}$ وهي تعود كيميائياً لاهتزاز المط لروابط الهيدروكسيل{O-H} المستحثة بالارتباط الهيدروجيني البيني والداخل جزيئي.

في المقابل، يلاحظ في طيف العينة الثانية من الطريقة الثانية انخفاضاً حاداً في شدة هذه الحزمة (ارتفاع النفاذية إلى 0.6). هذا السلوك الطيفي يُعزى علمياً إلى انخفاض الكثافة العددية لمجموعات الهيدروكسيل، مما يشير إلى حدوث عملية تجفيف (Dehydration) أو خسارة للمحتوى المائي والرطوبة المقيدة في هذه العينة مقارنة بالسابقة.

2-منطقة الروابط الهيدروكربونية الأليفاتية{C-H} :

في المدى ما بين 2950- $cm^{-1}.2850$ ، يظهر طيف العينة الأولى مجرد كتف ضعيف نتيجة تداخله وطغيان حزمة الـ {O-H} العريضة عليه. بينما في العينة الثانية تبرز قمة واضحة ومنفصلة تعود لاهتزاز المط المتناظر وغير المتناظر لروابط الكربون-هيدروجين الأليفاتية {C-H} لـ {-CH2-} أو {-CH3} هذا الظهور يُفسر طيفياً بتأثير الكشف الكيميائي بعد انحسار امتصاص الرطوبة، مما أتاح ظهور البنية الهيدروكربونية للهيكل الأساسي بشكل أكثر وضوحاً.

3- منطقة انحناء روابط الماء والروابط المزدوجة 1650 - 1600cm^{-1} .

يتميز طيف العينة الأولى بوجود قمة حادة وواضحة عند العدد الموجي $1635cm^{-1}$، وتصنف هذه القمة في الأدبيات العلمية كبصمة لاهتزاز الانحناء للجزيئات المائية (H-O-H) الممتزة على سطح المادة. هذا الامتزاز

يتضاءل بشكل شبه كامل في طيف العينة الثانية، مما يعزز الفرضية العلمية القائلة بأن العينة الثانية تمثل الطور الأكثر جفافاً أو الأقل محتوى مائي ممتز.

4- منطقة بصمة الإصبع والروابط الهيكلية المهيمنة (950 – 1150 cm^{-1}) :

تمثل هذه المنطقة التحول الهيكلي الأبرز بين العينتين؛ حيث يظهر طيف العينة الأولى حزم امتصاص متعددة الرؤوس ومتوسطة الشدة، مما يدل على تداخل اهتزازي لروابط متعددة مثل روابط {C–O–C} أو روابط كربوهيدراتية نامية.

وعلى النقيض تماماً، تظهر العينة الثانية حزمة امتصاص أحادية، عملاقة، وحادة جداً متمركزة حول(1010cm^{-1})،حيث وصلت النفاذية فيها إلى أدنى مستوياتها (قرب الصفر). هذا التحول الجذري يعكس تبلوراً وتجانساً هيكلياً عالياً؛ ويُعزى علمياً إما إلى سيادة

روابط السكريات المتعددة المتطابقة، أو إلى اهتزاز المط غير المتناظر لروابط السيليكون–أكسجين–Si–O} {Siفي حال كانت العينة ذات طبيعة معدنية/سيليكاتية، والتي أصبحت المهيمن الطيفي الأوحد بعد إزالة المكونات الهيدروكسيلية والمائية.

الاستنتاج:

تأسيساً على ما سبق، تُثبت نتائج الـ FTIR أن الانتقال من الحالة الأولى إلى الحالة الثانية يصاحبه تغير في الطور التركيبي للمادة يتمثل في طرد فاعِل للمجموعات الهيدروكسيلية والرطوبة المرتبطة، مما أدى إلى إعادة ترتيب فراغي سمح ببروز روابط الهيكل الأساسي للمادة (مثل{C–H} و {Si–O} / {C–O}) وزيادة حدة امتصاصيتها الطيفية نتيجة لزيادة نقائها أو تركيزها في الطور الصلب.

5.IV. والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM/MEB) والأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX) :

تُعدّ الشراكة التقنية بين المجهر الإلكتروني الماسح وتقنية تحليل الأشعة السينية المشتتة للطاقة من أقوى الأدوات التحليلية في علم المواد، حيث يدمج هذا المزيج بين التصوير المورفولوجي عالي الدقة والتحليل الكيميائي الدقيق في آن واحد.

1-5-IV. المجهر الإلكتروني الماسح (MEB / SEM) :

هو تقنية مجهرية متطورة تُستخدم لتصوير وتوصيف أسطح المواد بدقة متناهية تصل إلى مستوى النانومتر.

آلية العمل: يعتمد الجهاز على إرسال حزمة مركزة من الإلكترونات عالية الطاقة (Primary Electrons) لتصطدم بسطح العينة. هذا التفاعل يؤدي إلى انبعاث إلكترونات ثانوية (Secondary Electrons) وإلكترونات مرتدة.(Backscattered Electrons)

النتيجة: يتم التقاط هذه الإلكترونات وتحويلها إلى صور ثلاثية الأبعاد تُظهر تفاصيل دقيقة جداً عن الطبوغرافيا السطحية، الشكل الهندسي، المورفولوجيا، وتضاريس المادة بدقة لا يمكن للمجاهر الضوئية التقليدية الوصول إليها.

2-5-IV . تحليل الأشعة السينية المشتتة للطاقة:(EDX / EDS) :

هي تقنية تحليلية نوعية وكمية مُلحقة بالمجهر الإلكتروني الماسح، تُستخدم لتحديد الهوية الكيميائية للمواد المدروسة.

آلية العمل: عند اصطدام حزمة الإلكترونات بالمادة، تتهيج ذرات العينة مما يتسبب في انتقال الإلكترونات بين المدارات الداخلية والخارجية. هذا الانتقال يؤدي إلى انبعاث أشعة سينية مميزة (Characteristic X-rays) لكل عنصر كيميائي.

النتيجة: يقوم كاشف الـ EDX بقياس طاقة وعدد هذه الأشعة السينية، مما يسمح برسم طيف تحليلي يحدد بدقة العناصر الكيميائية الموجودة في العينة ونسبها المئوية (الوزنية والذرية)، بالإضافة إلى إمكانية عمل خرائط توزيع تفصيلية للعناصر (Elemental Mapping) على السطح المصور.

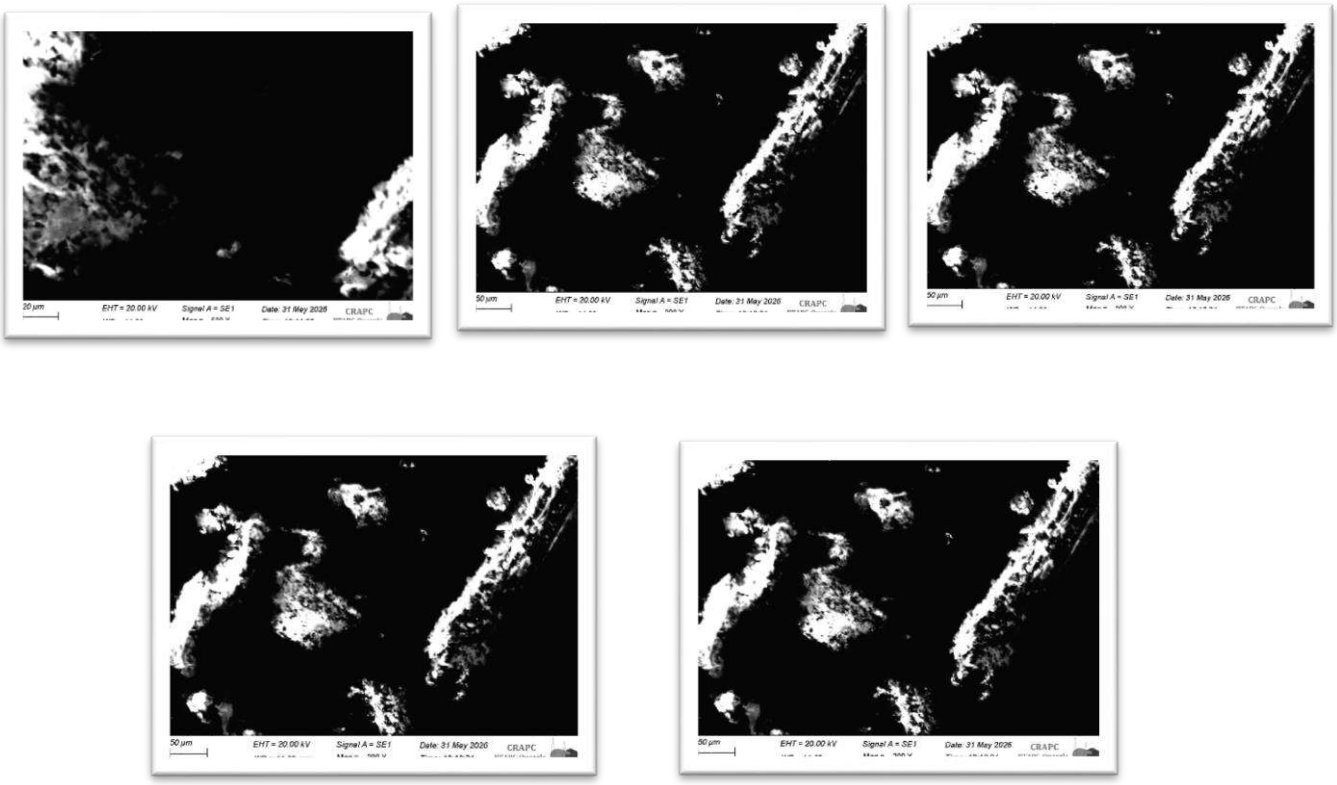
- **التكامل بين التقنيتين:**

تدمج هذه الدراسة بين الطريقتين لتوفير توصيف شامل للمادة؛ فبينما يحدد MEB "الشكل والبنية الفيزيائية" للمنطقة المستهدفة، يتولى EDX تحديد "التركيب الكيميائي والذري" لنفس تلك المنطقة، مما يمنح الباحثين فهماً عميقاً وشاملاً للعلاقة بين بنيوية المادة وخصائصها الكيميائية.

الشكلIV - (7): صورة لجهاز المجهر الإلكتروني الماسح MEB .

IV. 6. تحليل العناصر الكيميائية بأطياف تشتت الطاقة للأشعة السينية (EDX) والمجهر الإلكتروني الماسح(MEB) :

IV. 6. 1. نتائج المجهر الإلكتروني الماسح لعينة نبات الأثل الخام :

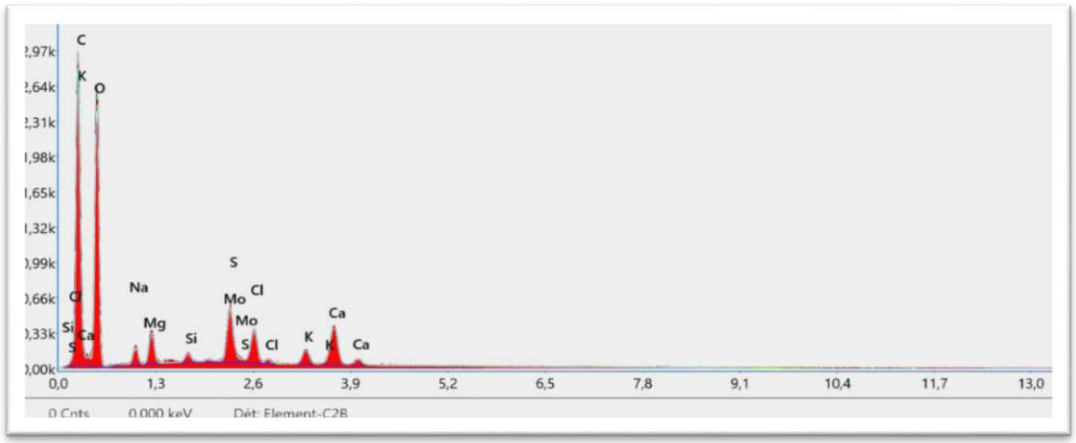


الشكلIV - (8): صور بالمجهر الإلكتروني الماسح لنبات الأثل الخام

IV.6. 2. التركيبة الكيميائية لمسحوق نبات الأثل الخام:

الجدولIV - (5): التركيبة الكيميائية لمسحوق نبات الأثل الخام

Elément	% de masse	% atomique	Kratio	Z	A	F
C K	41.71	52.56	0,1538	1.0455	0.3527	1.0000
O K	43.50	41.15	0,0802	1.0001	0.1844	1.0000
NaK	1.67	1.10	0,0057	0.9081	0.3772	1.0015
MgK	1.83	1.14	0,0090	0.9235	0.5342	1.0024
SiK	0.40	0.22	0,0029	0.9086	0.7926	1.0072
MoL	2.43	0.38	0,0193	0.6947	1.1406	1.0032
S K	1.58	0.75	0,0134	0.8897	0.9379	1.0149
ClK	2.00	0.85	0,0163	0.8464	0.9491	1.0135
K K	1.14	0.44	0,0097	0.8422	0.9822	1.0252
CaK	3.74	1.41	0,0323	0.8575	0.9927	1.0155



الشكلIV - (9): طيف تشتت الطاقة بالأشعة السينية لنبات الأثل الخام.

- **نتائج المجهر الإلكتروني الماسح(MEB) لعينة مسحوق نبات الأثل الخام:**

بهدف معرفة المكونات الكيميائية للمادة النباتية الخام قبل معالجتها، تم إجراء فحص عنصري كمي ونوعي بواسطة مطيافية (EDX) ، وتتلخص مناقشة النتائج فيما يلي:

1. التحليل المورفولوجي للبنية السطحية (MEB):

تُظهر الصورة المجهرية للمادة النباتية الخام بنية غير متجانسة (Heterogeneous) وتضاريس سطحية خشنة تتداخل فيها تكتلات حبيبية مع ألياف طولية واضحة (في الجهة اليمنى العليا). يعود هذا المظهر العشوائي إلى طبيعة الأنسجة النباتية الخام قبل المعالجة، حيث تكون الألياف السليلوزية مغلفة بالكامل باللجنين والهيميسيليولوز.

2. **التحليل الكمي للعناصر الكيميائية (EDX)**

يُلخص الجدول (**IV- (5)**) التوزيع العنصري للمادة الخام بناءً على النسبة الكتلية (Masse %)، حيث تصنف العناصر إلى:

العناصر الرئيسية: الكربون (41.71 %) والأكسجين (43.50%)، ويشكلان معاً أكثر من 85 % من كتلة العينة.

العناصر الثانوية والأملاح: الكالسيوم (3.74 %)، الموليبدنيوم (2.43 %)، الكلور (2.00%)، المغنيسيوم (1.83 %)، والصوديوم (1.67%).

العناصر الشحيحة: الكبريت (1.58%)، البوتاسيوم (1.14 %)، والسيليكون (0.40 %).

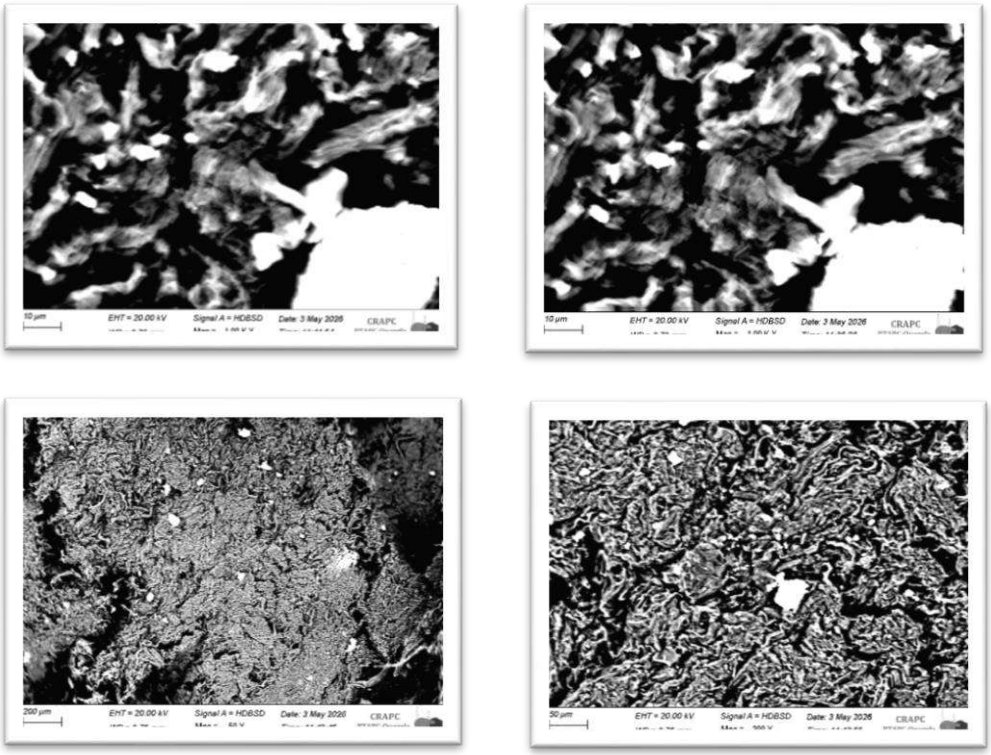
3. مناقشة وتفسير النتائج

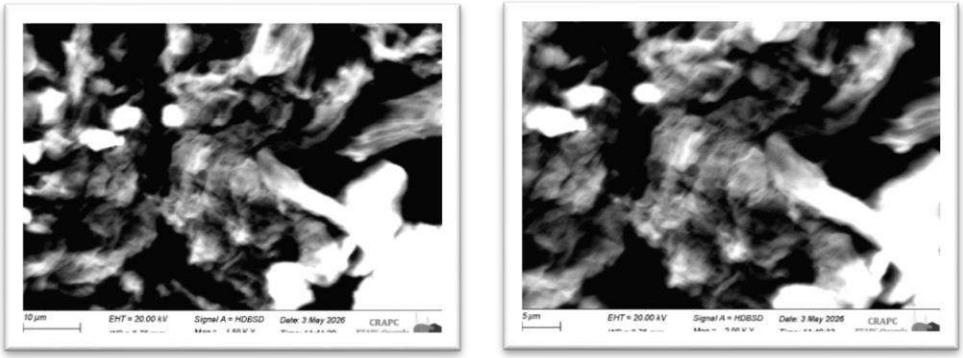
الهوية السليلوزية: الارتفاع الحاد في نسبتي الكربون والأكسجين يؤكد الهيكل العضوي الكربوهيدراتي للعينة، وهو المكون الأساسي للجدران الخلوية النباتية (السليلوز، الهيميسيليولوز، واللغنين).

الرماد والأملاح الطبيعية: تعكس العناصر المعدنية طبيعة النبات وبيئته الصحراوية؛ التقارب بين الصوديوم والكلور يثبت وجود أملاح (NaCl)، بينما الكالسيوم والمغنيسيوم يمثلان البلورات التدعيمية للنبات.

مؤشر النقاوة: النسبة الضئيلة جداً للسيليكون (0.40\mathbb\{%\}) تؤكد خلو الخام من التلوث الرملي (Silica)، مما يسهل استخلاص السليلوز لاحقاً.

IV. 6. 3. نتائج المجهر الإلكتروني الماسح لألياف السليلوز المستخلصة لعينة الطريقة الأولى:



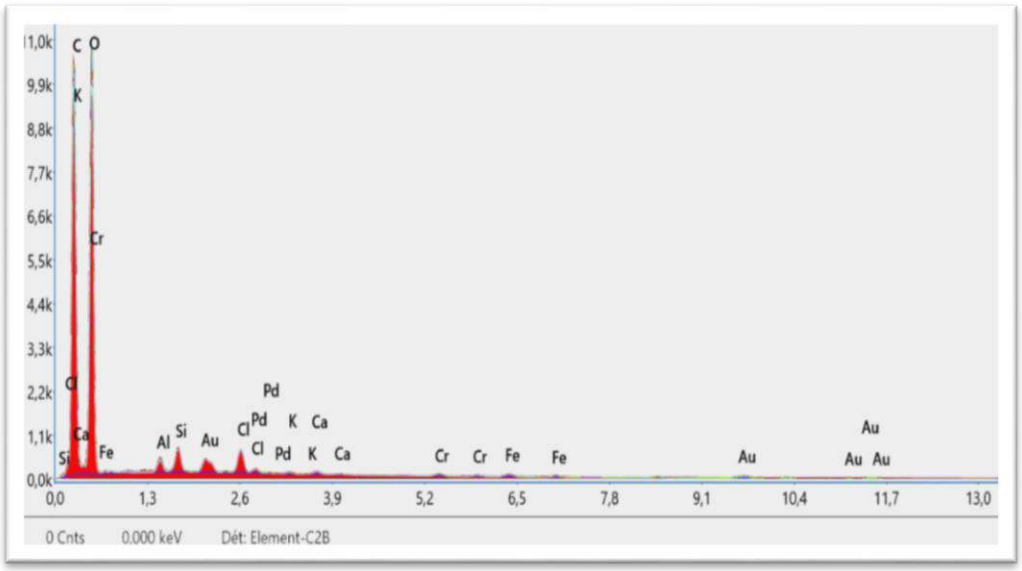


الشكلIV -(10): صور بالمجهر الإلكتروني الماسح لألياف السليلوز المستخلصة.

IV . 6 .4. التركيب الكيميائي لألياف السليلوز المستخلصة من الطريقة الأولى :

جدولIV - (6): عناصر الكيميائية الموجودة في ألياف السليلوز المستخلصة

Elément	% de masse	% atomique	Kratio	Z	A	F
C K	42.35	51.94	0,1942	1.0428	0.4398	1.0000
O K	50.13	46.15	0,1065	0.9976	0.2130	1.0000
AlK	0.60	0.33	0,0036	0.8872	0.6648	1.0021
SiK	0.87	0.45	0,0062	0.9066	0.7846	1.0033
ClK	1.17	0.49	0,0095	0.8446	0.9433	1.0120
PdL	0.25	0.04	0,0020	0.6761	1.1426	1.0007
K K	0.13	0.05	0,0011	0.8405	0.9823	1.0233
CaK	0.25	0.09	0,0022	0.8558	0.9963	1.0311
CrK	0.27	0.08	0,0023	0.7677	1.0175	1.1076
FeK	0.45	0.12	0,0041	0.7629	1.0179	1.1655
AuL	3.52	0.26	0,0192	0.5088	1.0493	1.0221



الشكلIV - (11): طيف تشتت الطاقة بالأشعة السينية لألياف السليلوز المستخلصة

- **نتائج المجهر الإلكتروني الماسح(MEB) لطريقة الأولى:**

1. **المورفولوجيا والسطح:** كشف الفحص عن بنية ليفية متداخلة على شكل حزم متراصة ومستمرة ذات توزيع شبكي شبه منتظم.

2. **كفاءة التجريد:** سُجِّل اختفاء شبه تام للمواد غير المتبلورة المغلِّفة للألياف الخام (كالتعفنات، اللجنين، والهيميسليلوز).

3. **الأهمية التطبيقية:** أدت الخشونة السطحية الناتجة إلى زيادة مساحة السطح النوعية للألياف، مما يُعزز ترابطها الميكانيكي وقابليتها للتفاعل مستقبلاً.

- **نتائج التحليل الطيفي بالأشعة السينية(EDX) :**

1. **المكونات السيادية:** أظهر الطيف العضوي الكامل هيمنة مطلقة لعنصري الهيكل السكري للسليلوز $(C_6H_{10}O_5)_n$ بنسبة تتجاوز 92% من الكتلة الإجمالية، وفق التوزيع التالي:

الأكسجين(O) : بنسبة كتلية 50.13% (ذرية 46.15%).

الكربون(C) : بنسبة كتلية 42.35% (ذرية 51.94%).

2. **عناصر الطلاء التحضيري:** رُصِد الذهب (Au) بنسبة 3.52% والبلاديوم (Pd) بنسبة 0.25%؛ وهي عناصر لا تُعزى للعينة بل لعملية الطلاء النانوي الضرورية (Sputter Coating) لمنع الشحن الكهربائي وضمان استقرار ووضوح التصوير المجهري.

3. **الأملاح والشوائب النزرة:** ظهرت آثار ضئيلة لعناصر أخرى تم تفسيرها علمياً كالتالي:

Cl (1.17%)وK (0.13%) : بقايا أملاح ناتجة عن خطوات الطهي الكيميائي، الغسيل، والتحييد.

Si (0.87%)، Al (0.60%)، وCa (0.25%) : شوائب معدنية بيئية وغبار مجهري عالق.

Fe (0.45%)وCr (0.27%) : ملوثات عرضية ناتجة عن احتكاك الألياف بالأدوات المعدنية أثناء الطحن والتحضير.

- **الاستنتاج العام المدمج:**

أثبتت نتائج (MEB/EDX) تكاملاً وثيقاً يؤكد النقاء العالي للألياف المستخلصة ونجاح المعالجة الكيميائية:

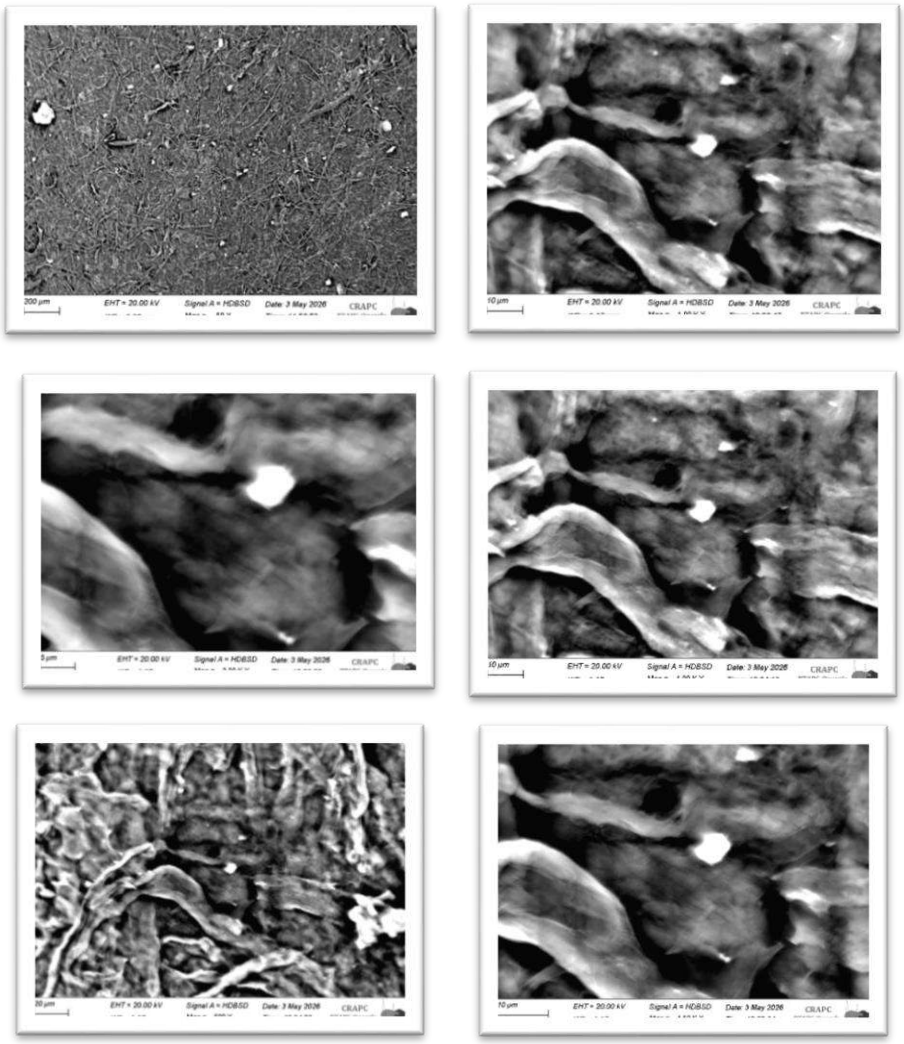
فيزيائياً: تجرّدت الألياف من الطبقات غير المنتظمة، واكتسبت تناسقاً سطحياً وكفاءة ميكانيكية أفضل.

كيميائياً: أكّدت السيادة المطلقة لعنصري (O وC) نجاح بروتوكول الفصل (الطهي القلوي والتبييض) في إزالة اللجنين والبكتين والمواد العفصية.

الخلاصة: الطريقة الكيميائية المتبعة فعّالة لإنتاج سليلوز عالي الجودة ونقي، مؤهل تماماً للاستخدام في التطبيقات الصناعية، البيئية، وصناعة المواد المركب.

IV . 6 .5. نتائج المجهر الإلكتروني الماسح لألياف السليلوز المستخلصة لطريقة الثانية

(طريقة تركيبة جهاز سوكسلي) :

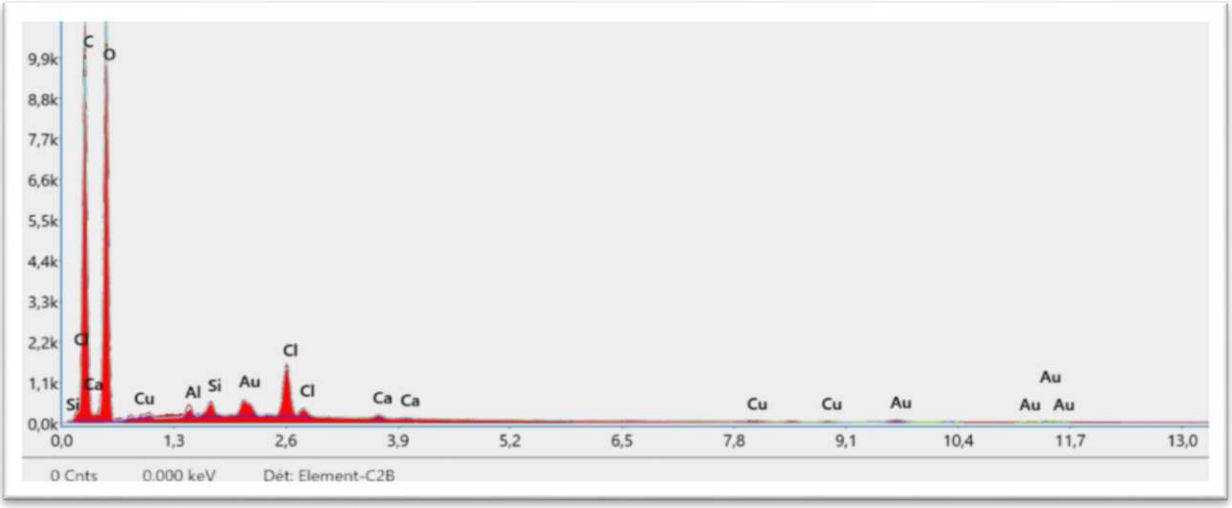


الشكلIV - (12): صور بالمجهر الإلكتروني الماسح لألياف السليلوز المستخلصة.

IV . 6 . 6. التركيب الكيميائي لألياف السليلوز المستخلصة من الطريقة الثانية :

جدولIV- (7): عناصر الكيميائية الموجودة في ألياف السليلوز المستخلصة

Elément	% de masse	% atomique	Kratio	Z	A	F
C K	42.24	52.36	0,1717	1.0467	0.3883	1.0000
O K	48.79	45.41	0,1017	1.0017	0.2080	1.0000
AlK	0.50	0.28	0,0030	0.8911	0.6687	1.0019
SiK	0.51	0.27	0,0037	0.9107	0.7880	1.0032
ClK	2.77	1.16	0,0222	0.8485	0.9374	1.0101
CaK	0.29	0.11	0,0025	0.8599	0.9870	1.0292
CuK	0.31	0.07	0,0031	0.7339	1.0148	1.3593
AuL	4.59	0.35	0,0251	0.5116	1.0486	1.0186



لشكلIV - (13): طيف تشتت الطاقة بالأشعة السينية لألياف السليلوز المستخلصة

- **نتائج المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) لطريقة الثانية:**

1. التوصيف المورفولوجي وطبيعة السطح: أبانت صور الفحص المجهري عن طبوغرافيا سطحية متراصة ومستمرة، تتخذ مظهر شبكة ثلاثية الأبعاد من الألياف أو الأنابيب الدقيقة المتداخلة ذات التوجيه العشوائي .

2. مظاهر البنية الدقيقة: رُصِد انتشار لبعض الجسيمات والتكتلات الحبيبية البيضاء عالية اللمعان على السطح؛ ويُعزى هذا التباين البصري فيزيائياً إلى تجمّع عناصر ذات عدد ذري مرتفع مقارنة بالخلفية العضوية الكربونية المستمرة للألياف.

3. الأبعاد التطبيقية: إن هذا التوزيع الشبكي المتشابك يمنح المادة مساحة سطحية نوعية متزايدة، مما يعزز من كفاءتها الفيزيائية، ويرفع من قدرتها على التداخل الميكانيكي أو التفاعل الكيميائي في التطبيقات المستقبلية.

- **نتائج التحليل الطيفي المشتت للطاقة بالأشعة السينية (EDX) للطريقة الثانية:**

1. العناصر السيادية والمصفوفة الأساسية: كشف التحليل الطيفي للمساحة الكاملة عن هيمنة مطلقة لعنصري الأكسجين والكربون، حيث يشكلان معاً ما يزيد عن 91% من الكتلة الكلية للعينة. وتؤكد هذه النتيجة المرتفعة الطبيعة البوليمرية العضوية (ولا سيما الهياكل الكربوهيدراتية السكرية) للمادة، حيث توزعت النسب كالتالي:

الأكسجين (O): بلغت نسبته الكتلية 48.79% (مقابل نسبة ذرية تعادل 45.41%).

الكربون (C): بلغت نسبته الكتلية 42.24% (مقابل نسبة ذرية تعادل 52.36%).

2. عناصر المعالجة السطحية (الطلاء التحضيري): سُجِّل حضور لعنصر الذهب (Au) بنسبة كتلية بلغت 4.59% (ونسبة ذرية 0.35%). وتجدر الإشارة إلى أن هذا العنصر لا يدخل ضمن التركيب البنيوي الذاتي للمادة، وإنما يمثل الطبقة الرقيقة الناتجة عن عملية الطلاء الكهرومغناطيسي (Sputter\ Coating)، وهي معالجة فيزيائية ضرورية لكسر عازلية العينة، ومنع ظاهرة الشحن الكهربائي (Charging\ effect)، وبالتالي ضمان استقرار الحزمة الإلكترونية ووضوح الصورة المجهرية.

3. الأملاح والشوائب الأثرية النزرة: أظهر الطيف وجود نسب ضئيلة جداً لعناصر أخرى تم تفسيرها وفقاً للمسوغات العلمية التالية:

الكلور (Cl) بنسبة 2.77%: يُمثل بقايا ملحية أو آثاراً للمذيبات المستعملة في عمليات المعالجة الكيميائية، والترشيح، والتحييد أثناء تنقية العينة.

السيليكون (Si) بنسبة 0.51% والألومنيوم (Al) بنسبة 0.50%: تُصنف كشوائب خارجية آتية من ركيزة التثبيت (السيليكا/الزجاج) أو من حامل العينة المعدني المكون من الألومنيوم (Stub).

النحاس (Cu) بنسبة 0.31% والكالسيوم (Ca) بنسبة 0.29%: شوائب معدنية دقيقة ناجمة عن ملوثات بيئية عارضة أو غبار مجهري عالق أثناء المناولة.

4. تقييم موثوقية القياس (معاملات تصحيح ZAF): يُلاحظ من البيانات المقاسة انخفاض قيم عامل الامتصاص (A) لعنصري الكربون (0.3883) والأكسجين (0.2080). ويُعد هذا السلوك ظاهرة فيزيائية حتمية تفسرها ظاهرة الامتصاص الذاتي الشديد للأشعة السينية المميزة الصادرة عن العناصر الخفيفة (\Light elements) قبل انبثاقها من سطح العينة وصولاً إلى الكاشف؛ الأمر الذي يوسم التحليل الكمي لهذه العناصر بالطابع شبه الكمي.

- **الاستنتاج :**

بناءً على التكامل بين الفحص المرفولوجي الفيزيائي والتحليل العنصري الكيميائي، نلخص أهم مخرجات الدراسة في النقاط التالية:

كيميائياً: تم إثبات النقاء الكيميائي العالي للهيكل العضوي (البوليمري) للعينة، بدليل الهيمنة المطلقة لعنصري الكربون والأكسجين بنسبة تتجاوز 91% من الكتلة الإجمالية، وهي النسبة النمطية المميزة للسلاسل الهيدروكربونية والسكريات المعقدة (مثل السليلوز)، مع خلو المادة من أي تداخلات أو مركبات معدنية أصيلة في بنيتها.

فيزيائياً: أظهرت المادة خصائص بنيوية متميزة تتمثل في تشابك الألياف على المستوى الميكروي/النانوي وتداخلها عشوائياً، وهو توزيع فيزيائي يمنح المادة مساحة سطحية نوعية هائلة. كما فسّر التحليل الفيزيائي لطاقة الأشعة السينية (عوامل ZAF) انخفاض معاملات الامتصاص للعناصر الخفيفة، وأكد أن وجود المعادن الأخرى (كالذهب والبلاديوم) يعود حصراً لآلية تحضير السطح فيزيائياً بالطلاء الكهرومغناطيسي لزيادة الناقلية الكهربائية ومنع شحن العينة.

الخلاصة :

المادة المدروسة هي ألياف بوليمرية عضوية عالية النقاء (غنية بـ C و O)، تمتلك بنية فيزيائية شبكية متداخلة تمنحها مساحة سطحية نوعية ممتازة وصالحة للتطبيقات المتقدمة، مع ثبوت خلوّها من الشوائب الذاتية، حيث تقتصر العناصر الثانوية المرصودة على الطلاء التحضيري (Au/Pd) وبقايا غسيل بيئية ضئيلة جداً.

IV . 7. دراسة مقارنة تحليل العناصر الكيميائية بأطياف تشتت الطاقة للأشعة السينية (EDX) والمجهر الإلكتروني الماسح (MEB) للطريقتين الأولى والثانية :

تُظهر أطياف التحليل العنصري النوعي والكمي المستخلص بواسطة نظام Zeiss SmartEDX لعينة السيليلوز المعزولة من نبات التاماريكس .(Tamarix) تمنح المقارنة بين هذين الطيفين قراءة كيميائية وفيزيائية متكاملة تؤكد كفاءة ونقاوة عملية الاستخلاص المخبري بناءً على الركائز التالية:

1- الثبات الرقمي للمصفوفة العضوية :

المعطاة الأهم والأكثر دلالة في كلا الجدولين هي الثبات المطلق بالفاصلة لنسبة الكربون (42.24%) ونسبة الأكسجين (48.79%) بإجمالي وزني يتجاوز 91% كتلتاً، ونسبة ذرية تفوق 97%.

التفسير الكيميائي: هذا الاستقرار الرقمي الكامل بين التحليلين يُعد دليلاً قاطعاً على النقاء الهيكلي للمصفوفة البوليمرية المفحوصة، وتطابقها مع التركيب النظري لسلاسل السيليلوز الحاوية على المجموعات الهيدروكسيلية والروابط الغليكوسيدية. لو كان عنصر الذهب الظاهر في الطيف الثاني يُمثل شوائب حقيقية داخل بنية العينة، لحدث انخفاض تلقائي في نسب العناصر الأساسية C وO ، وبقاء هذه النسب ثابتة يُثبت نجاح المعالجة الكيميائية في إزالة اللجنين والهميسيلولوز تماماً.

2- التباين الكمي لعنصر الذهب(Au) :

يكمن الفارق الظاهري الوحيد بين الجدولين في الإدراج البرمجي الاختياري لعنصر الذهب (Au-L) في الطيف الثاني، حيث سجل نسبة كتلية تعادل 4.59% مقابل نسبة ذرية ضئيلة جداً لا تتعدى 0.35%.

التفسير الفيزيائي: يُفسر هذا التباين بالكتلة الذرية العالية جداً للذهب(196.96 g/mol) مقارنة بالعناصر الخفيفة. ومن الناحية التقنية، لا يعتبر الذهب جزءاً من التركيب الكيميائي للسيليلوز المستخلص، بل هو أثر تقني خارجي مستحدث (Artifact) ناتج عن عملية الطلاء المهبطي (Sputter Coating) التي تخضع لها العينات البوليمرية العازلة قبل فحصها، وذلك لتوفير ناقلية كهربائية كافية تمنع ظاهرة الشحن الإلكتروني (Charging Effect)وتضمن استقرار حزمة المجهر الإلكتروني الماسح(SEM) .

3- تحليل العناصر الأثرية(Trace Elements) :

يُظهر الطيفان وجود نسب ضئيلة ومتطابقة لعنصر الكلور (2.77 %)، وآثار شبه منعدمة للكالسيوم (0.29 %) والسليكون (0.51%).

يُعزى وجود الكلور إلى بقايا مادة التبييض المستعملة في المراحل الأخيرة للاستخلاص.

تُعزى آثار الكالسيوم والسليكون إلى الأملاح المعدنية الطبيعية التي تمتصها النبتة من التربة الصحراوية، وتواجدها بنسب منخفضة جداً (أقل من 1 %) يعكس كفاءة وجودة مراحل غسيل العينة بالماء المقطر بعد التفاعلات.

- **إستنتاج:**

تؤكد هذه الدراسة المقارنة أن الاختلاف بين التحليلين ليس اختلافاً في طبيعة العينة أو نقاوتها، بل هو اختلاف في بروتوكول المعايرة النسبية البرمجية (Normalization)؛ حيث يُظهر الطيف الأول الحسابات بعد حجب طيف طبقة الطلاء، بينما يُظهره الطيف الثاني مع احتسابه. وفي كلا الحالتين، تثبت النتائج نجاح بروتوكول العمل المخبري في استخلاص سيليلوز عالي النقاوة والجودة.

الخلاصة العامة

خلاصة عامة

تأتي هذه الدراسة لتثمين الموارد النباتية الصحراوية من خلال استخلاص وتوصيف السليلوز، الذي يكتسي أهمية بالغة كبديل حيوي ومتجدد في الصناعات الحديثة. وقد وقع اختيارنا على نبات الأثل (Tamarix aphylla) نظراً لوفرته الكبيرة وقدرته العالية على مقاومة الملوحة والجفاف في البيئة المحلية (منطقة ورقلة)، مما يفتح آفاقاً اقتصادية واعدة لتثمين النباتات البرية غير المستغلة كيميائياً.

بهدف عزل السليلوز بنقاوة عالية، اعتمدنا على بروتوكولين تجريبين لإجراء دراسة مقارنة؛ حيث شملت الطريقة الأولى معالجة قلوية مباشرة (NaOH) متبوعة بالتبييض ($NaClO_2$)، في حين تم في الطريقة الثانية إدراج مرحلة هيدروليز حمضي ابتدائية قبل المعالجة القلوية والتبييض. وقد أظهرت المقارنة المخبرية والتحاليل الفحصية المعتمدة (SEM/EDX/FTIR) أن الطريقة الأولى أعطت مردوداً كتلياً أعلى ولكن بنقاوة أقل بسبب بقاء أثر لبعض الشوائب المعدنية واللغنين المصاحب، بينما نجحت الطريقة الثانية بفعالية أكبر في تفكيك الروابط المعقدة وهدم الهيميسيليولوز، مما أثمر عن سليلوز أكثر نقاوة ونصاعة (لون أبيض ناصع) وبنية ميكروبنية أدق، رغم انخفاض المردود الكتلي نسبياً نتيجة الحرق الحمضي الحاد.

وتفادياً للمشاكل والمطبات التقنية التي واجهتنا أثناء العمل المخبري، نتقدم بمجموعة من التوصيات الهامة للباحثين القادمين: أولاً، تطوير نظام الترشيح باستعمال المرشح الزجاجي المسامي المتصل بمضخة تفريغ لتجاوز الصعوبة البالغة في التصفية الناتجة عن لزوجة المادة بعد الطهي القلوي، مع الغسيل المكثف بالماء المقطر الساخن حتى التعادل (pH=7). ثانياً، توخي الحذر أثناء التبييض والعمل حتماً تحت مدخنة الغازات المخبرية وتجنب الرفع المفاجئ للحرارة لأن تفاعل كلوريت الصوديوم يحرر غازات سامة وخانقة وقد يتسبب في تفحم العينة. ثالثاً، الضبط الصارم لزمن الهيدروليز الحمضي كونه سلاحاً ذو حدين، حيث تؤدي أي زيادة في تركيز الحمض أو وقت التفاعل إلى تفكك السليلوز بالكامل وتحوله إلى سكريات ذائبة مما يعدم المردود تماماً. وأخيراً،

تجهيز لعينات للتحليل عبر تجفيف المستخلصات تماماً في الفرن وطحنها جيداً لضمان الحصول على نتائج دقيقة في فحص SEM/EDX وتفادي تشتت الحزمة الإلكترونية.

الآفاق المستقبلية:

- ✓ إنتاج مشتقات السليلوز: تحويله كيميائياً لإنتاج مركبات صناعية مثل الـ CMC وخلات السليلوز.

الانتقال لتقنية النانو (Nanocellulose): استخلاص البلورات النانوية (CNC) والألياف النانوية (CNF) من المنتج النقي.

- ✓ معالجة المياه والبيئة: استخدامه كمادة ماصة حيوية (Biosorbent) لإزالة الأصباغ والمعادن الثقيلة.
- ✓ التغليف الحيوي (Bioplastics): دمجه كعامل تدعيم في صناعة الأغشية والبلاستيك القابل للتحلل.
- ✓ التوسيع الصناعي: دراسة الجدوى الاقتصادية للانتقال بالبروتوكول المستخلص من النطاق المخبري إلى النطاق نصف الصناعي .

قائمة الملاحق

الشكل III- (1): صورة لجهاز الرج و التسخين.

الشركة:VELP Scientifica

وظيفته: تسخين المحاليل وتحريكها تلقائيا بواسطة مغناطيس يعمل على خلط المواد بشكل متجانس أثناء التفاعل.

الشكلIII - (2): صورة لمجفف كهربائي.

الشركة:J.P. Selecta

وظيفته: يستخدم لتجفيف العينات وإزالة الرطوبة وأحيانا لتعقيم الأدوات.

الشكلIII - (3): صورة لميزان التحليل المخبري الحساس.

الشركة: Adam Equipment

وظيفته: يستخدم لقياس الكتلة بدقة عالية جدا.

الشكلIII - (4): صورة جهاز الطرد المركزي

الشركة: Nüve A.Ş .

وظيفته: ترسيب المواد الثقيلة في الأسفل وبقاء المواد الأخف في الأعلى.

الشكلIII - (5): صورة المطحنة مخبرية كهربائية عالية السرعة.

الشركة: KT Chef

وظيفته: يُستخدم لـطحن المواد الصلبة مثل:النباتات ، البذور والحبوب، عينات التجارب.

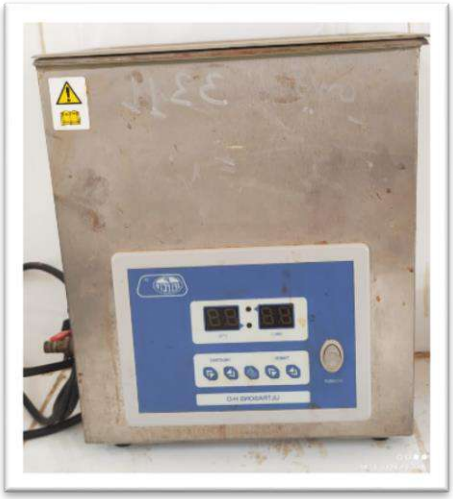
الشكلIII - (6): صورة لفرن الحرق

الشركة: Nabertherm GmbH

وظيفته: يُستعمل لتسخين العينات في درجات حرارة مرتفعة من أجل:

حساب نسبة الرماد، حرق المواد العضوية وترك المعادن فقط ، تجفيف أو معالجة حرارية للعينات

استخدامات في الكيمياء، البيولوجيا، والصناعات.



الشكلIII - (7): صورة لحوض الأمواج فوق الصوتية

الشركة: J.P. Selecta

وظيفته: يعتمد على ظاهرة تُسمى التجويف الصوتي (Cavitation)، حيث يُصدر موجات فوق صوتية داخل الماء، فتتكون فقاعات صغيرة جدًا تنفجر

وتساعد على:

تنظيف الأدوات (زجاجيات، معادن...)، إزالة الشوائب من العينات ، تسريع بعض التفاعلات الكيميائية أو الاستخلاص

الشكلIII - (8): صورة للمجهر الالكتروني الماسح (MEB/ EDX).

الشركة المصنعة: ZEISS (شركة كارل زايس الألمانية).

الوظيفة: يُستخدم لتكبير وتصوير أسطح العينات بدقة متناهية تصل إلى مستوى النانومتر. يتيح للباحثين دراسة التضاريس السطحية، التركيب البلوري، والتكوين الكيميائي للمواد (مثل المعادن، البوليمرات، العينات البيولوجية، والمستشعرات) عبر إرسال حزمة مركزة من الإلكترونات نحو العينة بدلاً من الضوء التقليدي.

الشكلIII -(9): جهاز سوكسليت للاستخلاص

الشركة : Cole-Parmer

الوظيفة:يستخدم لاستخلاص الزيوت والمواد العضوية من العينات الصلبة باستعمال مذيب وتسخين مستمر.