

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف - المسيلة

كلية العلوم



مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

تخصص: كيمياء

فرع: كيمياء المحيط

العنوان:

تحضير مواد مركبة من ألياف نباتية ونفايات
لمصنع أنابيب مغرب-المسيلة

من إعداد الطالبة:

جناوي أسماء

لجنة المناقشة:

رئيسا

جامعة المسيلة

د. دغفل النذير

مشرفا

جامعة المسيلة

د. العايب النوري

ممتحنا

جامعة المسيلة

د. جريو عمار

2023/2024

إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع بكل فخر وتقدير إلى كل من ساهم في إعطاء الدعم في حياتي بالعفة والتضحية. لأحبائي الغالين على قلبي أبي وأمي أطال الله في أعمارهم، الذين امتلكوا قلبي بحبهم وعفتهم وكانوا رمزا للقوة والشجاعة، لولاهم ما كنت أصل إلى هنا بنجاح. إلى أخواتي وإخوتي الأعزاء. إلى أبناء أخواتي الذين تضيء حياتي ببراءتهم وابتسامتهم. إلى أهلي وأقاربي الأحباء الذين كانوا دائما إلى جانبي. إلى جميع من وقفوا بجاني وشجعوني على النجاح. إلى أصدقائي الذين شاركوني كل لحظة في مسيرتي.

الشكر

الحمد لله الذي أنعم علينا من فضله يسر لنا أمورنا ونور درينا لإنجاز هذا العمل المتواضع.

سائلين الله أن يوفقنا ويسدد خطانا وييسر لنا خيرات العلم ويوفقنا فيما تبقى منه راجين من الله مزيدا من النجاح والتوفيق.

أتوجه بأسمى وأرقى عبارات الشكر والتقدير إلى الأستاذ المشرف العايب النوري الذي أشرف على إنجاز ومتابعة هذه المذكرة خطوة خطوة لعطاءه من نصائح وإرشادات أسأل الله أن يوفقه ويسدد خطاه ويمن عليه برحمته ويعوضه بالخيرات على مجهوداته.

كما أتقدم بخالص الشكر والعرفان لأعضاء لجنة المناقشة على تشريفهم لنا بقبولهم تقييم عملنا. وأتوجه بالشكر والامتنان إلى كل عمال مخبر قسم الكيمياء وقسم الفيزياء وقسم الميكانيك ومصنع أنابيب المغرب مسيلة، وإلى كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد في إنجاز هذا العمل من البداية إلى النهاية والله الموفق.

الفهرس

i	ملخص
i	Résumé
ii	قائمة الاختصارات
iv	قائمة الأشكال
vi	قائمة الجداول
1	مقدمة
2	1. دراسة نظرية للألياف النباتية
2	1.1. تعريف الألياف
2	2.1. أنواع الألياف وتصنيفها
6	3.1. تعريف الألياف النباتية
6	4.1. بنية الألياف النباتية
7	5.1. التركيب الكيميائي للألياف النباتية
11	6.1. خصائص الألياف النباتية
14	7.1. نبات اللوفا
16	2. دراسة نظرية للمواد المركبة والمعالجات الكيميائية
16	1.2. تعريف المواد المركبة
17	2.2. مكونات المواد المركبة
18	3.2. تصنيف المواد المركبة
21	4.2. خصائص المواد المركبة
21	5.2. أهم المعالجات الكيميائية
25	6.2. تحضير المواد المركبة
28	3. الطرائق والأجهزة المستعملة

28	1.3. مصنع أنابيب المغرب MPI
34	2.3. جهاز الطحن
34	3.3. تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX)
36	4.3. جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR)
37	5.3. جهاز الثني ذو ثلاث نقاط للمركبات (FLEXION)
39	6.3. جهاز الشد (TRACTION)
41	7.3. تحضير الخاليل
42	8.3. المعالجة الكيميائية للألياف
43	9.3. تحضير المواد المركبة
44	10.3. المواد المستعملة
46	4. النتائج ومناقشتها
46	1.4. اختبار الأشعة تحت الحمراء (FTIR)
48	2.4. اختبار الثني ذو ثلاث نقاط للمركبات (FLEXION)
54	3.4. اختبار الشد (TRACTION)
59	4.4. اختبار تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX)
63	الخاتمة
67	قائمة المراجع

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحضير مواد مركبة من ألياف نباتية (اللوفا) ونفايات لمصنع أنابيب مغرب-المسيلة. أولاً قمنا بإجراء المعالجة الكيميائية بالصودا ثانياً حيث استخدمنا خليط في دراستنا هذه هو عبارة عن مزيج من راتنج بنوع البوليستر الأورثوفتاليك وألياف نبات اللوفا. طريقة التي اعتمدنا عليها في التصنيع هي عملية القولبة بمشاركة مع مخبر مصنع أنابيب مغرب مسيلة. حيث تمت دراسة بعض الخصائص الميكانيكية عند إجراء اختبارات الشد والثني ذو ثلاث نقاط للمركبات التي من خلالها وصلنا إلى اكتشاف ان المواد المركبة المستخدمة في دراسة مقبولة.

Résumé

Ce travail vise à préparer des matériaux composites à partir de fibres végétales (luffa) et de déchets de l'usine de tuyaux Maghreb-M'sila. Tout d'abord, nous avons effectué un traitement chimique à la soude. Ensuite, nous avons utilisé un mélange dans cette étude, qui est une combinaison de résine polyester orthophtalique et de fibres végétales de loofa. La méthode que nous avons adoptée pour la fabrication est le moulage, en collaboration avec le laboratoire de l'usine de tuyaux Maghreb-M'sila. Nous avons étudié certaines propriétés mécaniques en effectuant des tests de traction et de flexion en trois points sur les composites. Ces tests nous ont permis de découvrir que les matériaux composites utilisés dans cette étude sont acceptables.

قائمة الاختصارات

MPI : مصنع أنابيب مغرب.

FTIR : جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء.

DRX : جهاز حيود الأشعة السينية.

FLEXION : جهاز الشني ذو ثلاث نقاط للمركبات.

TRACTION : جهاز الشد.

EDTA : حمض إيتيلين ديامين تترأسيستيك.

CrI% : معامل التبلور.

I₀₀₂ : شدة النبض الرئيسي للسيليلوز I.

I_{am} : شدة النبض المقابلة للجزء الابلوري من السيليلوز.

E(GPa) : معامل يونغ.

δ : الخناء عينة الشني.

P : الحمل.

σ_r : الإجهاد عند الانكسار (باسكال).

ε_r : الاستطالة عند الانكسار (%).

e_r : الطاقة الممتصة عند الانكسار.

F : القوة المطبقة (نيوتن).

S : مساحة المقطع العرضي (السلك * العرض) (ملم²).

L₀ : الطول الابتدائي للعينة.

L : ليفة.

DL : نفايات ليفة.

DU : نفايات المصنع.

ULF : عينة لنبات اللوفا غير معالجة.

LFTA13 : عينة لنبات اللوفا ذات تركيز 1% مدة 3 ساعات.

LFTA23 : عينة لنبات اللوفا ذات تركيز 2% مدة 3 ساعات.

LFTA33 : عينة لنبات اللوفا ذات تركيز 3% مدة 3 ساعات.

LFTA63 : عينة لنبات اللوفا ذات تركيز 6% مدة 3 ساعات.

LFTA93 : عينة لنبات اللوفا ذات تركيز 9% مدة 3 ساعات.

قائمة الأشكال

- الشكل (1) أنواع الألياف وتصنيفها. 2
- الشكل(2): تصنيف الألياف النباتية حسب مصدره. 5
- الشكل (3): البنية العامة للمادة النباتية. 6
- الشكل(4): التمثيل الكيميائي لسلسلة السليلوز. 7
- الشكل (5): الكربوهيدرات الرئيسية المكونة للهيميسيلولوز. 8
- الشكل (6): العناصر الأساسية لليغين. 9
- الشكل (7): بنية سلسلة من البكتين (حمض البولي جالاكتونيك). 10
- الشكل (8): مخطط لمورفولوجية ماكرونيوي ل: (a) ليف من القطن. (b) ألياف الخشب. 11
- الشكل (9): صورة (MET) لمختلف طبقات ليف نباتي. 12
- الشكل(10): مكونات الجدران الخلوية لليف من الخشب. 12
- الشكل (11): نبات اللوفا. 15
- الشكل(12): مكونات مختلفة لمادة مركبة. 16
- الشكل (13): الفئات المختلفة للمصفوفة. 17
- الشكل(14): المواد الرئيسية للتعزير. 18
- الشكل(15): التصنيفات للمواد المركبة حسب شكل المكونات. 19
- الشكل(16): هيكل نموذجي للألياف (i) غير المعالجة و (ii) المعالجة. 22
- الشكل(17): مراحل القولية. 26
- الشكل (18): موقع مصنع أنابيب المغرب MPI. 28
- الشكل(19): التكوين الخاص بمجدار الأنبوب. 30
- الشكل (20): الطلاء الداخلي للأنبوب. 31
- الشكل (21): الطلاء الخارجي للأنبوب. 31
- الشكل(22): تطبيقات PRV المختلفة. 33
- الشكل (23): جهاز الطحن. 34
- الشكل (24): مبدأ قانون براغ. 35
- الشكل (25): جهاز الأشعة السينية (DRX). 36
- الشكل (26): جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR). 37

- الشكل (27): مبدأ اختبار الشني ذو ثلاثي نقاط للمركبات..... 38
- الشكل (28): جهاز الشني ذو ثلاث نقاط للمركبات (FLEXION)..... 39
- الشكل (29): جهاز الشد (TRACTION)..... 41
- الشكل (30): عينة من نبات اللوفا مغمسة في محلول الصودا..... 42
- الشكل (31): عينات نبات اللوفا بعد تجفيف..... 42
- الشكل (32): خطوات تحضير القالب..... 43
- الشكل (33): العينات المنجزة..... 44
- الشكل (34): نوع من الراتنج (البوليستر الأورثوثاليك)..... 44
- الشكل (35): منحى اختبار جهاز الأشعة تحت الحمراء للعينة (ULF)..... 46
- الشكل (36): منحى اختبار جهاز الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA13)..... 47
- الشكل (37): منحى اختبار جهاز الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA23)..... 47
- الشكل (38): منحى اختبار الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA33)..... 47
- الشكل (39): منحى اختبار الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA63)..... 48
- الشكل (40): منحى اختبار الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA93)..... 48
- الشكل (41): منحنيات اختبار الشني ذو ثلاث نقاط للمركبات لمختلف أنواع المواد المركبة..... 54
- الشكل (42): منحنيات اختبار الشد لمختلف أنواع المواد المركبة..... 59
- الشكل (43): منحى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة ULF..... 59
- الشكل (44): منحى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA13..... 60
- الشكل (45): منحى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA23..... 60
- الشكل (46): منحى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA33..... 60
- الشكل (47): منحى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA63..... 61
- الشكل (48): منحى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA93..... 61

قائمة الجداول

- الجدول (1): أنواع الألياف الاصطناعية. 3
- الجدول (2): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مقوى بألياف النباتية(اللوف). 49
- الجدول (3): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوف). 49
- الجدول (4): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف ونفايات المصنع. 50
- الجدول (5): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات نبات اللوف ونفايات المصنع... 51
- الجدول (6): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف. 54
- الجدول (7): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوف. 55
- الجدول (8): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف ونفايات المصنع.... 55
- الجدول (9): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات ألياف نبات اللوف ونفايات المصنع. 57
- الجدول (10): معامل التبلور للألياف غير المعالجة والمعالجة. 62

مقدمة

مقدمة

تعد الألياف الطبيعية مصدراً متجدداً للطاقة وتمثل جيلاً جديداً من التعزيزات والإضافات للمواد البوليمرية. شهد تطوير المواد المركبة التي تعتمد على الألياف الطبيعية اهتماماً متزايداً مؤخراً بسبب الوعي البيئي العالمي المتزايد. تعتبر الألياف الطبيعية بديلاً ممكناً للمواد الاصطناعية ومنتجاتها في التطبيقات، حيث تتميز بوزن أخف واستهلاك طاقة أقل بالإضافة إلى صلابتها وصدقيتها للبيئة.

يُعتبر استخدام ألياف النبات مصدراً محورياً لتطوير هذه المواد المركبة، نظراً لخصائصها الفيزيائية والميكانيكية المميزة. يهدف هذا البحث إلى تحضير مواد مركبة من ألياف نباتية ونفايات لمصنع أنابيب مغرب-المسيلة. تم معالجة ألياف اللوفا باستخدام محاليل الصودا بتركيز مختلفة، وتم تحضير المركبات في مختبر مصنع أنابيب المغرب بمنطقة مسيلة.

تم تقسيم العمل إلى أربعة فصول:

الفصل الأول يتناول الألياف النباتية،

والفصل الثاني يتناول المواد المركبة،

والفصل الثالث يستعرض الطرائق والأجهزة المستخدمة،

والفصل الرابع النتائج ومناقشتها،

وفي النهاية الخاتمة.

الفصل الأول:

دراسة نظرية للألياف النباتية

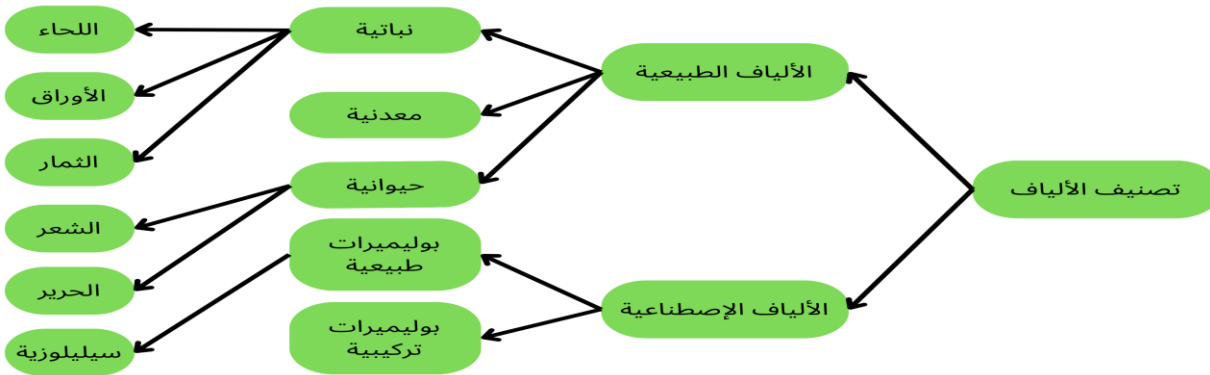
1. دراسة نظرية للألياف النباتية

1.1. تعريف الألياف

تُعدُّ الألياف موادًا تأخذ شكل حبال أو خيوط طويلة ذات أقطار صغيرة جدًا تتراوح بين 3 ميكرومتر و 10 ميكرومتر [1]. تستخدم هذه الألياف في تعزيز المركبات البوليميرية، وتشمل أنواعًا مختلفة مثل الألياف النباتية والألياف المعدنية والألياف الحيوانية والألياف الاصطناعية. تتمتع هذه الألياف بخصائص ميكانيكية مميزة مثل مقاومة الإجهاد والصلابة والعزل الحراري والصوتي.

2.1. أنواع الألياف وتصنيفها

تنقسم الألياف إلى ألياف طبيعية وألياف اصطناعية كما هو موضح في الشكل (1). تتميز الألياف الطبيعية بخواص معينة، حيث تتفكك بيولوجياً ويمكن الحصول عليها من مصادر متجددة. بينما تتميز الألياف الاصطناعية بقوتها وقلة تكلفتها، وإمكانية أكبر لتعديل خواصها وتركيبها الكيميائي. البنية الكيميائية للألياف الطبيعية والاصطناعية مختلفة تماماً، ولكن يمكن هندسة الألياف الاصطناعية لتشبه الألياف الطبيعية [2].



الشكل (1) أنواع الألياف وتصنيفها [2].

1.2.1. الألياف الاصطناعية

تعتمد هذه العملية على استخدام مصادر بتروكيميائية لتشكيل البوليميرات في شكل خيوط. تتميز هذه الخيوط بمقاومة عالية للتآكل وامتصاص الرطوبة المنخفض، ولديها درجة تبلور عالية. أحد أمثلة هذه الألياف هو البولي أستر. يجب ملاحظة أن هناك عدة أصناف من الألياف الاصطناعية [3]، ومن بينها تلك المذكورة في الجدول (1).

الألياف الاصطناعية	
ألياف تركيبية: synthétique	ألياف تركيبية طبيعية: synthétique naturels
<ul style="list-style-type: none"> ● بولي أميد ● بولي إستر ● بولي فينيل ● بولي أوليفين polyolefin 	<p>ألياف سيليلوزية:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ألياف الفيسكوز ● ألياف الحرير الصناعي ● ألياف أكسيد النحاس النشادري
	<p>ألياف بروتينية تركيبية:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ألياف الكازين ● ألياف الفول السوداني ● ألياف الصويا
	<p>ألياف بروتينية أخرى:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ألياف المطاط الطبيعي ● ألياف السيليكات ● ألياف السيليكا

الجدول (1): أنواع الألياف الاصطناعية [4].

تدخل الألياف الاصطناعية في تكوين معظم البوليميرات المستخدمة في الصناعات الحديثة، ولذلك يجب أن تتمتع بصفات فيزيائية وكيميائية معينة [3]، مثل:

- وجود قوى جزيئية عالية بين سلاسل البوليميرات.
- درجة الانصهار والتلين عالية نسبياً.
- يجب أن تكون الألياف مقاومة للاشتعال، غير سامة، وغير مسببة للحساسية.

2.2.1. الألياف الطبيعية

تُعتبر الألياف النباتية هي الأقدم والأكثر انتشاراً في الاستخدام، حيث تُعتبر مصدراً ثابتاً ومتجدداً للألياف وتأتي من مصادر طبيعية. يمكن تصنيف الألياف إلى ألياف حيوانية، معدنية ونباتية [5].

1.2.2.1. ألياف طبيعية ذات أصل حيواني (ألياف بروتينية)

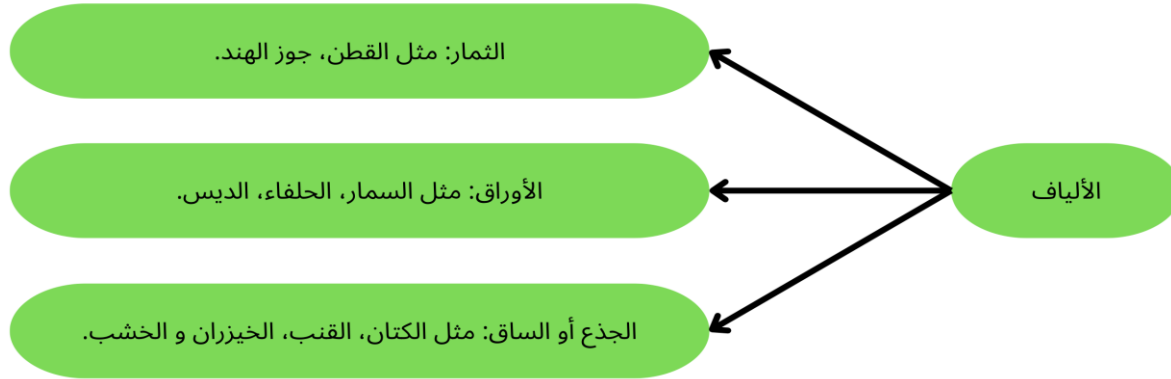
تتكون الألياف الحيوانية من بصيلات الشعر والصوف التي تحتوي على بروتينات، وتشمل هذه الألياف الحيوانية الصوف وشعر المعزة الفارسية وألياف الفرو والحريير والألبكة والأنغورا وحريير العنكبوت [6].

2.2.2.1. ألياف طبيعية من مصدر معدني

تعتبر هذه المجموعة ذات أهمية محدودة، ويعتبر الأسبستوس أهم هذه الألياف، حيث يتم استخراجه من صخور طبيعية [5].

3.2.2.1. ألياف طبيعية ذات أصل نباتي

يمكنك الاستفادة من الألياف النباتية الموجودة في أجزاء مختلفة من النبات، مثل الفواكه أو الأوراق أو السيقان أو الجذور [7].



الشكل(2): تصنيف الألياف النباتية حسب مصدره [3].

1.3.2.2.1 ألياف الثمار والفواكه

تعتمد بشكل أساسي على الفواكه أو البذور، وهي قصيرة ورقيقة مثل ألياف جوز الهند وألياف القطن، والتي تُعتبر من الألياف

الطبيعية الأكثر انتشارًا في العالم. وقد تجاوز إنتاج الألياف التركيبية مؤخرًا تريفتالات بولي إيثيلين [8].

2.3.2.2.1 ألياف الأوراق

تعتبر الألياف الطبيعية ذات الأصل النباتي أكثر طولاً نظراً لحجم أوراقها الكبير، وتستخدم في صناعة النسيج والحبال والخيوط المفتولة.

ومن الأمثلة على ذلك السمار والحلفاء [9].

3.3.2.2.1 ألياف السيقان

تتكون الألياف في النباتات عادةً من حزم تقوم بوظيفة نقل الماء من الجذور إلى الأوراق، بالإضافة إلى ألياف أخرى تقوم بربط

نهايات الألياف مثل ألياف الكتان [10].

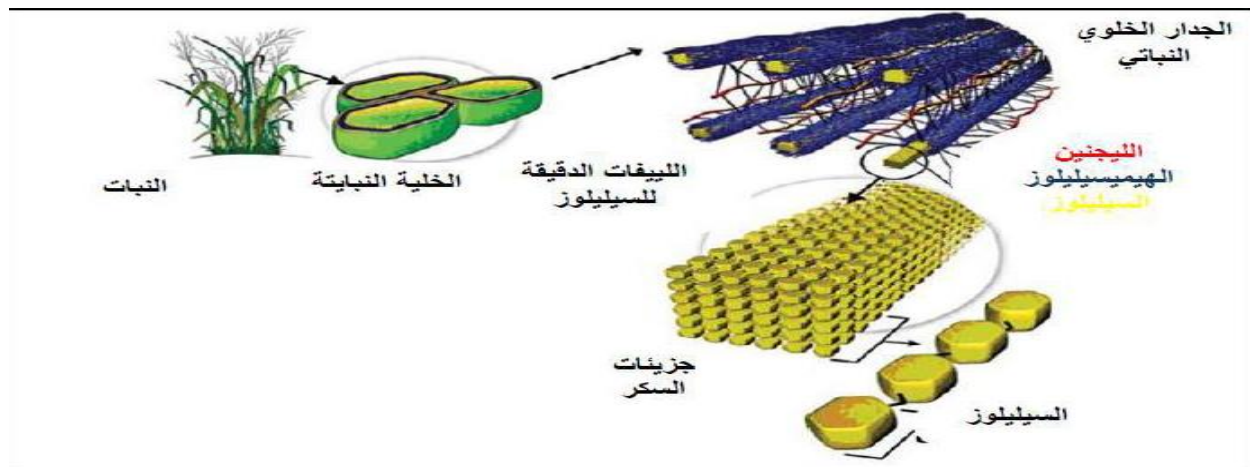
3.1. تعريف الألياف النباتية

الألياف النباتية عبارة عن هيكل ليفي يتكون من السليلوز والهيميسليلوز والليجنين. ويحتوي على نسب منخفضة نسبياً من المواد غير النيتروجينية القابلة للاستخراج مثل البروتين الخام والدهون والمعادن. وتختلف نسب هذه المكونات بشكل كبير حسب نوع النبات وعمره وأعضائه [11][12].

4.1. بنية الألياف النباتية

تتألف الجدار الخلوي النباتي من ليفات دقيقة، حيث يتكون كل ليف من مركب متعدد الطبقات. يلعب الليجنين والهيميسليلوز دور المصفوفة التي تحيط بالسليلوز، وهو العنصر البنيوي الصلب جداً كما هو موضح في الشكل (3)[12].

تتكون البنية البيولوجية للألياف بشكل أساسي من الهولوسليلوز، وهو مزيج من السليلوز والهيميسليلوز والليجنين والبكتين [14]. بالإضافة إلى ذلك، تحتوي الألياف بنسبة أقل على بعض المواد القابلة للاستخلاص مثل البروتينات وبعض المركبات غير العضوية [15]. تختلف نسبة الهولوسليلوز والليجنين وفقاً لطبيعة الألياف النباتية مثل الخشب وقصب السكر.



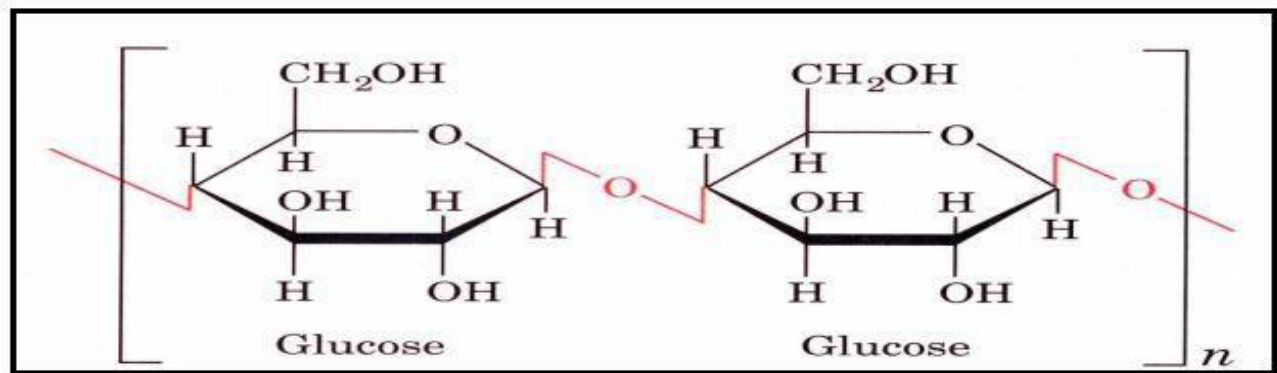
الشكل (3): البنية العامة للمادة النباتية [13].

5.1. التركيب الكيميائي للألياف النباتية

تختلف تركيبة الكيميائية للألياف النباتية من نبات إلى آخر، وتعتمد على النوع وعمر النبات والظروف المناخية وتركيب التربة وطريقة الاستخراج المستخدمة [16]. وتشمل المكونات المختلفة للألياف النباتية:

1.5.1. السليلوز

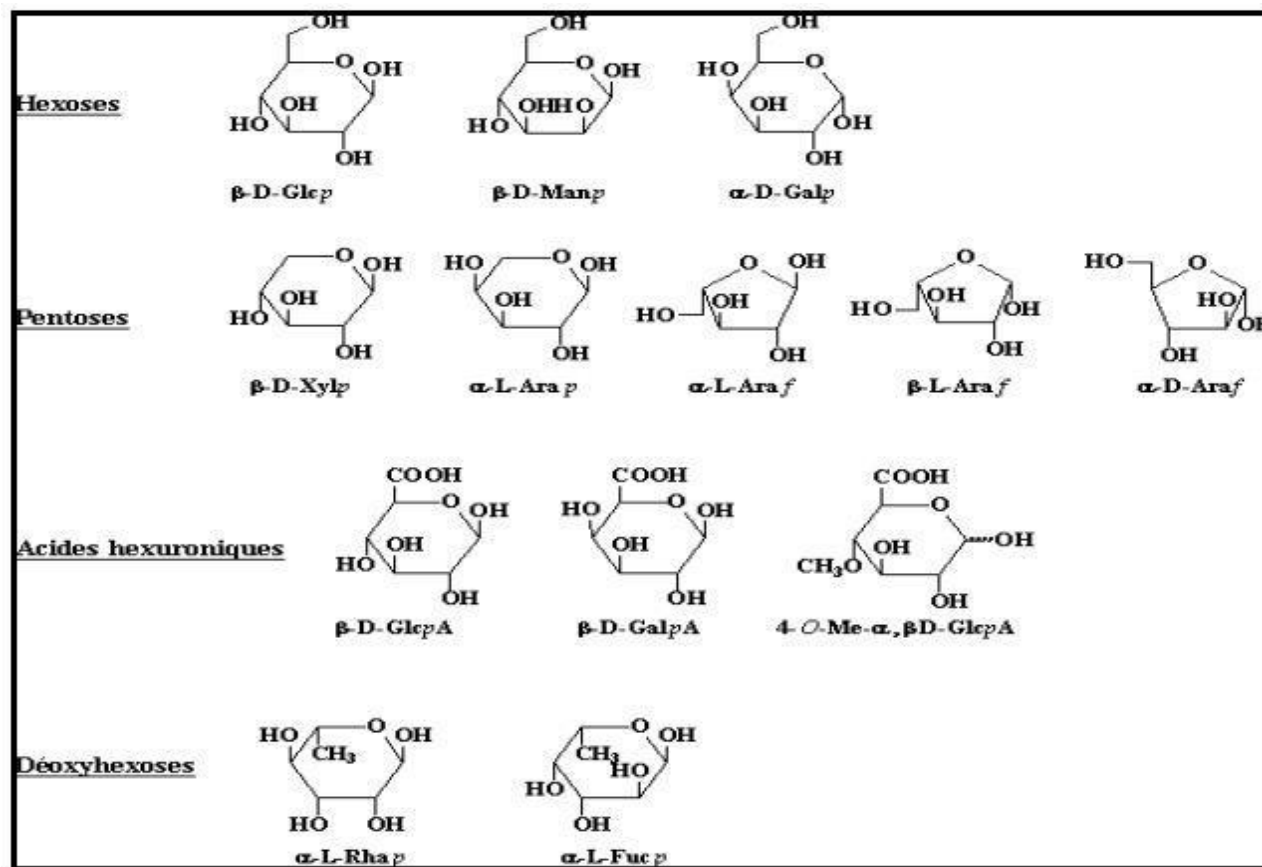
تم اكتشاف وجود السليلوز في جدران الخلايا النباتية من قبل أنسلم باين في عام [17] 1838. يعتبر السليلوز الجزيء الحيوي الأكثر وفرة على الأرض. من الناحية الكيميائية، يتكون السليلوز من سلسلة كبيرة ومنتظمة تتكون من وحدات الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$. يتميز السليلوز بهيكل أليافي وجزئياً بلوري. تتكون المايكروفيبريلات السليلوزية من مناطق بلورية مرتبة ومناطق عشوائية تماماً. في المنطقة البلورية، تتم ترتيب سلاسل السليلوز بشكل متوازي ومرتبطة بروابط هيدروجين داخلية وبين الجزيئات. تعتمد جميع خصائص السليلوز بشكل كبير على كثافة الروابط الهيدروجينية القوية التي تتطور بين السلاسل. تتميز التفاعلات الجزيئية بالقوة وتضمن الجزء الأساسي من التماسك ومنع اختراق المواد الكيميائية. بفضل تماسكها العالي، السليلوز غير قابل للذوبان في معظم المذيبات. وبشكل طبيعي، يحتوي السليلوز على نسبة عالية من الماء [18].



الشكل (4): التمثيل الكيميائي لسلسلة السليلوز [13].

2.5.1. الهيميسيليلوز

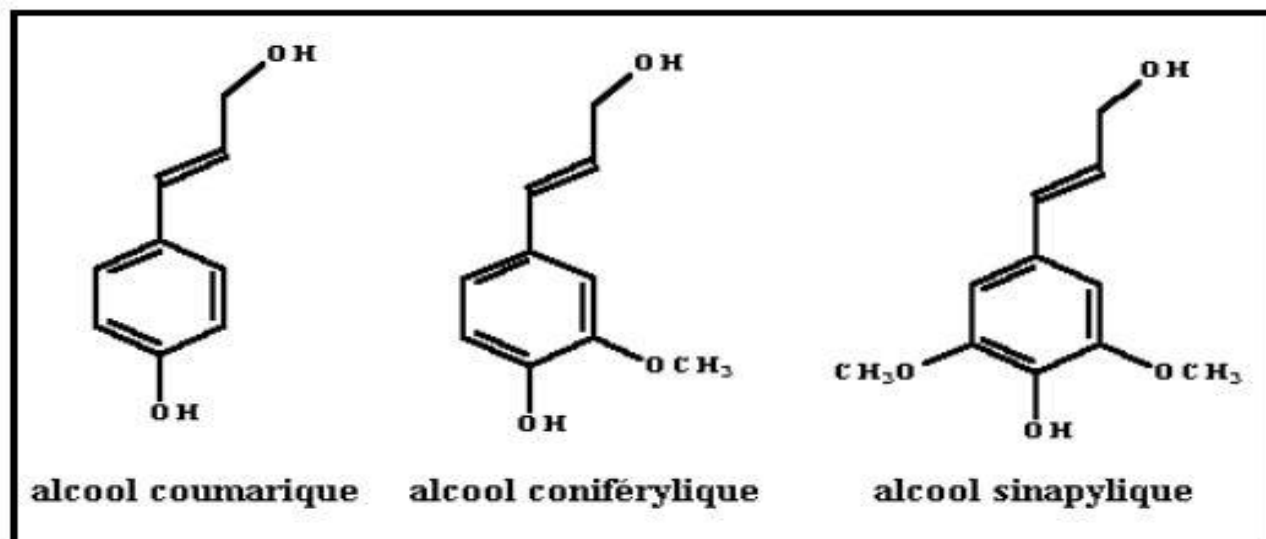
يشير مصطلح الهيميسيليلوز إلى أي بوليساكاريد يمكن أن يذوب في الماء ويمكن استخلاصه من جدران خلايا النباتات باستخدام محاليل حمضية. تعتبر الهيميسيليلوزات فئة متنوعة للغاية من البوليمرات، حيث تحتوي على العديد من الوحدات الأحادية والعديد من التفرعات المختلفة. وبالتالي، فإنها غير محددة بشكل كاف. في الحالة الطبيعية، تعتمد هيكلها على نوع النبات، وتتراوح درجة تبلورها بين 200 و300. تظهر الشكل (5) الوحدات الأحادية السكرية الأكثر تمثيلاً للعائلات المختلفة من الهيميسيليلوز. وهي بوليساكاريدات تتكون سلسلة البوليمير الرئيسية لها من الزيلوز والمانوز والجالاكتوز على التوالي [19].



الشكل (5): الكربوهيدرات الرئيسية المكونة للهيميسيليلوز [19].

3.5.1. الليغنين

الليغنين هو واحد من أكثر المواد العضوية المتجددة والمتوفرة بكثرة على سطح الأرض، وهو يأتي بعد السليلوز. يشكل الليغنين الأصلي أو "البروتوليغنين" الجزء الأهم غير السكري في ألياف النباتات. إنها المادة "المتخثرة" للسليلوز. يتكون الليغنين من بوليمرات فينولية ثلاثية الأبعاد غير المتبلورة تحتوي على ثلاث وحدات مختلفة من نوع البنيلبروبان: كحولات الباراكوماريليك، والكونيفيريليك، والسينايبيليك [21]. نظرًا لأنه من المستحيل عزل الليغنين الطبيعي من الخشب دون تحلله، فإن كتلته الجزيئية لا تزال مجهولة. يمكننا العثور على تقديرات لكتلته الجزيئية تتراوح قيمها الوسطية من 5000 إلى 10000 جم/مول لأخشاب الأشجار الصلبة (أشجار الورق)، وتصل إلى 20000 جم/مول لأشجار الأشجار اللينة (أشجار الصنوبر). يوضح الشكل (6) الأنماط الأساسية لليغنين. الليغنين قليل الحساسية للتحلل البيولوجي ويساهم في الحماية الطبيعية للنباتات ضد بعض الهجمات الطفيلية [20].

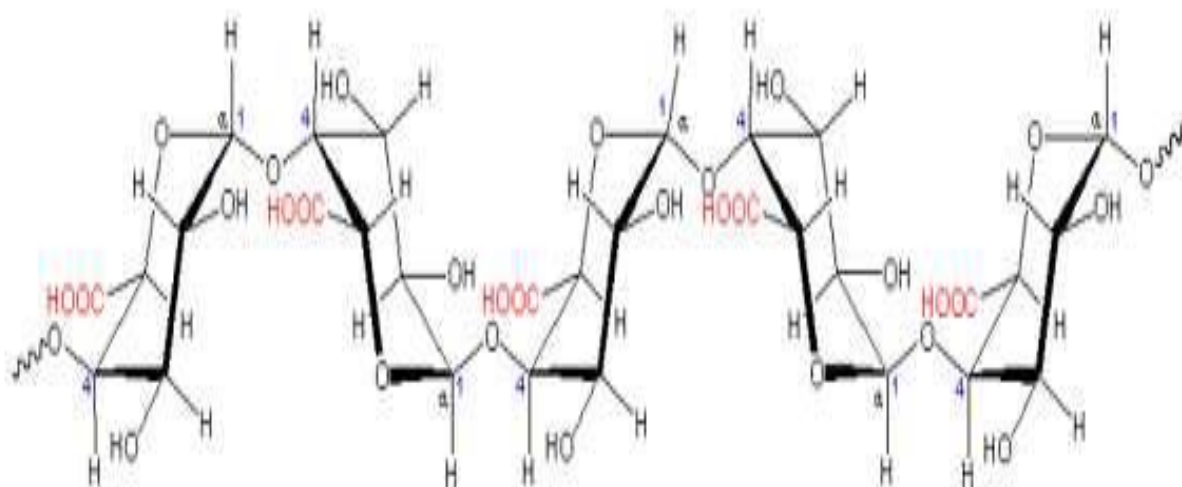


الشكل (6): العناصر الأساسية لليغنين [20].

4.5.1. البكتين

تتواجد البكتينات الهلامية بنسب مختلفة في معظم النباتات، حيث تبلغ حوالي 1% في الخشب. تعتبر البكتينات المركبات الأكثر هيدروفيلية في الألياف النباتية بسبب وجود مجموعات حمض الكربوكسيليك. تلعب البكتينات دورًا هامًا في الإلتصاق بين الخلايا وتعمل كملاط داخل الخلية، كما تساهم في التحام النسيج النباتي [22]. يتم استخلاصها من الألياف بواسطة الطرق الكيميائية، سواء بغلي الماء [23] أو باستخدام حمض إيتيلين ديامين تترأستييك (EDTA) [24].

من الناحية الهيكلية، تتكون البكتينات من متعدد السكريات/الجليكوز، وهي تتكون من وحدات حمض (-Da- جلاكتيرونيك) تترابط بروابط تتقاطع مع وحدات من (- L-رامنوبيرانوز) في هيكل خطي [25].

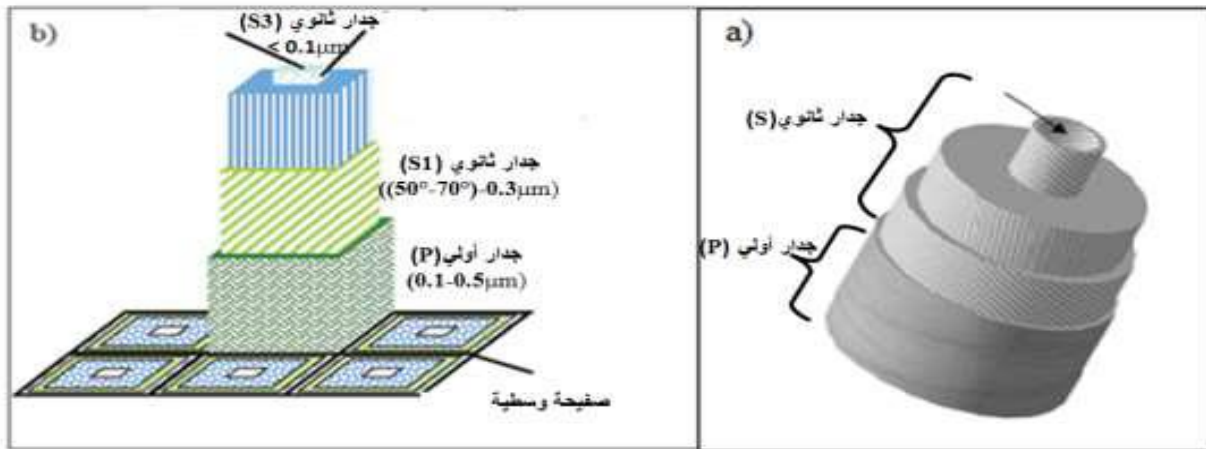


الشكل (7): بنية سلسلة من البكتين (حمض البولي جلاكتيرونيك) [26].

6.1. خصائص الألياف النباتية

1.6.1. البنية الفيزيائية

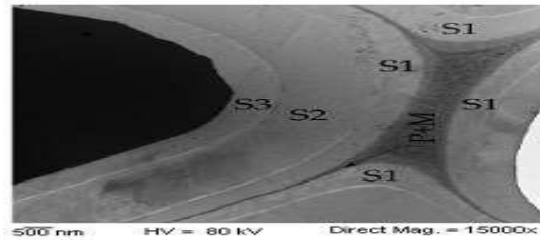
تعتبر الألياف النباتية مادة متعددة الطبقات مكونة من جدران اسطوانية متحدة المركز و هي التي تشكل الألياف (الشكل 8) في وسط الألياف الابتدائية، هناك تجويف يحتوي - حتى نضج الألياف - على نواة الخلية و السيتوبلازم، و يتم استخدام حجم التجويف لتحديد نوعية و درجة نضج الألياف [29].



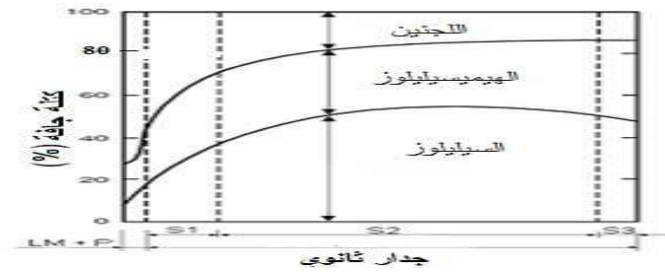
الشكل (8): مخطط لمورفولوجية ماكروبنوي ل: ليف من القطن. (a) ليف من القطن.

(b) ألياف الخشب [28][27].

الجدار الذي هو الغلاف النباتي، أساسا من البكتين، والليغنين ومركبات كيميائية مختلفة. الجزء الثاني يتكون من ثلاث طبقات (S1،S2،S3) وتشكل الغالبية من حجم الليف. ويتألف من ليفيات مجهرية، الليغنين والهيميسيلولوز. كما أن الليفيات المجهرية للسيليلوز لديها بني جد متبلورة وعالية التوجه وتتجمع في حزم من الليفيات (بمساعدة البكتينات والليغنين والهيميسيلولوزات مشكلة ليفيات متماثلة. باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ (MET)، فإن مختلف الطبقات لجدار الخلية النباتية يمكن الكشف عنها بسهولة، وذلك حسب الألياف المدروسة، ويمكن كذلك تقدير سمك كلا منها (الشكل 9) كما أن المكونات الكيميائية لمختلف الطبقات لجدار الخلية هي موضحة في الشكل (10). ويمكن أن نلاحظ بأن نسبة السيليلوز تكون مهمة في الطبقة (S2) مقارنة بالطبقة (S1). كما أن الطبقة (S2) هي الأكثر سمكا في الليف النباتي.



الشكل (10): صورة (MET) لمختلف طبقات ليف نباتي [30].



الشكل (9): مكونات الجدران الخلوية للليف من الخشب [31].

ترتب الليفات المجهرية بشكل حلزوني، وزاوية الليفات مع المحور الطولي تلعب دوراً مهماً في تحديد الخصائص الميكانيكية للألياف النباتية [32]. أظهرت دراسة أجراها الباحث الحسيني أن زاوية الليفات المجهرية تؤثر على خصائص الشد لألياف الخشب، حيث تنخفض إجهادات القطع ومعامل المرونة مع زيادة الزاوية من 1 درجة إلى 46 درجة. وبشكل عام، كلما كانت الزاوية أقل كلما كانت الخصائص الميكانيكية أفضل [12].

2.6.1. البنية الكيميائية

تعتبر الألياف النباتية مهمة في تحضير المركبات بناءً على تركيبها الكيميائي. تتميز هذه الألياف بتركيبها الكيميائي التي تؤثر بشكل كبير على متانتها، خاصة في الأوساط القلوية. يتكون التركيب الكيميائي للألياف النباتية من ثلاثة عناصر رئيسية وهي السليلوز والهيميسيلوز والليغنين، بالإضافة إلى نسبة صغيرة من المواد القابلة للاستخلاص بالمذيبات العضوية والبروتينات والنشا وبعض المنتجات غير العضوية. تتغير نسبة الهولوسيليلوز (المكون من السليلوز والهيميسيليلوز) والليغنين حسب طبيعة ومصدر هذه الألياف، وتتأثر مكونات الألياف بشروط النمو وعمر النبات والظروف المناخية وطبيعتها [33]. وبشكل عام، يمكن القول أن السليلوز هي الكمية الأكثر شيوعاً في النباتات، حيث تشكل نسبة تتراوح بين 30-40%، وقد تكون أعلى في بعض الأحيان مثلما هو الحال في القطن. أما نسبة الليغنين، فتتراوح بين 10-30% وتختلف حسب نوع النبات [15]. ونسبة الهيميسيليلوز تتراوح بين 20-30%. هذين المكونين الآخرين، اللذين هما بوليميرين غير متجانسين، يشكلان كميات متغيرة بشكل كبير وذلك يعتمد على نوع النبات. تتأثر الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للألياف الطبيعية بالمكونات الثلاثة الهولوسيليلوز والليغنين، وتتغير بشكل كبير. تحدد هذه الخصائص بالتركيب الكيميائي والبنية التي تستخلص منها الألياف، سواء كانت من الأوراق أو البذور أو السيقان [34]. بشكل عام، يعتبر السليلوز المكون الأساسي للألياف، وهو يتواجد بشكل بسيط في جدران الخلايا. ونظراً لبساطة سلسلة السليلوز (عدم وجود فروع أو تعقيدات حجمية)، يتراص الماكروجزيمات بسهولة لتشكيل مناطق بلورية. يساهم السليلوز في قوة وصلابة الألياف بفضل السلاسل الموجهة بشدة. ترتبط الخصائص الميكانيكية للألياف الطبيعية أيضاً بنوع السليلوز، حيث يتم تحديد هذه الخصائص أيضاً بواسطة الظروف الهندسية [35]. إذا كان بالإمكان اعتبار السليلوز كعامل تقوية (عامل هيكلية)، فإن الهيميسيليلوز والليغنين يمكن أن يكونا مواد رابطة. يتكون الهيميسيليلوز من مونوسكاريدات وأحماض السكر، وكتلته المولية أقل بكثير من

السيليلوز، وبعض هذه الجزيئات متشعبة، مما يجعل تكوين الشكل البلوري صعبًا. ونتيجة لذلك، يكون البوليمير في الهيميسيليلوز من النوع اللابلوري. يتميز الهيميسيليلوز بأنه يحب الرطوبة ويتصاق بمساحة السيليلوز عن طريق روابط هيدروجينية، وله روابط قوية مع الليغنين. يعتبر الهيميسيليلوز المسؤول عن التحلل العضوي، امتصاص الرطوبة، والتحلل الحراري. أما الليغنين، فيكون مستقرًا حراريًا، ولكنه يتحلل تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية [36]. الليغنين هو جزيء ثلاثي الأبعاد معقد وغير بلوري، يتكون من مجموعات فينيلية، وتركيبته الكيميائية غير معروفة بشكل كامل. يتميز الليغنين بكونه كارهاً للرطوبة ويمنح صلابة لخلايا الألياف النباتية في المناطق البلورية.

3.6.1. بنية ومورفولوجية الألياف

الجدار الخلوي النباتي يتألف من ليفات دقيقة، حيث يكون كل ليف عبارة عن مركب متعدد الطبقات. يقوم الليغنين والهيميسيليلوز بدور المصفوفة التي تحيط بعنصر بنيوي صلب جدًا وهو السيليلوز [12]. الهيكل البيولوجي للألياف يتألف أساسًا من الهولوسيليلوز، وهو مركب يتكون من السيليلوز والهيميسيليلوز والخشبين (الليغنين) والدباغ (البكتين) [33]. تحتوي الألياف بنسبة أقل على مواد قابلة لاستخلاص البروتينات وبعض المركبات [15]. تتباين نسبة الهولوسيليلوز والليغنين وفقًا لنوع الألياف النباتية، مثل الخشب والقنب وقصب السكر. بشكل عام، تتكون بنية الألياف من أجزاء غير متجانسة وصغيرة. تتكون هذه الأجزاء من خيوط سيليلوزية أو ليفات بطول يتراوح بين 2 إلى 5 ملم وقطر يتراوح بين 5 إلى 10 ميكرومتر. ترتبط هذه الأجزاء مع بعضها البعض بواسطة الهيميسيليلوز لتشكل الليف [37].

7.1. نبات اللوفا

تُعرف اللوفا الأسطوانية بشكل شائع باسم اللوفا، والإسفنج النباتي، وقرع الإسفنج، وإسفنج الحمام أو المطبخ، وهي جزء من عائلة القثائيات [38]. اللوفا الأسطوانية هي نبات يتحمل درجات الحرارة المعتدلة، وهي متوفرة بكثرة في الصين واليابان والهند، وأيضًا في بعض البلدان الأخرى في قارة آسيا، بالإضافة إلى أمريكا الوسطى والجنوبية [39]. يمكن تناول ثمار اللوفا الأسطوانية كخضار عندما تكون صغيرة، ولكن لا يمكن تناول الثمار الناضجة بسبب مذاقها المر نتيجة لتطور المواد المسهلة. يُستخدم اللوفا كدواء نظرًا لخصائصه المسهلة في علاج الودمة والتهاب الكلى والتهاب الشعب الهوائية المزمن وشكاوى الرئة [40]. تحتوي ثمار اللوفا على نظام وعائي ليفي يتشكل في مسحوق

طبيعي عندما يجف. يتميز المسحوق الطبيعي للوفا بقوته وصلابته وقدرته على امتصاص الطاقة بشكل ملحوظ مقارنة بالمواد الخلوية المعدنية في نفس الكثافة [41]. ذكر الباحثون [43][42]، تحتوي هذه الألياف على نسبة مئوية من السليلوز تتراوح بين 55%-70%، والهيميسليلوز بنسبة 8%-22%، واللينين بنسبة 10%-23%، والمواد الاستخراجية بنسبة 3.2%، والرماد بنسبة 0.4%. يبدو تركيب هذه الألياف الكيميائي مناسباً للمركبات البلمرية. ووفقاً للباحثين، تم دراسة تأثير معالجة سطح الألياف على الخصائص الميكانيكية للمركبات البلمرية اللوفا الأسطوانية. وكان لديهم اعتقاد بأن معالجات كيميائية مختلفة للألياف اللوفا تعزز الخصائص الميكانيكية للمركبات. تم دراسة [44] تأثير شيخوخة الماء على الخصائص الميكانيكية لمركبات البوليستر اللوفا الأسطوانية، وتبين أن شيخوخة الماء تقلل من هذه الخصائص [45][43].



الشكل (11): نبات اللوفا [46].

الفصل الثاني:

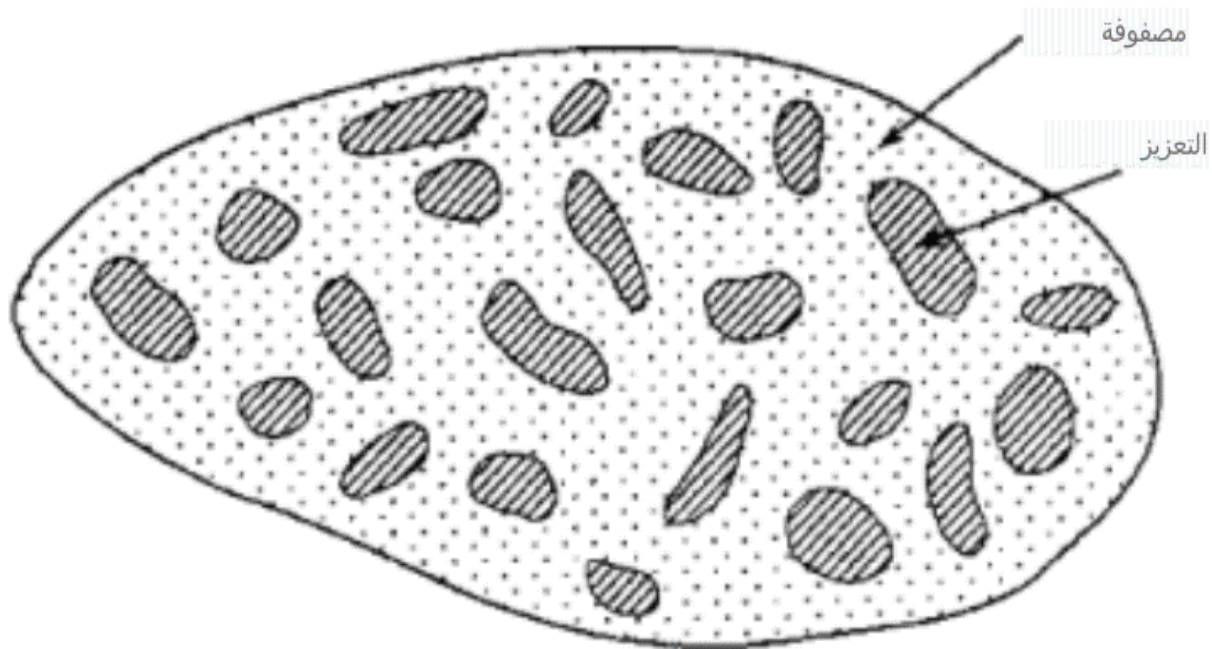
دراسة نظرية للمواد المركبة والمعالجات

الكيميائية

2. دراسة نظرية للمواد المركبة والمعالجات الكيميائية

1.2. تعريف المواد المركبة

المركبات هي مواد مركبة تتكون عادة من مادتين على الأقل غير قابلتين للذوبان. تتكون هذه المركبات من مصفوفة تحتوي على تعزيزات موزعة بشكل مراقب (يرجى الرجوع إلى الشكل (12)[41]). تحتفظ المصفوفة بالتعزيزات وتسهل نقل الحمل، بينما تمنح التعزيزات الخصائص الميكانيكية العالية مثل الوحدة والصلابة والمتانة. الهدف من هذا التوازن هو الحصول على مادة تتمتع بخصائص محددة تتفوق على تلك المصفوفة غير المقواة. تكون المواد التي تم الحصول عليها بهذه الطريقة غير متجانسة وغير متجانسة في هيكلها[42][41].



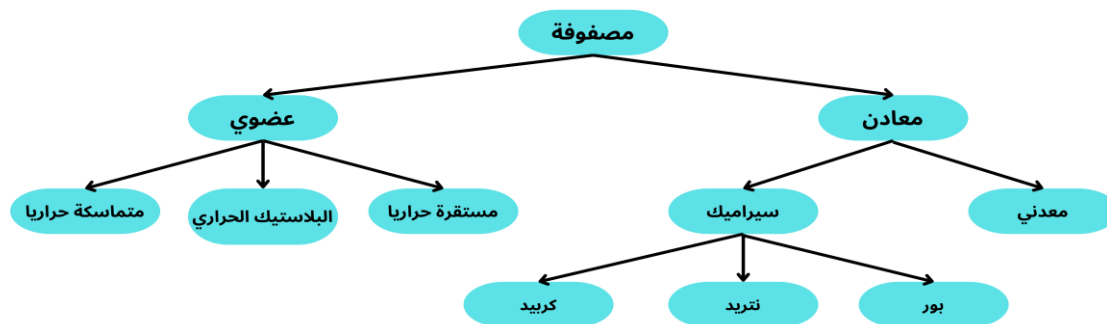
الشكل(12): مكونات مختلفة لمادة مركبة[42].

2.2. مكونات المواد المركبة

المادة المركبة تتألف من عدة مكونات، وتتكون من مرحلة مستمرة تسمى المصفوفة أو الرابط، ومرحلة أو أكثر من المراحل المتقطعة تسمى التعزيز أو الألياف. عادةً ما تكون التعزيزات أكثر صلابة وتمنح المادة خصائص ميكانيكية مرتفعة. إذا كانت هناك عدة مراحل متقطعة، يُطلق على المركب اسم تركيبة متعددة. بالإضافة إلى هاتين المكونتين الأساسيتين، يجب إضافة واجهة تضمن التوافق بين التعزيز والمصفوفة، وتنقل الضغوط بينهما [47].

1.2.2. مصفوفات

تلعب المصفوفة أدوارًا متعددة وأساسية في المواد المركبة. فهي تربط الألياف التعزيز ببعضها البعض، وتضيف البوليمرات مقاومة كيميائية للهيكل، وتمنح الشكل المطلوب للمادة النهائية، وتسمح بتوزيع الضغوط [48]. تعتمد اختيار المصفوفة المناسبة على تطبيق المركب. في حالة المواد المركبة التي تعتمد على الألياف، فإن المصفوفة البوليمرية تكون المكون الأساسي [47]. يمكن استخدام مواد مثل البوليستر غير

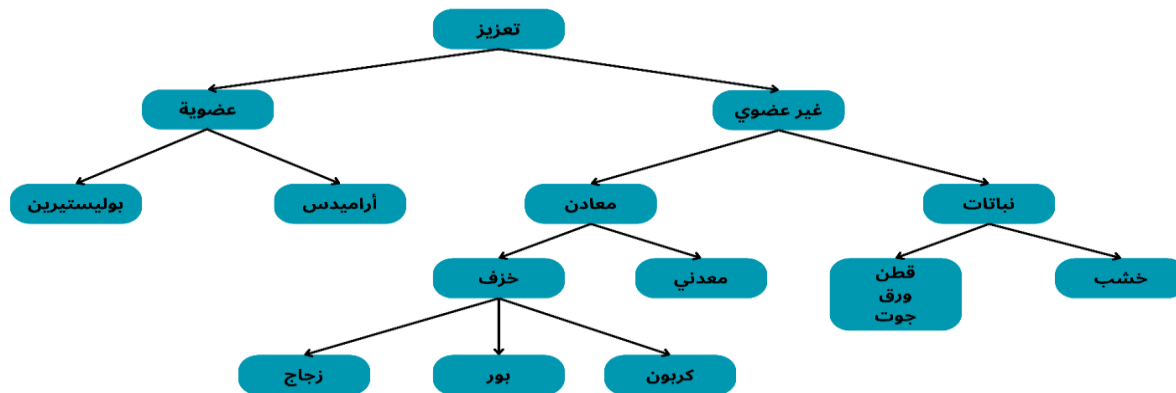


الشكل (13): الفئات المختلفة للمصفوفة [45].

المشبع (UP)، والإيبوكسي، والبولي إيثيلين (PE)، والبولي بروبيلين (PP) كمصفوفات وفقاً للحاجة. يمكن أن تكون المصفوفة حرارية أو حرارياً للبوليمرات [49].

2.2.2. تعزيز

التعزيزات تساهم في دعم معظم الجهود الميكانيكية التي تطبق على المركب، بفضل خصائصها الميكانيكية العالية مثل المقاومة والمرونة. يمكن تصنيف التعزيزات الأليافية إلى فئتين بناءً على هندسة الألياف: المركبات ذات الألياف المستمرة والمركبات ذات الألياف المتقطعة [49][48].



الشكل (14): المواد الرئيسية للتعزيز [50].

3.2. تصنيف المواد المركبة

يمكن تصنيف المركبات الاصطناعية حسب طبيعة مكوناتها أو شكلها.

1.3.2. التصنيف حسب شكل المكونات

تصنف المركبات إلى فئتين وفقاً لشكل المكونات (يرجى الرجوع إلى الشكل 16).

1.1.3.2. مركبات بالألياف

المادة المركبة المحشوة بالألياف هي مادة تم تعزيزها بالألياف. يمكن أن تكون الألياف المستخدمة فيها مستمرة أو متقطعة، مثل الألياف

المقطوعة أو الألياف القصيرة وغيرها. توجيه وترتيب هذه الألياف يمكن أن يؤثر على الخصائص الميكانيكية لهذا المركب [44][43].

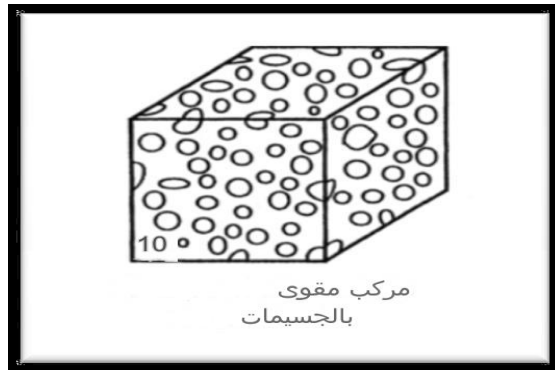
2.1.3.2. مركبات ذات جسيمات

المادة المركبة هي مادة تتم تعزيزها بواسطة الجسيمات عندما تكون هذه الجسيمات جزءاً منها. على عكس الألياف، فإن الجسيمات

ليست لها أبعاد أو أشكال محددة بشكل جيد. يتم استخدام الجسيمات عادة لتحسين بعض الخصائص للمواد أو المصفوفات، مثل الصلابة

ومقاومة درجة الحرارة ومقاومة التآكل وتقليل التقلص، وما إلى ذلك. في كثير من الحالات، يتم استخدام الجسيمات ببساطة كشوائب لتقليل

تكلفة المواد دون التأثير على خصائصها [43][44].



الشكل (15): التصنيفات للمواد المركبة حسب شكل المكونات [51].

2.3.2. التصنيف حسب طبيعة المصنوفة

بناءً على طبيعة المصنوفة، يمكن تصنيف المواد المركبة إلى ثلاثة أنواع: المركبات العضوية (البوليميرية)، والمركبات المعدنية، والمركبات الخزفية. وتتميز هذه المصنوفات بتواجد تعزيزات متنوعة تساهم في خصائصها.

1.2.3.2. المركبات ذات المصنوفة العضوية (البوليميرية) (الراتنج، الملء)

يمكن أن تكون التعزيزات في المركبات ذات المصنوفة العضوية على النحو التالي:

- الألياف المعدنية مثل الألياف الزجاجية والألياف الكربونية وغيرها.
- الألياف العضوية مثل الكيفلار والبولي أميدات وغيرها.
- الألياف المعدنية مثل البور والألمنيوم وغيرها [51][50].

2.2.3.2. مركبات ذات مصنوفة معدنية

تتم تعزيز المواد المعدنية مثل سبائك الألمنيوم والمغنيسيوم والتيتانيوم في هذه المركبات عن طريق:

- استخدام ألياف معدنية مثل الكربون وكربيد السيليكون.
- استخدام ألياف معدنية مثل البور وغيرها.
- استخدام ألياف معدنية-معدنية مثل ألياف البور المغلفة بكربيد السيليكون [52][45].

3.2.3.2. مركبات ذات مصنوفة سيراميكية

تتم تعزيز مواد السيراميك مثل الزجاج وكربيد السيليكون (SiC) في هذه المركبات عن طريق:

- الألياف المعدنية مثل البور.
- الجسيمات المعدنية مثل السيرمتس.
- الجسيمات المعدنية مثل الكرييدات والنتريدات وغيرها [45][52].

4.2. خصائص المواد المركبة

- زيادة الكتلة.
- تحمل جيد للإجهاد المتكرر (عمر طويل).
- عدم التآكل.
- عدم التشوه (حيث تتوافق حدود الانحناء لللدنة مع حد الكسر).
- تأثر بالشيخوخة تحت تأثير الرطوبة والحرارة.
- عدم الحساسية لبعض المواد الكيميائية الشائعة مثل المذيبات، الدهانات، الزيوت، البترول.
- تحمل للصدمات والصدمات متوسطة جدًا.
- تحتوي على تهييج مكثف جدًا [53].

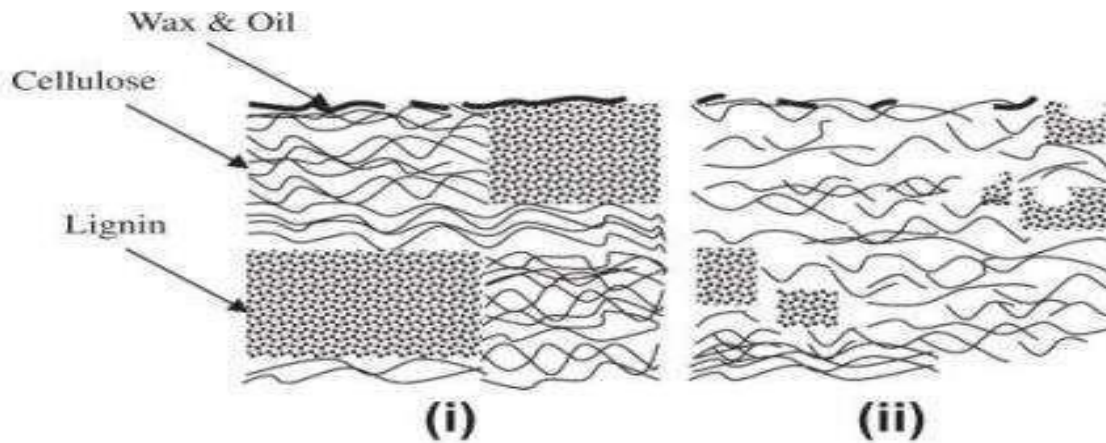
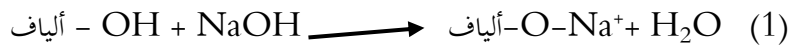
5.2. أهم المعالجات الكيميائية

لتحسين التصاق الألياف النباتية وانتشارها في المصفوفات البوليمرية، يجب معالجتها بشكل مناسب. تنقسم المعالجات المتاحة عمومًا إلى معالجات كيميائية وفيزيائية. سنركز هنا على المعالجات الكيميائية التي تساعد في تنظيف سطح الألياف، وتعديل تركيبها الكيميائي، وتقليل امتصاصها للرطوبة، وزيادة خشونتها، وتعديل خصائصها الميكانيكية، وتحسين استقرارها الحراري [37][54]. توجد العديد من الطرق الكيميائية المتنوعة، مثل معالجة السيلان ومعالجة فوسفات البوتاسيوم ومعالجة حمض الأنهيدريد الخليني والمعالجة القلوية [55].

1.5.2. معالجة القلوية

يُعد العلاج القلوي أحد أكثر أنواع المعالجة الكيميائية استخدامًا للألياف الطبيعية، وأحد التعديلات الأساسية هو كسر الروابط الهيدروجينية في الهيكل الشبكي لهذه الألياف. ويؤدي هذا الكسر إلى زيادة تجميعها بشكل كبير [57][56]. تتعرض الألياف الطبيعية لعلاج قلوي عن طريق إضافة هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)، ويساعد هذا العلاج في إزالة جزء من الليغنين والشمع والزيت الذي

يغطي السطح الخارجي لجدران الخلايا الألياف. ونتيجة لذلك، تتعرض السيلولوز لتحلل مكبر، مما يكشف عن بلورات أصغر حجما كما هو موضح في الشكل (17)[56][55]. أثناء عملية العلاج القلوي، يتم إزالة بعض المواد الرابطة مثل المركبات الهيميسيليلوزية والليغنين، مما يؤثر على التركيب الكيميائي للألياف النباتية، وتوجيهه الجزئيات نحو البلورات السليلوزية، ودرجة البوليمرة[57]. ويتم توضيح ذلك في المعادلة (1).



الشكل(16): هيكل نموذجي للألياف (i) غير المعالجة و (ii) المعالجة[50].

2.5.2. المعالجة بواسطة بيرمنغنات البوتاسيوم

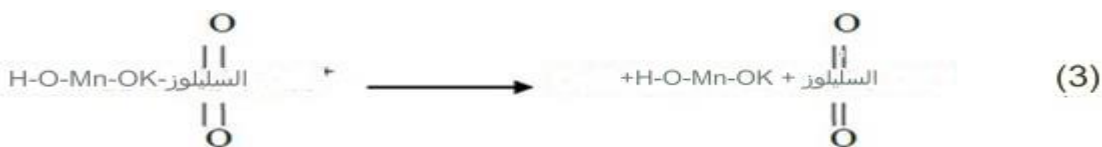
تعتمد معالجة البيرمنغنات (أيونات MnO_4^-) على إنشاء مواقع راديكالية داخل السيلولوز الموجودة في ألياف الطبيعية[58].

تهدف هذه الطريقة إلى زيادة نشاط السيلولوز، مما يسهل تفاعلها مع المصفوفات البوليمرية[59][58]. يمكن الاطلاع على المعادلتين 2 و3 لمزيد من التفاصيل.

السيلولوز- $\text{H}+\text{KMnO}_4$

نقل 2

السيلولوز- $\text{H-O-Mn-OK} +$ (2)



عمومًا، يتم إجراء هذا النوع من المعالجة باستخدام محلول فوسفات البوتاسيوم (KMnO_4) في الأستون بتركيزات مختلفة، بعد معالجة قلوية مسبقة، ومدة تنقيع تتراوح بين 1 و3 دقائق. يتم من خلال ذلك تقليل الطابع المائي للألياف الطبيعية، مما يؤدي إلى تقليل امتصاص الماء من قبل المركب المقوى بتلك الألياف. يزداد تقليل الطابع المائي للألياف مع زيادة تركيز فوسفات البوتاسيوم. ومع ذلك، عند تركيزات تزيد عن 1%، يلاحظ تحلل الألياف الطبيعية.

3.5.2. المعالجة بواسطة السيلان

السيلان هو مركب كيميائي يُمثل بالصيغة SiH_4 ، ويُستخدم كعامل تشابك لضمان استقرار المركب المقوى من خلال تعزيز التصاق بين الألياف والمصفوفة البوليمرية. بالإضافة إلى ذلك، يُمكنه تقليل عدد مجموعات الهيدروكسيل في السليولوز عند واجهة الألياف والمصفوفة [56].

عند وجود الرطوبة، يتحول السيلان إلى سيلانولات في السيلان، ومن ثم يتفاعل مع مجموعات الهيدروكسيل في الألياف، مما يؤدي إلى تكوين روابط تساهمية مستقرة مع الجدار الخلوي [55]. عند استخدام السيلان للسلاسل الهيدروكربونية (R)، يتم تقليل تورم الألياف عن طريق انتشارها في المصفوفة، وبالتالي تشكيل شبكة متشابكة [60][57]. يمكن الرجوع إلى المعادلة 4 للمزيد من التفاصيل.



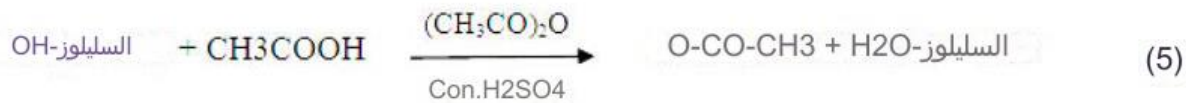
بالإضافة إلى ذلك، يعزز العلاج بالسيلان مقاومة الشد للمركب، ويقلل من تأثير الرطوبة على خصائصه، ويعزز التصاق الفعال بين الألياف والمصفوفة، مما يسهم في زيادة المقاومة الشاملة للمركب.

4.5.2. معالجة بالأستيلة

تستخدم معالجة الأستيلة لتعديل سطح الألياف النباتية بهدف تقليل خصائصها المائية. يتم ذلك عن طريق تفاعل مجموعات الهيدروكسيل (OH-) الموجودة في الألياف مع مجموعات الأستيل ($\text{-CH}_3\text{CO}$). يؤدي هذا التفاعل إلى تعديل خواص الألياف ومنحها سطحًا مقاومًا للماء. تأتي مجموعات الهيدروكسيل المشاركة في التفاعل من مكونات الألياف الطفيفة مثل الهيميسليلوز والليغنين، بالإضافة إلى السليلوز الغير متبلور [54].

تكون مجموعات الهيدروكسيل في الهيكل البلوري للسليلوز مكتملة تقريبًا بفعل الروابط الجزيئية القوية، مما يجعلها غير قابلة للوصول من قبل المواد الكيميائية المفاعلة. يُوضَّح التفاعل الكيميائي للأستيلة، سواء بوجود محفز حمضي أو بدونه، في الأسفل. نظرًا لصعوبة تفاعل حمض الخليك مع السليلوز، يُفضل استبداله بأهميدريد الخليك [61][54].

لتسريع التفاعل، يمكن غمر الألياف مسبقًا في حمض الخليك، ثم معالجتها بأهميدريد الخليك لمدة تتراوح بين 1 و 3 ساعات [54]. يمكن الاطلاع على المعادلات 5 و 6 للمزيد من المعلومات.



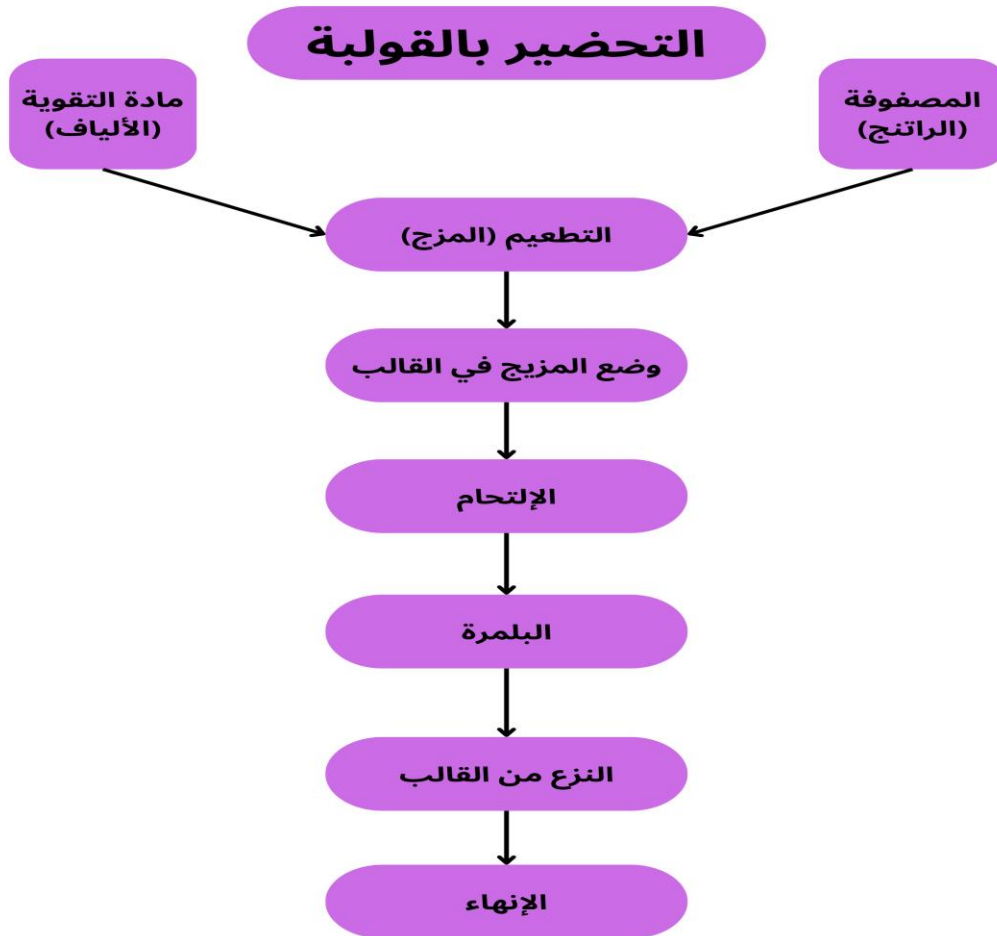
6.2. تحضير المواد المركبة

1.6.2. طريقة تحضير المواد المركبة

توجد العديد من الطرق لتحضير المواد المركبة، ولكن الطريقة الأكثر استخدامًا هي القولية.

2.6.2. مراحل القولية

يتم وضع المزيج (الألياف المصفوفة) في قالب، ثم يتم ضغطه لإخراج الهواء المتبقي لزيادة التحام والتصاق المادتين. لا يمكن للمزيج أن يشكل مادة مركبة إلا بعد مرحلة التجمد (التشابك) للمصفوفة التي تتحول من الطور السائل إلى الطور الصلب. يتم تسخين المصفوفات المتلدنة حراريًا داخل القالب، وعند درجة حرارة التطعيم، تتحول المصفوفة إلى عجينة وتخضع لتحول كيميائي داخلي غير عكوس يسمح بتصلب نهائي للمصفوفة. سلوك المصفوفات المتلدنة حراريًا يشبه المعادن، على عكس المصفوفات المتصلبة حراريًا [62].



الشكل (17): مراحل القولبة [62].

3.6.2. شروط تحضير المركبات

يجب أخذ الشروط التالية في الاعتبار عند تحضير المركبات:

- تحديد كمية التقوية المطلوبة.
- مراعاة طبيعة الصماغ والإضافات أو المواد المضافة.

- مراعاة هندسة القطعة التي ترغب في تحقيقها.
- اختيار الطريقة المناسبة للتحضير.
- توجيه المقويات بشكل أفضل لتحقيق النتائج المرجوة.

4.6.2. مجالات استعمال المركبات

تستخدم المركبات بشكل كبير في مجال الصناعة نظرًا للخصائص الجيدة التي تتمتع بها مثل الصلابة والخفة ومقاومة الاجهادات

الميكانيكية والحرارية. وتشمل المجالات التي تستخدم فيها المركبات مثل هذه الخصائص صناعة الطائرات وصناعة السيارات [63].

الفصل الثالث:

الطرائق والأجهزة المستعملة

3. الطرائق والأجهزة المستعملة

1.3. مصنع أنابيب المغرب MPI

1.1.3. التعريف بالمصنع أنابيب المغرب MPI

تأسس مصنع أنابيب المغرب في عام 2004، حيث يتمتع بخبرة واسعة في تصنيع أنظمة الأنابيب لمختلف الاستخدامات مثل أنظمة الصرف الصحي، الري، مياه الشرب والمياه الصناعية. وبفضل الخبرة التي تم تطويرها على مر السنوات، تمكن المصنع من السيطرة الكاملة على تكنولوجيا الإنتاج الحديثة لتقديم منتجات عالية الجودة تلي المعايير الدولية [64].

2.1.3. الموقع

يقع مصنع أنابيب المغرب MPI في وسط مدينة مسيلة في المنطقة الصناعية، مسيلة، الجزائر.



الشكل (18): موقع مصنع أنابيب المغرب MPI.

3.1.3. المواد الأولية لمصنع المغرب MPI

تتكون المواد الخام المستخدمة في صناعة الأنابيب من:

1.3.1.3. الراتنجات

يتم استخدام عدة أنواع من الراتنجات في المصنع.

1.1.3.1.3. أنواع الراتنجات

تستخدم شركة مصانع أنابيب المغرب عادة ثلاثة أنواع من الراتنج:

البوليستر الإيزوفتاليك، البوليستر الأورثو فتاليك، فينيل إستر.

2.3.1.3. ألياف الزجاج

تستخدم الألياف الزجاجية كتعزيزات.

1.2.3.1.3. أنواع الألياف الزجاجية

تتم صناعة تقويات الزجاج من نوعين مختلفين من تركيبات الزجاج:

- الزجاج "C" الذي يتميز بخصائص تحمل كيميائي ممتازة ضد التآكل الكيميائي.

- الزجاج "E" الذي يتمتع بمقاومة ميكانيكية عالية جداً.

3.3.1.3. رمل السيليكا

يتم إضافة رمل السيليكا (SiO_2) بشكل أساسي إلى الطبقة المركبة الهيكلية لزيادة السماكة وبالتالي تعزيز صلابة الأنابيب [64].

4.3.1.3. المواد الخام المساعدة

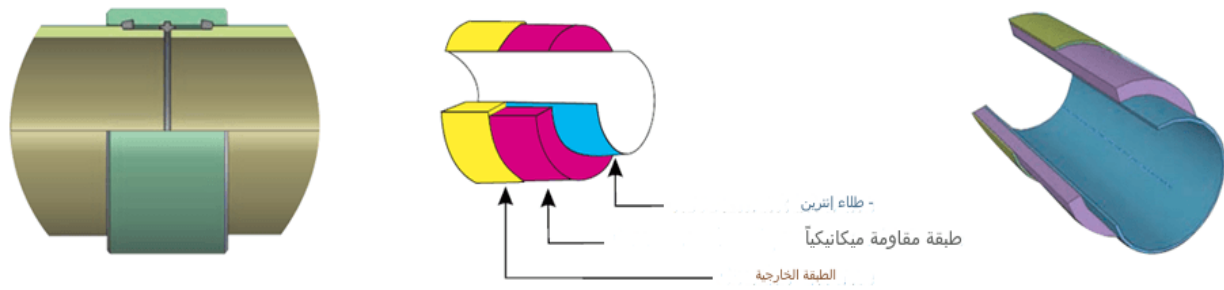
المواد الخام المساعدة هي الإضافات التي تستخدم في تعزيز معالجة الراتنجات [64].

4.1.3. تركيبات لمصنع المغرب MPI

1.4.1.3. تركيب جدار الأنبوب

يتكون جدار أنبوب PRV من ثلاث طبقات متماسكة تماماً، حيث تتمتع كل طبقة بخصائص فريدة تتعلق بوظيفتها. يمكن

استخدام تقويات وراتنجات متنوعة في كل طبقة.

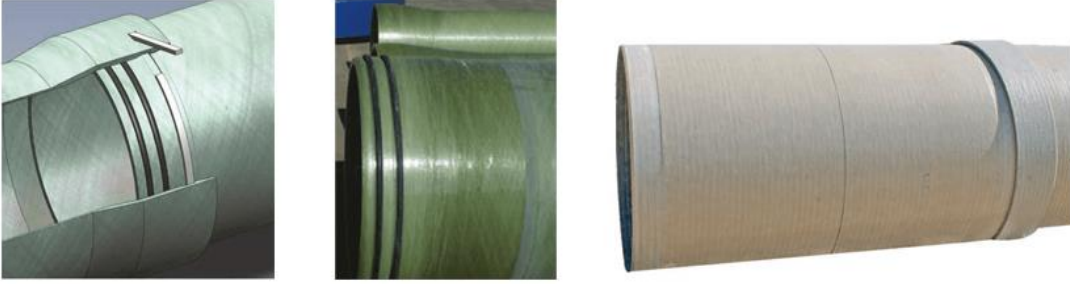


الشكل (19): التكوين الخاص بجدار الأنبوب [64].

2.4.1.3. الطلاء الداخلي

تتمثل دور هذه الطبقة في توفير أقصى درجات مقاومة للتآكل الكيميائي ومنع تسرب المواد عبر الأنبوب بفضل وجود:

- نسبة عالية من الراتنج.
- نوع محدد من الراتنج المستخدم.
- نوع خاص من تعزيز الزجاج المستخدم.

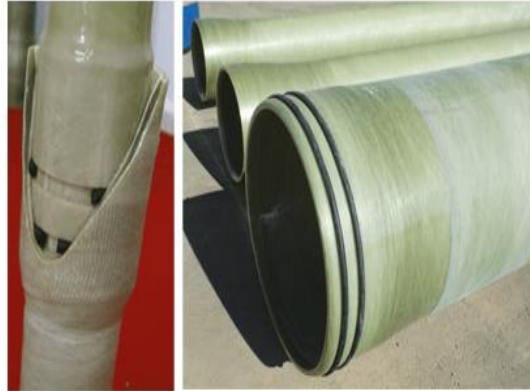


الشكل (20): الطلاء الداخلي للأنبوب [64].

3.4.1.3. الطلاء الخارجي

الطلاء الخارجي هو الطبقة الأخيرة التي تُغطي الأنبوب من الخارج، ويتراوح سمكها بين 0.2 إلى 0.3 ملم على الأقل وقد يكون

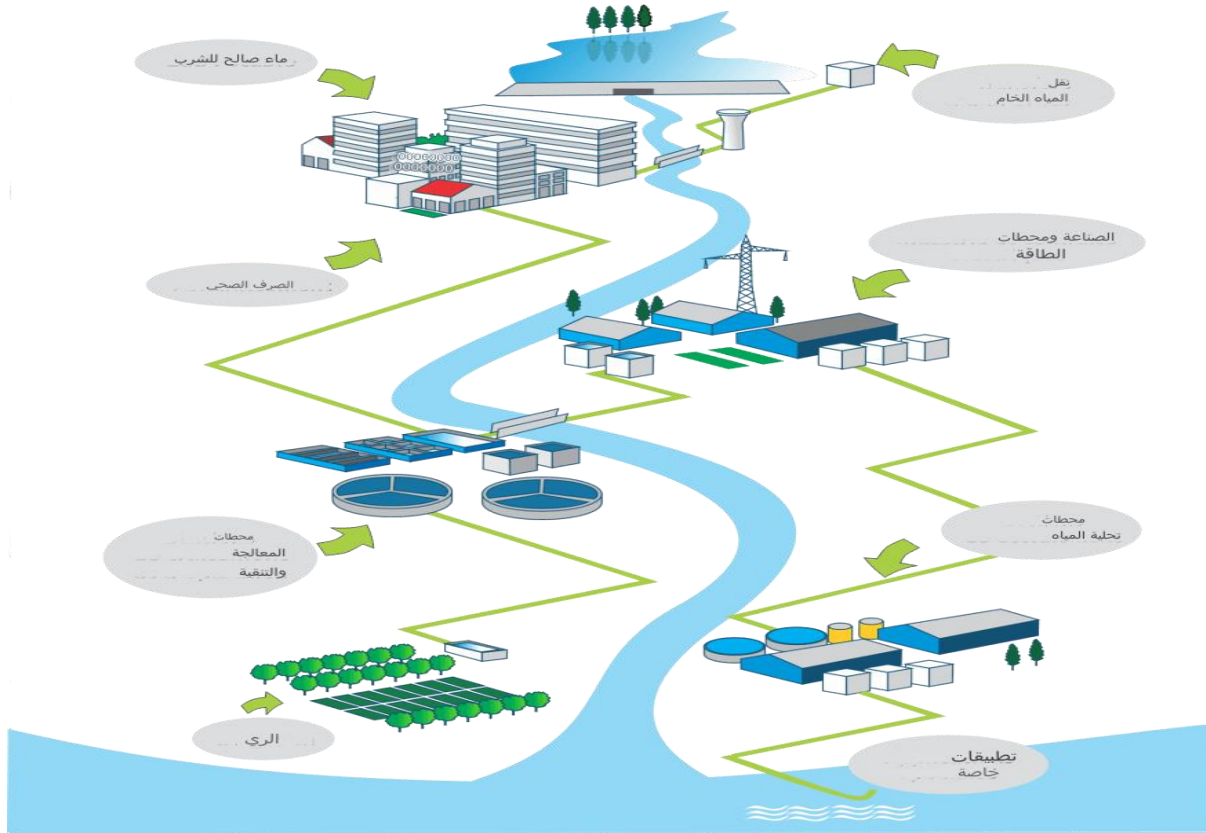
أكثر وفقًا لمواصفات التصميم. يمكن أيضًا أن يكون الطلاء الخارجي بلون أبيض أو بألوان متنوعة حسب الطلب.



الشكل (21): الطلاء الخارجي للأنبوب [64].

5.1.3. تطبيقات مصنع أنابيب المغرب MPI

تقوم شركة مغرب بيب إندستريز بتصنيع وتوريد أنظمة أنابيب PRV لتلبية احتياجات التطبيقات في مجالات متنوعة، بما في ذلك: توزيع المياه في المناطق الحضرية والصناعية يعد أمراً حيوياً، ويجب الاهتمام بشبكات الصرف الصحي في تلك المناطق. كما يتطلب نقل المياه الخام تخطيطاً جيداً وتنفيذاً دقيقاً. وينبغي أن تكون شبكات الري للزراعة فعالة وموثوقة، بالإضافة إلى الاهتمام بشبكات الصرف للتخلص من المياه المستعملة بشكل صحيح. ويجب تصميم نقاط جمع مياه التبريد في المصانع بعناية، واحترام البيئة عند تصريف مياه الصرف إلى البحر. كما ينبغي الاهتمام بأنابيب النقل البحري وتجاويف الأنهار لضمان سلامتها، وضرورة أن تكون خطوط الإنتاج للمصانع الصناعية متطورة وفعالة. ويجب أن تكون شبكات الإطفاء للحرائق جاهزة للتدخل السريع، والتعامل بحذر مع السوائل الفسادية وأنابيب طرد غازات الانبعاث. وينبغي أن يكون غلاف الآبار والأنابيب الرأسية لآبار الضخ متيناً وموثوقاً، وأنابيب القوة الفعالة يجب أن تكون مصممة بدقة لضمان الكفاءة. ويجب أن تتم عملية إزالة الكبريت من غازات الاحتراق بشكل صحيح، وأن تكون شبكة توزيع وتوزيع البنزين آمنة وموثوقة. وينبغي الاهتمام بأنابيب طرد غازات الاحتراق للحفاظ على البيئة [64].



الشكل (22): تطبيقات PRV المختلفة [64].

6.1.3. مزايا مصنع أنابيب المغرب MPI

تعتمد خصائص الـ PRV الكيميائية والميكانيكية على نوع وجودة المواد الخام المستخدمة، بالإضافة إلى التقنية المستخدمة في معالجة

الطبقة البلاستيكية. يتميز نظام الأنابيب PRV بالخصائص التالية:

تتميز الأنابيب بعدة مميزات، منها التآكل المنخفض ونسبة خفة الوزن العالية والوزن الخفيف جداً. كما تتمتع بخصائص كهربائية ممتازة

واستقرار في الأبعاد ومرونة في المادة. بالإضافة إلى ذلك، فهي تتمتع بمقاومة كيميائية عالية وتستخدم تقنية تصنيع متقدمة [64].

2.3. جهاز الطحن

بعد المعالجة الكيميائية ترك ألياف اللوفا لبضعة أيام من أجل تقليل من الرطوبة ثم تم تقطيعها إلى قطع صغيرة ووضعها في فرن على درجة حرارة 80°C لمدة ساعة أو ساعة ونصف وأخيرا تم طحنها باستخدام مطحنة كما هو موضح في الشكل (23) تم إنتاجها في ألمانيا.



الشكل (23): جهاز الطحن.

سرعة دوران الجهاز: 200 دورة/د، عدد دورات: 5، زمن دورة: 15 دقيقة.

1.2.3. مبدأ جهاز الطحن

يتيح الجهاز المطحنة طحن العينة باستخدام نبضات عالية السرعة، حيث يتم تغذية العينة بكفاءة في وعاء المطحنة. يصل عدد

الدورات في الدقيقة إلى 1111 دورة، مما يسمح بطحن عالي الجودة يصل إلى مستوى النانومتر أو في حالة العينة الرطبة.

3.3. تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX)

انحراف الأشعة السينية (DRX) هي تقنية للتحليل البلوري تعتمد على تشتت أشعة X على العينة. فهي تقدم معلومات تفصيلية

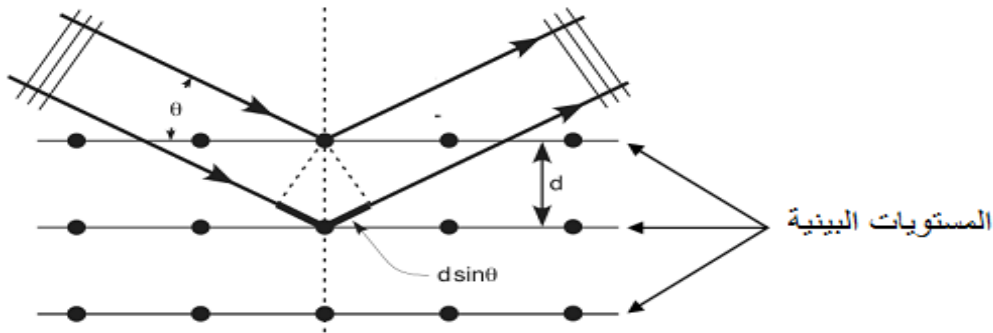
حول التركيب البلوري للمواد البلورية وتحدد حجم المجالات البلورية لتحديد الطبقات الموجودة. تطورت هذه التقنية مع مرور الوقت كثيرا،

فهناك عدة نماذج من الديفراكتوميترات موجودة اليوم وذلك وفقا للتطبيق والبيانات المطلوبة. لكن المبدأ العام للطريقة يتمثل في قصف العينة بالأشعة السينية والكشف عن شدة الإشعاع المتناثر وفقا للتوجه في الفضاء. تسجيل شدة الإشعاع يكون بدلالة زاوية الانحراف 2θ للإشعاع [51,62,65]. هذه الأشعة المتناثرة من طرف العينة تخضع لقانون براغ [66] كما هو مبين في العلاقة (1):

$$2d \sin\theta = k\lambda \quad (1)$$

حيث k هي رتبة الانعراج (عدد صحيح ويمثل رتبة التشتت). ويشترط أن يكون الطول الموجي $\lambda \leq 2d$ لحدوث انعكاسات براغ

ويفيد تطبيق معادلة براغ في إيجاد أبعاد خلية الوحدة للشبكة البلورية (الشكل (24)).



الشكل (24): مبدأ قانون براغ.

1.3.3. طريقة العمل

أجريت الاختبارات على عينات من ألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة، حيث قمنا بسحقها ميكانيكيا في البداية باستخدام مطحنة كهربائية، التجارب بالنسبة لهذه العينات أجريت بواسطة جهاز التشتت لأشعة X من نوع (X' Pert High score) (diffractometer PW3209) تحت الشروط التجريبية التالية: مصدر الإشعاع: حزمة أحادية اللون ($\lambda = 1,5418\text{\AA}$)، التشغيل بتوتر قدره 30KV وشدة التيار قدرها 40mA، سرعة المسح 0.05deg/s وضمن المجال الزاوي 2θ من 10 إلى 40°. نستعمل التحليل بأشعة X لدراسة تغير البنية الفيزيائية للألياف، وذلك من خلال حساب درجة التبلور (CrI). لقد قام الباحث سيقال ورفقاؤه [67]

بتطوير طريقة تجريبية من أجل تقدير درجة التبلور للسيليلوز الأم (السيليلوز I). كمية السيليلوز I في السيليلوز الإجمالي يمكن التعبير عليها بالعلاقة (1):

$$(1) \text{CrI \%} = ((I_{002} - I_{am}) / I_{002}) * 100$$

حيث: I_{002} : شدة النبض الرئيسي للسيليلوز I عند زاوية 2θ ، I_{am} : شدة النبض المقابلة للجزء اللابلوري من السيليلوز عند زاوية

.20



الشكل (25): جهاز الأشعة السينية (DRX).

4.3. جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR)

طيفية الأشعة تحت الحمراء بتقنية التحويل الفوري (FT-IR) هي تقنية توصيف تستخدم تفاعل الضوء تحت الحمراء مع اهتزازات الجزيئات، مما يسمح بالحصول على طيف من الأشعة تحت الحمراء. يتم حساب الطيف الأشعة تحت الحمراء باستخدام التحويل الفوري [68]. يعتمد الطيف على امتصاص الإشعاع تحت الحمراء من قبل المادة المحللة، ويقدم معلومات حول المادة من خلال الخصائص الطيفية مثل الفروقات والترددات والشدات. يمكن استخدامه لتوقع العمليات الكيميائية، وتحديد الأنواع، وتحديد زيادة عدد بعض الكيانات من زيادة مساحة الفرقة، وبالتالي يمكن استخدامه لإثبات التعقيد بين البوليمر والملح وأيضًا للتفاعلات بين المكونات المختلفة [69].

عندما تكون طول الموجة التي يحملها الشعاع الضوئي قريبة من طاقة اهتزاز الجزيئة، ستمتص الجزيئة الإشعاع وسيتم تسجيل انخفاض في الشدة المنعكسة أو المنقولة [70].

تم توصيف طبقات رقيقة باستخدام الطيفية FTIR، حيث تم تسجيل التحليل على جهاز قياس Agilent Cary 430 FTIR. تم إجراء المسح الإشعاعي في نطاق أعداد الموجة 400-4500 سم^{-1} بدقة 2 سم^{-1} ، وهو النطاق المتوافق مع نطاق طاقة اهتزاز الجزيئات. كلا البوليمرين متوفرة على شكل مساحيق وأفلام.



الشكل (26): جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR).

5.3. جهاز الثني ذو ثلاث نقاط للمركبات (FLEXION)

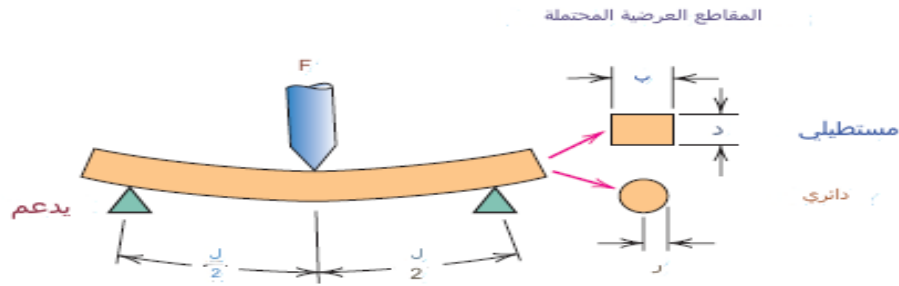
وهو من الاختبارات الميكانيكية التي تطبق على المواد القصفة صعبة الاختبار بواسطة الشد. يتم تحديد العرض و السماكة للعينات المختبرة بشكل دقيق، ثم تستخدم آلية اختبار الثني ذو ثلاثي النقاط الموضحة في الشكل رقم (27) وهي عبارة عن مسندين أسطوانيين مصقولين بشكل جيد مصنوعين من الفولاذ المقاوم للصدأ يتوضعان على منزلقين يسمحان بضبط المسافة بينهما بواسطة مسطرة مدرجة،

حيث توضع العينة على المسندين، ثم يتم تطبيق الحمل من الأعلى بواسطة أسطوانة تتمتع بالقطر و النوعية نفسيهما حتى انكسار العينة، و

$$(1) S=3P.L/2W.t^2 \quad :[71](1)$$

حيث S: مقاومة الشني وتقدر بال ميغا باسكال (Mpa)، P: القوة اللازمة لكسر العينة وتقدر بالنيوتن (N)، L: البعد بين

المسندين ويقدر بال (mm)، W: عرض العينة ويقدر بال (mm)، t: سماكة العينة وتقدر بال (mm).



الشكل (27): مبدأ اختبار الشني ذو ثلاثي نقاط للمركبات [72].

و يستنتج معامل يونغ (E) (Young modulus) من معرفة ميل الجزء الخطي ($m=P/\delta$) من منحنى القوة-الانحناء في اختبار

$$(2) E=P.L^3/\delta 4W.t^3 \quad :[71](2)$$

حيث يمثل δ انحناء عينة الشني و P الحمل.

1.5.3. طريقة العمل

قمنا بإجراء اختبار الشني ذو ثلاث نقاط للمركبات على أربع أنواع من المادة المركبة:

الأولى: استعملت ألياف اللوفا مسطحة معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%).

الثانية: استعملت ألياف بقايا اللوفا معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%).

الثالثة: استعملت ألياف اللوفا مسطحة معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%) مع

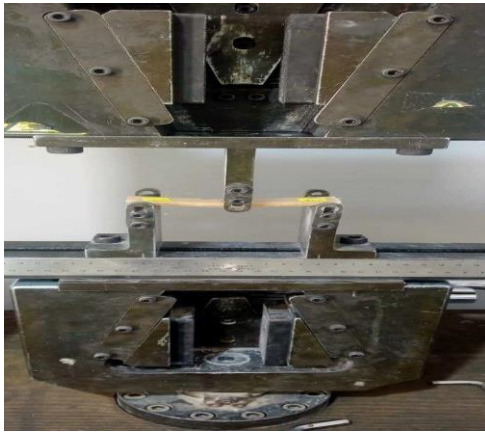
نفايات المصنع.

الرابعة: استعملت ألياف بقايا اللوفا معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%) مع نفايات

المصنع.

حيث قمنا بوضع كل عينة على نقطتي ارتكاز وعلى مسافة ثابتة وكانت سرعة القوة المطبقة مختلفة على كل عينة.

أبعاد كل عينة أخذت وفقاً للمعيار ASTM D790 حيث أبعادها $110 \times 20 \times 5 \text{ mm}^3$.



الشكل (28): جهاز الثني ذو ثلاث نقاط للمركبات (FLEXION)

6.3. جهاز الشد (TRACTION)

تُختبر عينات الاختبار على شكل أنقال من النوع HI (انظر الشكل (29)) المصنّعة باستخدام آلة شد وفقاً للمعيار NF ISO

.037[73]

الأداة المستخدمة مجهزة بجهاز قياس القوة ومجموعتين من الفكين لتثبيت عينة الاختبار. أحدهما ثابت والآخر يتحرك بسرعة ثابتة. يتم تشغيل هذه الآلة بمساعدة حاسوب صغير.

يتم تعريض العينات لقوة شد F بسرعة ثابتة (سرعة الحركة العرضية)، في اتجاه الطول، حتى يحدث الانكسار (وهو الحالة الملاحظة عادة).

يتم رسم العلاقة $F = f(AL)$ ، ويتيح لنا الاختبار قياس الإجهاد عند الانكسار (σ_r) ، الاستطالة عند الانكسار (ϵ_r) ، معامل يونغ (E) ، والطاقة الممتصة عند الانكسار (e_r) [73]:

$$\sigma_r = F / S \quad (1) \quad \text{الإجهاد عند الانكسار } (\sigma_r):$$

حيث: σ_r : الإجهاد عند الانكسار (باسكال)، F : القوة المطبقة (نيوتن)، S : مساحة المقطع العرضي (السمك \times العرض) (ملم²).

$$\epsilon_r = [(L - L_0) / L_0] \cdot 100 \quad (2) \quad \text{الاستطالة عند الانكسار } (\epsilon_r):$$

حيث: ϵ_r : الاستطالة عند الانكسار (%)، L : الطول النهائي للعينة (الجزء الخطي الضيق)، L_0 : الطول الابتدائي للعينة.

$$E = (\sigma / \epsilon) \cdot 100 \quad (3) \quad \text{معامل يونغ } (E):$$

1.6.3. طريقة العمل

قمنا بإجراء اختبار الشد على أربع أنواع من المادة المركبة:

الأولى: استعملت ألياف اللوفا مسطحة معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%).

الثانية: استعملت ألياف بقايا اللوفا معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%).

الثالثة: استعملت ألياف اللوفا مسطحة معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%) مع

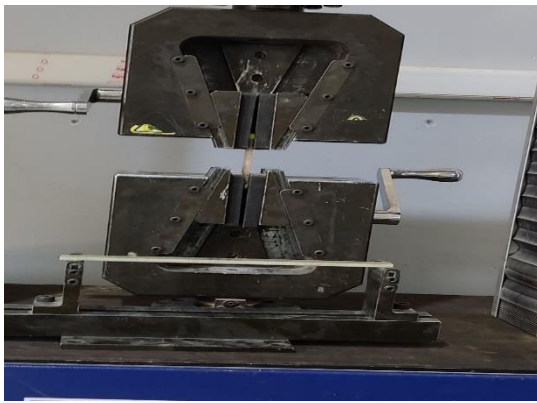
نفايات المصنع.

الرابعة: استعملت ألياف بقايا اللوفا معالجة بمحلول الصودا NaOH بتركيز (0%، 1%، 2%، 3%، 6%، 9%) مع نفايات

المصنع.

حيث قمنا بوضع كل عينة بين فكي وعلى مسافة ثابتة وكانت سرعة القوة المطبقة مختلفة على كل عينة.

أبعاد كل عينة أخذت وفقا المعيار ASTM D790 حيث أبعادها $110*20*5\text{mm}^3$.



الشكل (29): جهاز الشد (TRACTION)

7.3. تحضير المحاليل

1.7.3. محاليل الصودا

حضرنا 5 محاليل من الصودا NaOH مختلفة التركيب (1%، 2%، 3%، 6%، 9%).

يتم تحضير محلول الصودا NaOH ذات تركيز 1% بواسطة إضافة 10 غرام في 1 لتر من الماء المقطر. وباقي محاليل يتم تحضيرها

بنفس الطريقة.

2.7.3. محلول حمض الأسيتيك

يتم تحضير محلول حمض الأسيتيك بإضافة 1 مليلتر في 1 لتر من الماء المقطر.

8.3. المعالجة الكيميائية للألياف

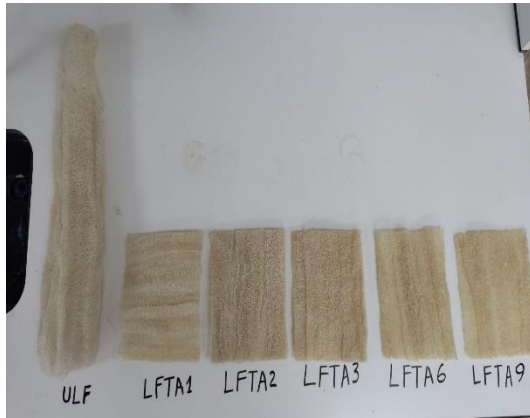
إحضار نبات اللوفا بدون مضافات الغسيل من منطقة مسيلة.

وضع نبات اللوفا في محلول الصودا NaOH حسب التركيز (1%، 2%، 3%، 6%، 9%) مدة 3 ساعات وبعد انتهاء المدة

تتخلص من الفائض من الصودا الممتصة بواسطة غسل بماء المقطر لعدة مرات، ثم نغمسها في حمض أسيتيك مدة دقيقتين ثم نغسلها بالماء المقطر حتى التعديل.

ثم نجري اختبار لتأكد من تخلص الصودا إضافة كاشف فينول فيتالين، بعدها ترك العينات لتجف في الهواء عدة أيام. في الأخير قمنا

بوضع العينات داخل الفرن بدرجة حرارة 80°C مدة ساعة أو نصف لتجف أكثر.



الشكل (30): عينة من نبات اللوفا مغمسة في محلول الصودا.

الشكل (31): عينات نبات اللوفا بعد تخفيف.

9.3. تحضير المواد المركبة

1.9.3. تحضير القالب

القالب المستعمل في تحضير الألياف المدروسة متوازي المستطيلات مصنوع من الخشب ذو قياسات:

الطول: 110mm، العرض: 20mm، السمك (ارتفاع): 5mm.

ثم نقوم بدهن القالب بمادة دهنية.



الشكل (32): خطوات تحضير القالب.

2.9.3. تحضير الصماغ

لتحضير الصماغ مزجنا 100g من الراتنج (البوليستر الأورثوفاثاليك) مع 1.3g من المحفز لتسريع مدة عملية التصلب.

بعدها تم توزيع الخليط على عينات التي وضعناها في قوالب بها الألياف مختلفة أنواع، بعدها نتأكد من تخلص فقاعات الهواء بواسطة

الضغط.



الشكل (33): العينات المنجزة.



الشكل (34): نوع من الراتنج (البوليستر الأورثوفتاليك).

10.3. المواد المستعملة

1.10.3. هيدروكسيد الصوديوم

هو مركب كيميائي قوي له الصيغة الكيميائية (NaOH). يعرف أيضا بالصودا الكاوية، ويستخدم في العديد من الصناعات درجة

ذوبانه في الماء عالية جدا.

الكتلة المولية: $39.9971 \text{ g/mol}^{-1}$.

المظهر: بلورات بيضاء، شمعية، غير شفافة.

الرائحة: عديم الرائحة.

الكثافة: 2.13 g/cm^3 .

2.10.3. حمض الأسيتيك

حمض الخل أو حمض الخليك أو حمض الأسيتيك، المعروف أيضا باسم حمض الإيثانويك وصيغته الكيميائية CH_3COOH ، وهو مركب كيميائي عضوي، وحمض كربوكسيلي عضوي.

الكتلة المولية: 60.05 g/mol^{-1}

المظهر: سائل عديم اللون.

الرائحة: نفاذة، شبيهة بالخل.

الكثافة: 1.049 g/cm^{-3}

3.10.3. فينول فيتالين

الفينول فيتالين الذي يرمز له بالصيغة الكيميائية $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ هو دليل يكون عديم اللون في الوسط الحمضي ووردي في الوسط المتعادل وأحمر في الوسط القاعدي.

الكتلة المولية: 318.31 g/mol

الرائحة: عديم الرائحة.

الكثافة: 1.296 g/cm^{-3}

الفصل الرابع:

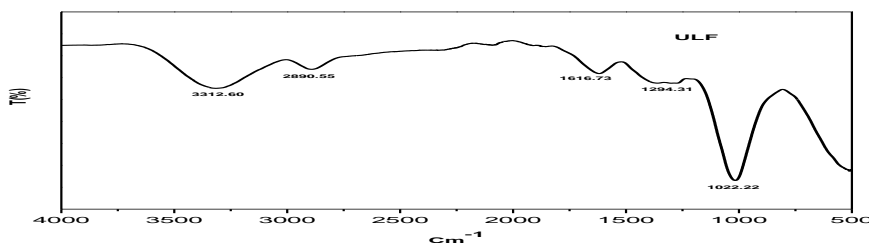
النتائج ومناقشتها

4. النتائج ومناقشتها

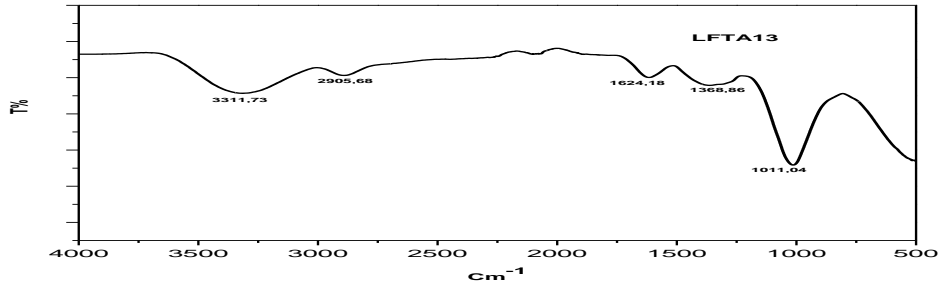
1.4. اختبار الأشعة تحت الحمراء (FTIR)

تمثل المنحنيات الآتية اختبار جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR) حيث نلاحظ أن هناك مجال واسع حول 3311.73 cm^{-1} للعينه LFTA13 لانخفاض كبير لقمة الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيد -OH- وهذا راجع لذويان مكونات الألياف (اللجينين، الهيميسيليلوز). وكذلك باقي العينات مقارنة مع الألياف الغير معالجة.

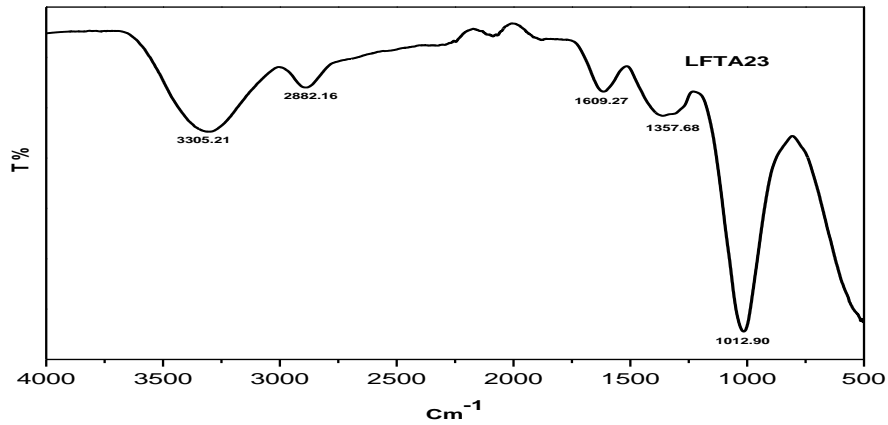
وأيضاً نلاحظ وجود مجال آخر في قمة 2890.55 cm^{-1} تمثل مجموعة -CH- السيليلوز. ومجال 1294.31 cm^{-1} يشير لمجموعة C-O وهذا دلالة على وجود رابطة هيدروجينية بين الجزئيات، كما أن مجال 1022.22 cm^{-1} يشير لمجموعة C-O و H دلالة لوجود السيليلوز.



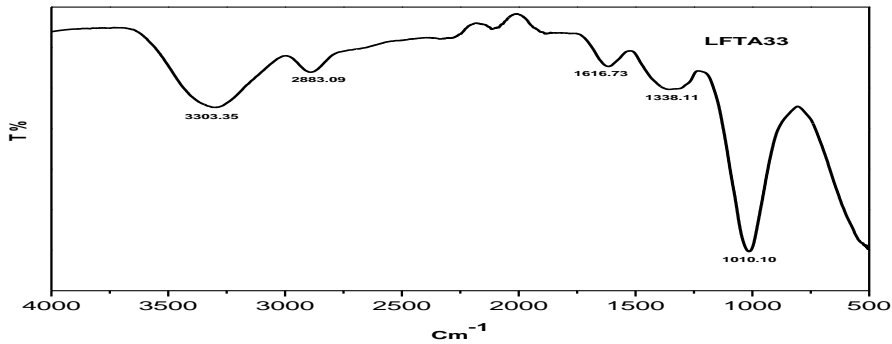
الشكل (35): منحنى اختبار جهاز الأشعة تحت الحمراء للعينه (ULF).



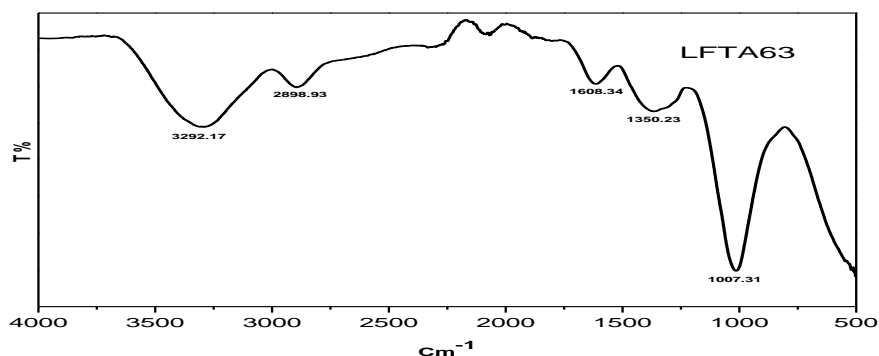
الشكل (36): منحنى اختبار جهاز الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA13).



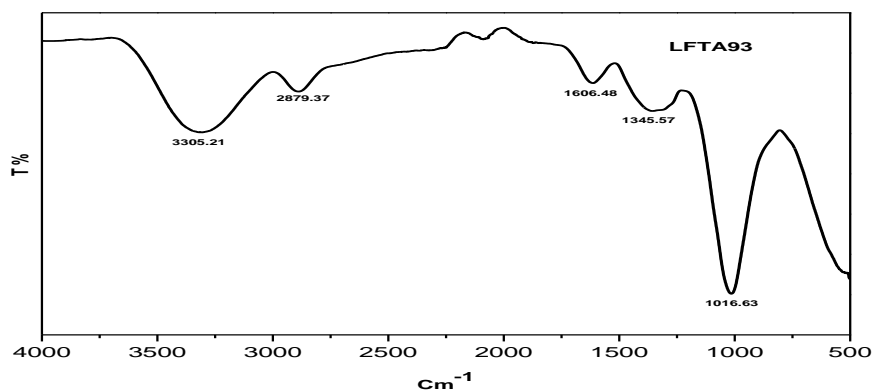
الشكل (37): منحنى اختبار جهاز الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA23).



الشكل (38): منحنى اختبار الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA33).



الشكل (39): منحنى اختبار الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA63).



الشكل (40): منحنى اختبار الأشعة تحت الحمراء للعينة (LFTA93).

2.4. اختبار الشني ذو ثلاث نقاط للمركبات (FLEXION)

1_راتنج البوليستر الأورثوفتاليك مقوى بألياف النباتية (اللوف) الجدول يوضح ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء.

العينات	رمز المركب	قوة الانحناء (MPa)
عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 1%	LFTA13(L)	20.9
عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 2%	LFTA23(L)	13.7
عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 3%	LFTA33(L)	35.8
عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 6%	LFTA63(L)	35.6

41.1	LFTA93(L)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 9%
------	-----------	--

الجدول (2): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مقوى بألياف النباتية(اللوفا).

2_راتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مقوى بنفايات الألياف النباتية (اللوفا) الجدول يوضح ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء.

قوة الانحناء (MPa)	رمز المركب	العينات
33.2	ULF(DL)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوفا) غير معالجة.
40.9	LFTA13(DL)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوفا) بنسبة 1%
23.3	LFTA23(DL)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوفا) بنسبة 2%
27.5	LFTA33(DL)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوفا) بنسبة 3%
31.1	LFTA63(DL)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوفا) بنسبة 6%
28.5	LFTA93(DL)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوفا) بنسبة 9%

الجدول(3): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات (اللوفا).

3_راتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مقوى بألياف النباتية (اللوفا) ونفايات المصنع الجدول يوضح ترميز لكل العينات مع ذكر قوة

الانحناء.

قوة الانحناء (MPa)	رمز المركب	العينات
38.7	ULF(DU)	عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع الألياف نبات اللوفا غير معالجة ونفايات المصنع.
55.3	LFTA13(DU)	عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 1% ونفايات المصنع
59.1	LFTA23(DU)	عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 2% ونفايات المصنع
35.7	LFTA33(DU)	عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 3% ونفايات المصنع
41.1	LFTA63(DU)	عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 6% ونفايات المصنع
59.0	LFTA93(DU)	عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 9% ونفايات المصنع

الجدول (4): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع الألياف نبات اللوفا ونفايات المصنع.

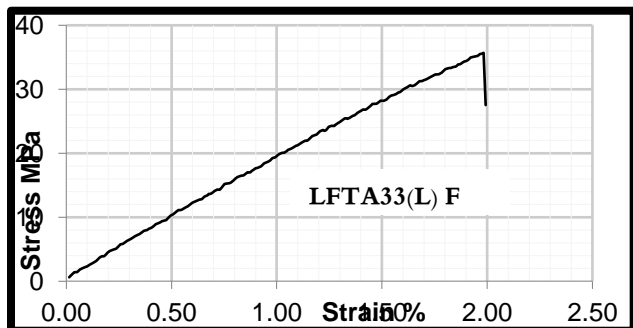
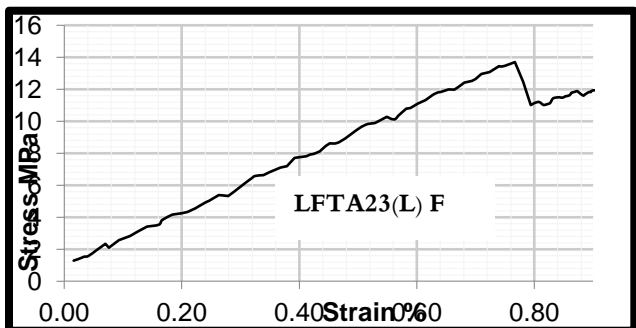
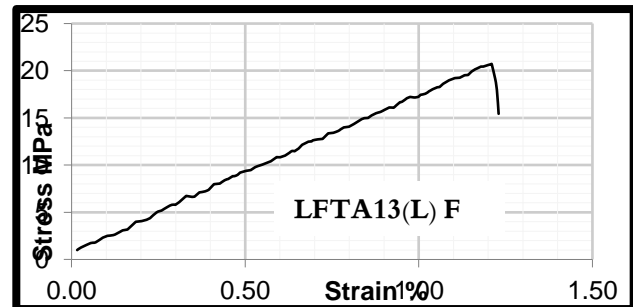
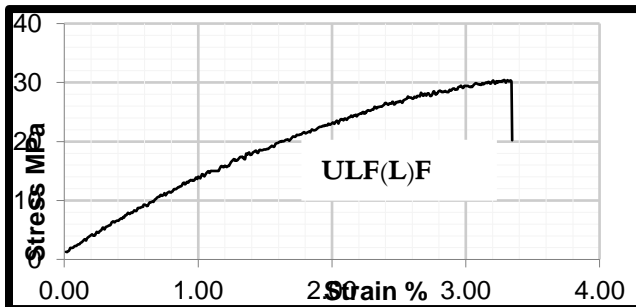
4_راتنج البوليستر الأورثو فتاليك مقوى بنفايات الألياف النباتية (اللوفا) ونفايات المصنع الجدول يوضح ترميز لكل العينات مع ذكر

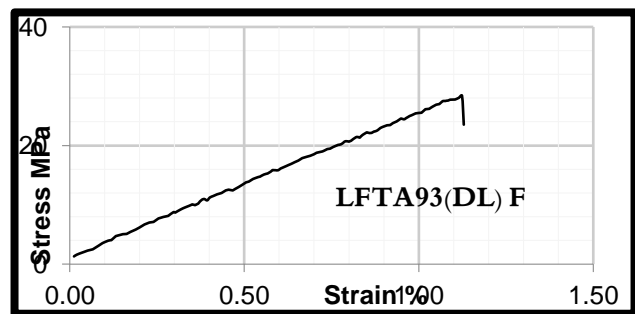
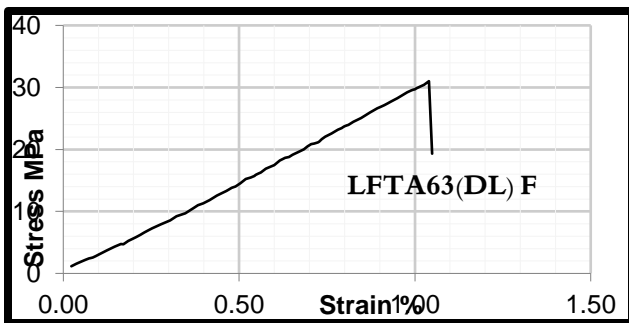
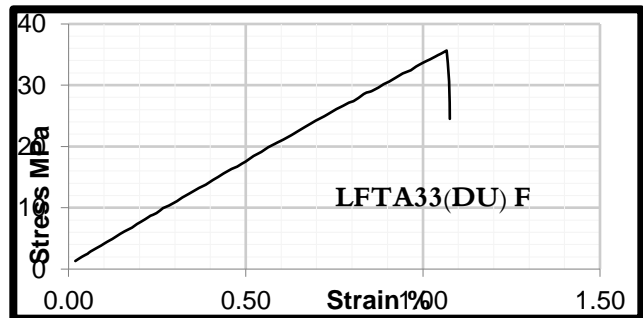
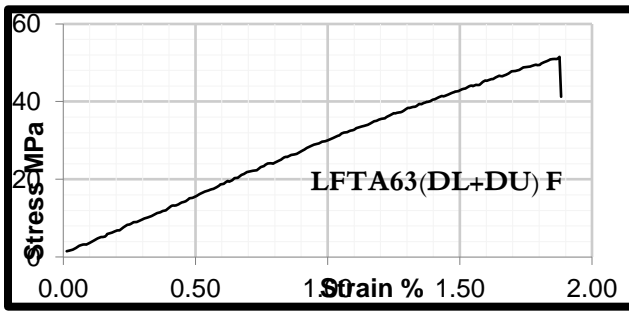
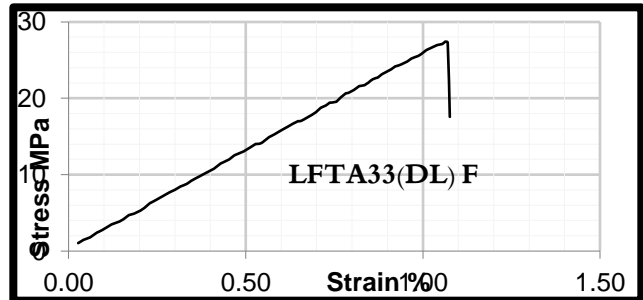
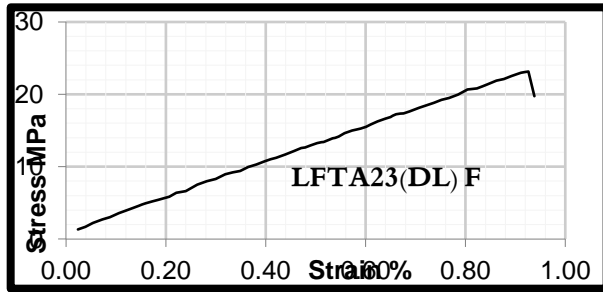
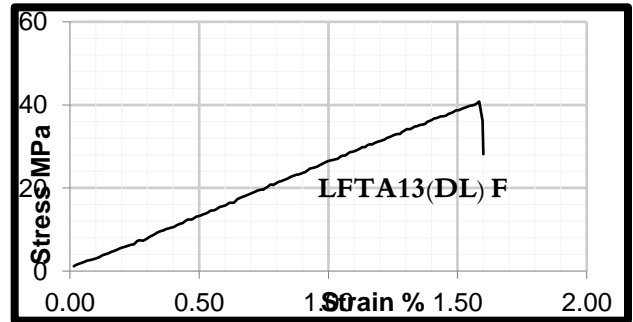
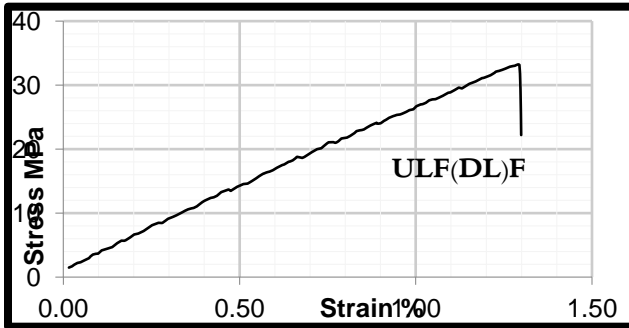
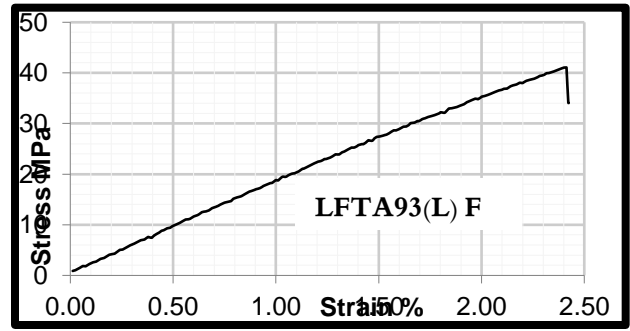
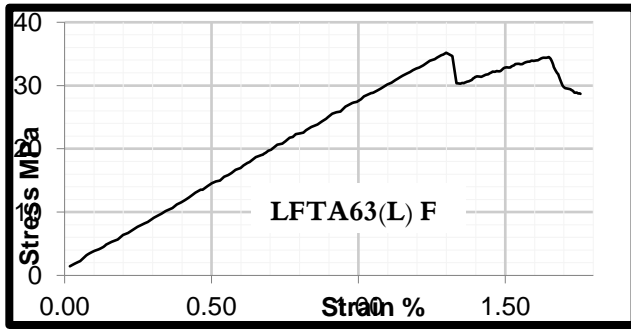
قوة الانحناء.

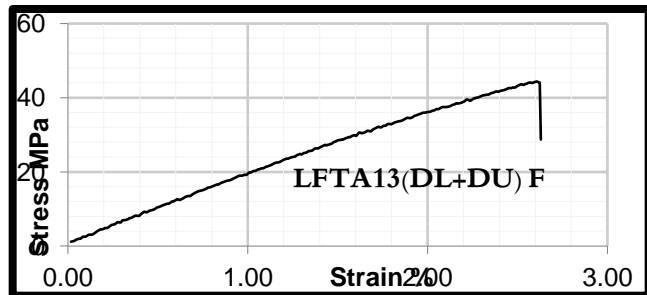
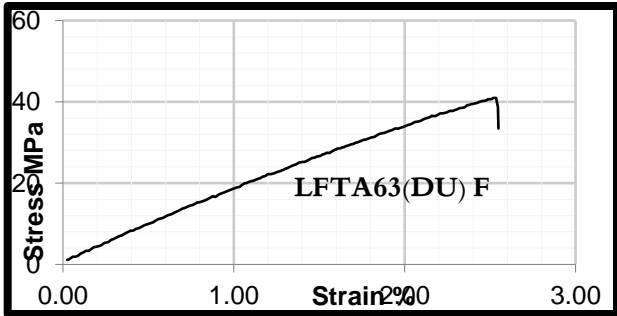
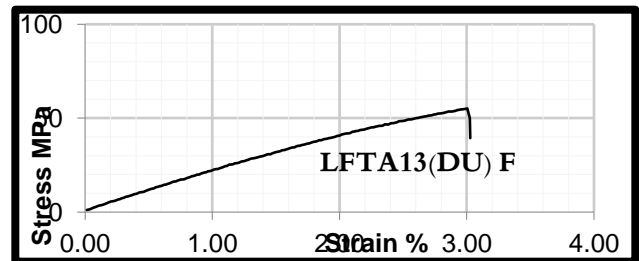
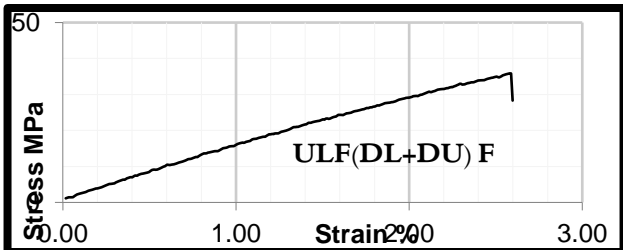
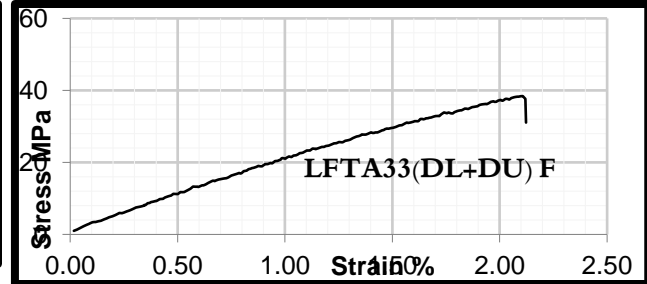
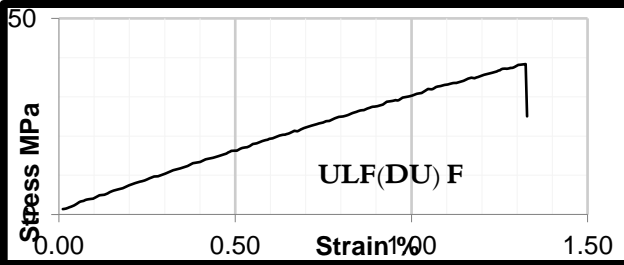
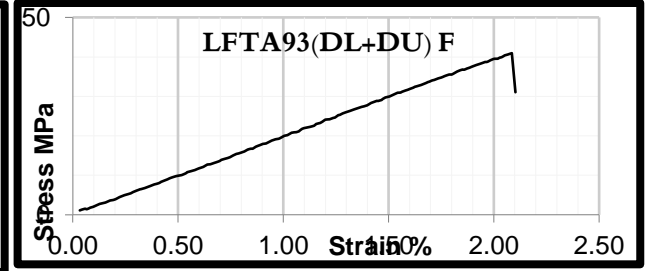
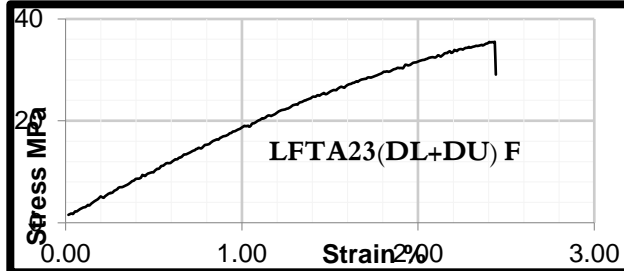
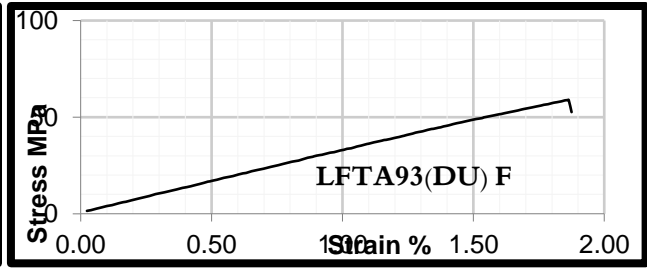
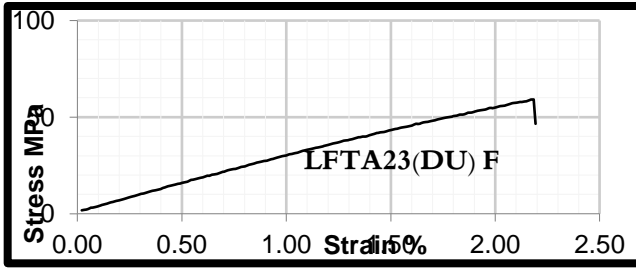
قوة الانحناء (MPa)	رمز المركب	العينات
35.7	ULF(DL+DU)	عينة لاختبار الشني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا غير معالجة ونفايات المصنع.

44.8	LFTA13(DL+DU)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا بنسبة 1% ونفايات المصنع.
35.4	LFTA23(DL+DU)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا بنسبة 2% ونفايات المصنع.
38.7	LFTA33(DL+DU)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا بنسبة 3% ونفايات المصنع.
51.6	LFTA63(DL+DU)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا بنسبة 6% ونفايات المصنع.
41.2	LFTA93(DL+DU)	عينة لاختبار الثني لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا بنسبة 9% ونفايات المصنع.

الجدول (5): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الانحناء لراتنج البوليستر الأورثو فتاليك مع نفايات نبات اللوفا ونفايات المصنع.







الشكل (41): منحنيات اختبار الشد ذو ثلاث نقاط للمركبات لمختلف أنواع المواد المركبة.

3.4. اختبار الشد (TRACTION)

1_راتنج البوليستر الأورثوفتاليك مقوى بألياف النباتية (اللوف) الجدول يوضح ترميز العينات مع ذكر قوة الشد.

قوة الشد (MPa)	رمز المركب	العينات
21	ULF(L)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف غير معالجة.
4	LFTA13(L)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 1%
9	LFTA23(L)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 2%
10	LFTA33(L)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 3%
5	LFTA63(L)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 6%
11	LFTA93(L)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف بنسبة 9%

الجدول (6): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع الألياف نبات اللوف.

2_راتنج البوليستر الأورثوفتاليك مقوى بنفايات الألياف النباتية (اللوف) الجدول يوضح ترميز العينات مع ذكر قوة الشد.

قوة الشد (MPa)	رمز المركب	العينات
12	ULF(DL)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوف غير معالجة.
13	LFTA13(DL)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوف بنسبة 1%.
22	LFTA23(DL)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوف بنسبة 2%.
6	LFTA33(DL)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات الألياف نبات اللوف بنسبة 3%.

13	LFTA63(DL)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا بنسبة 6%.
2	LFTA93(DL)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا بنسبة 9%.

الجدول (7): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات الألياف نبات اللوفا.

3_راتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مقوى بألياف النباتية (اللوفا) مع نفايات المصنع الجدول يوضح ترميز العينات مع ذكر قوة الشد.

قوة الشد (MPa)	رمز المركب	العينات
9	ULF(DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا غير معالجة مع نفايات المصنع.
10	LFTA13(DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 1% مع نفايات المصنع.
5	LFTA23(DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 2% مع نفايات المصنع.
17	LFTA33(DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 3% مع نفايات المصنع.
25	LFTA63(DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 6% مع نفايات المصنع.
22	LFTA93(DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا بنسبة 9% مع نفايات المصنع.

الجدول (8): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع الألياف نبات اللوفا ونفايات المصنع.

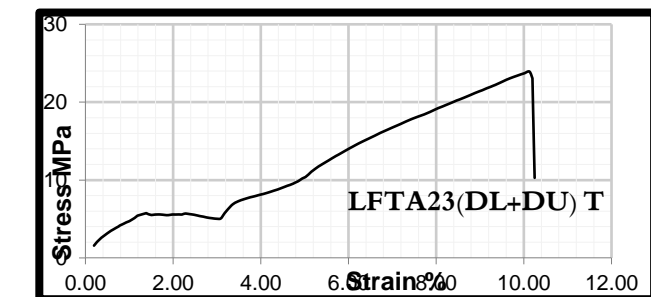
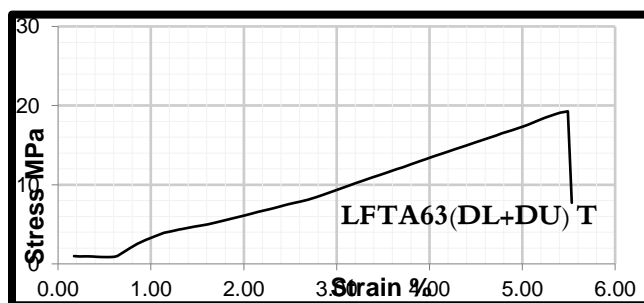
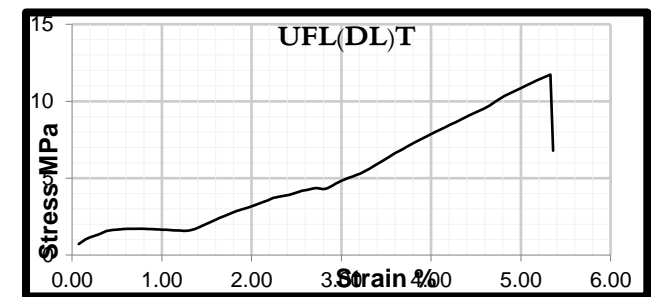
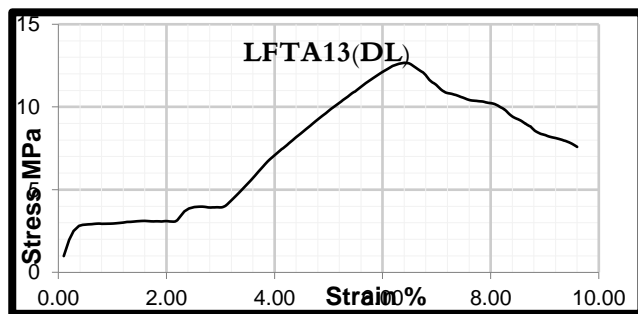
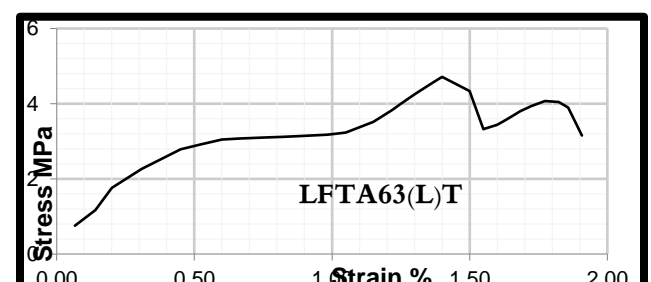
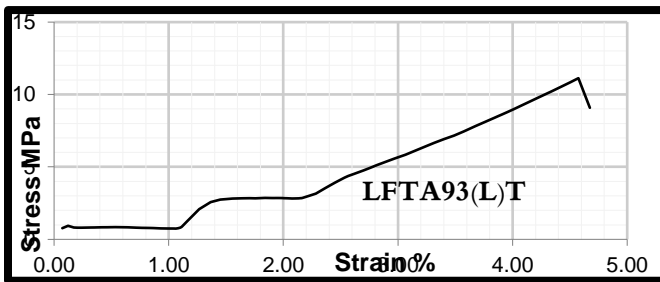
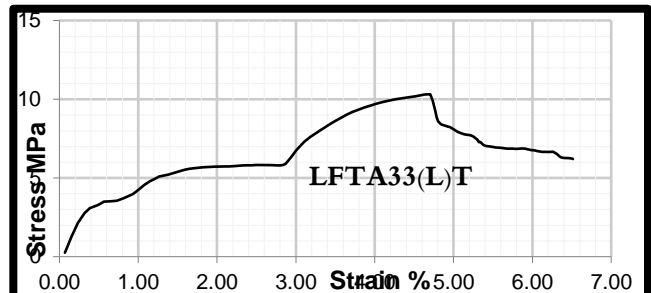
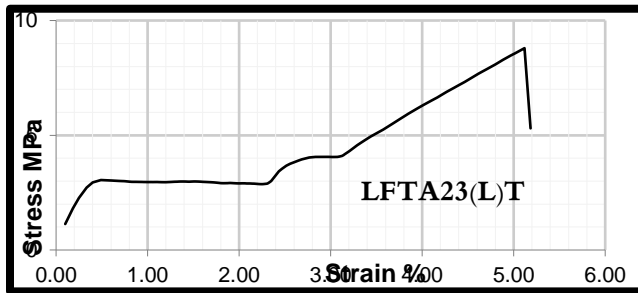
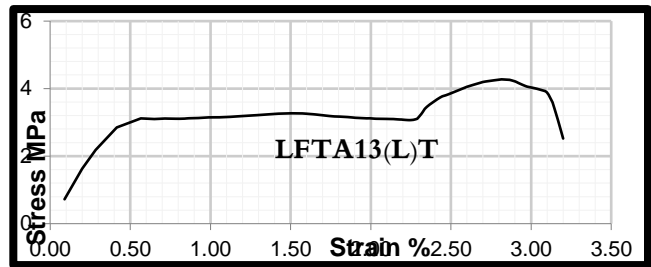
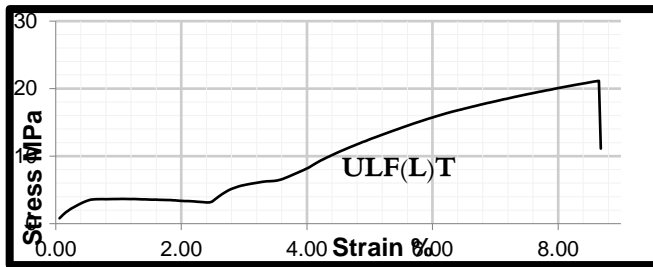
4_راتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مقوى بنفايات الألياف النباتية (اللوفا) مع نفايات المصنع الجدول يوضح ترميز العينات مع ذكر

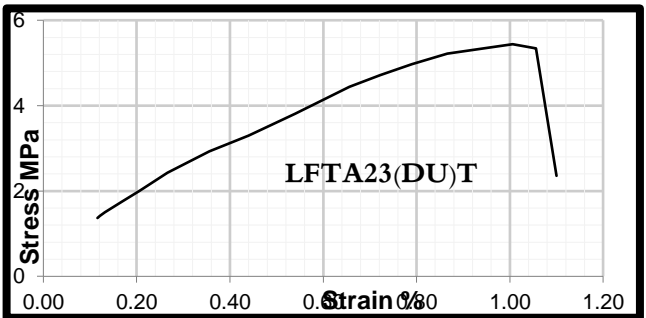
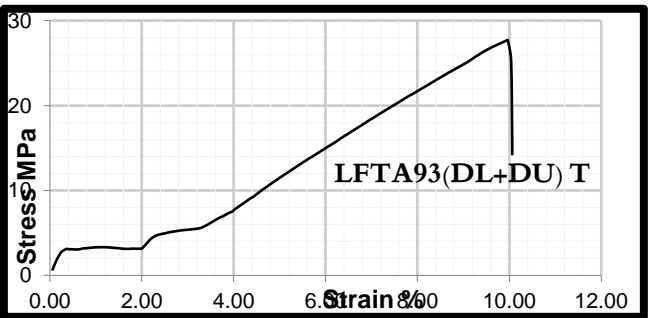
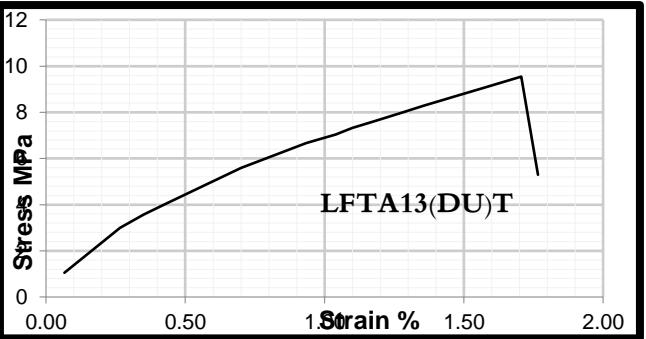
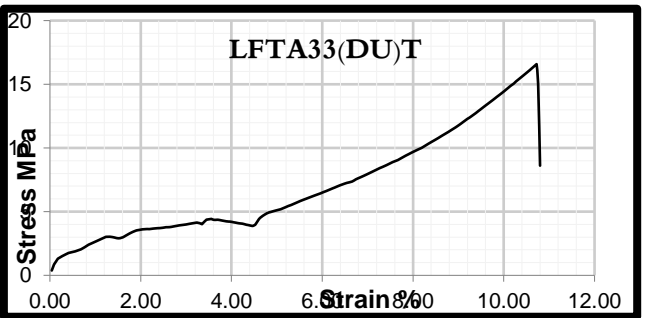
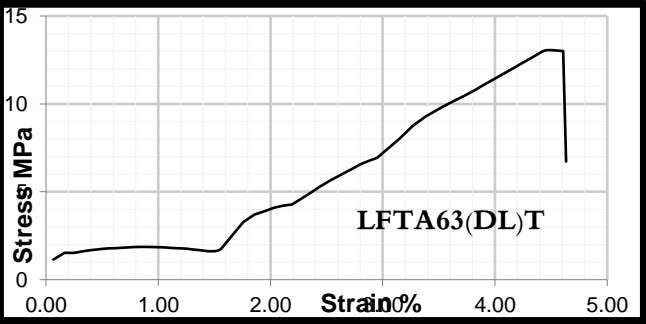
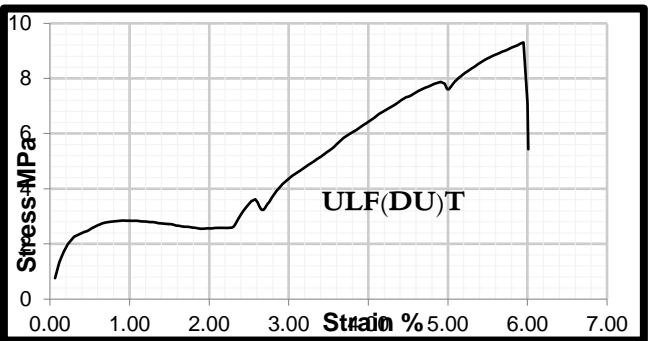
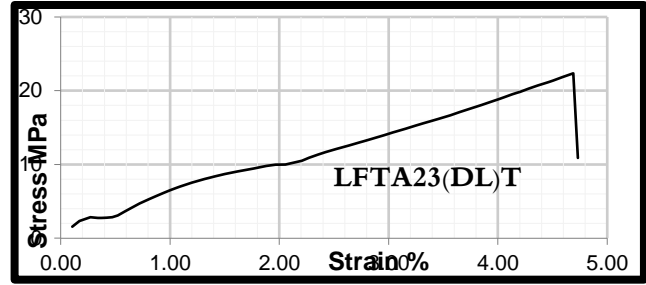
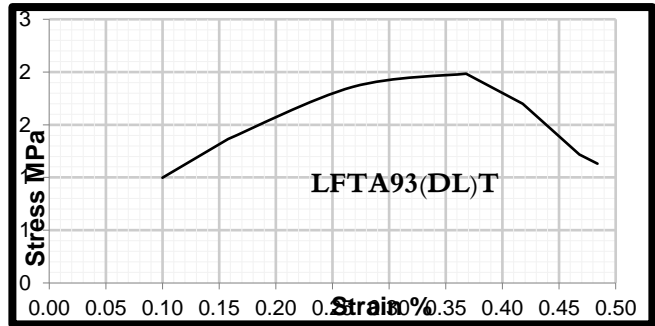
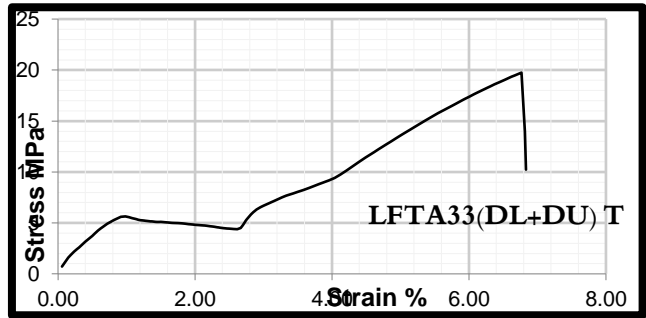
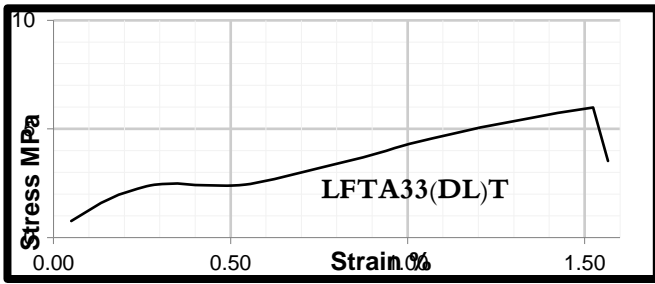
قوة الشد.

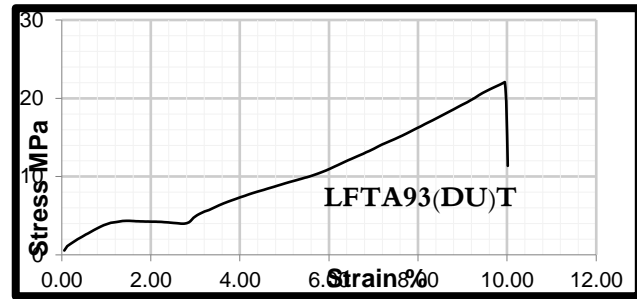
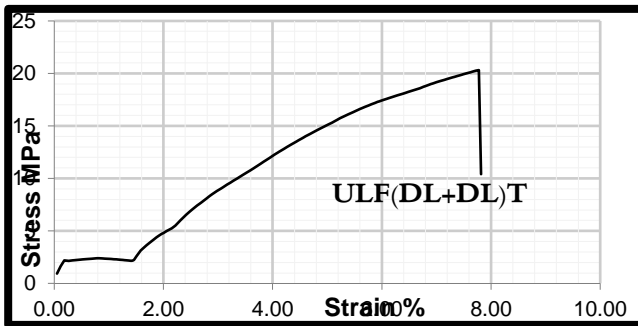
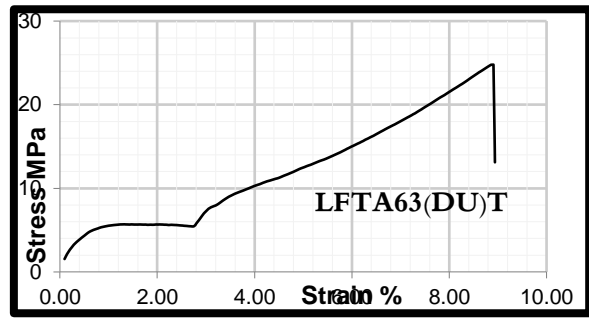
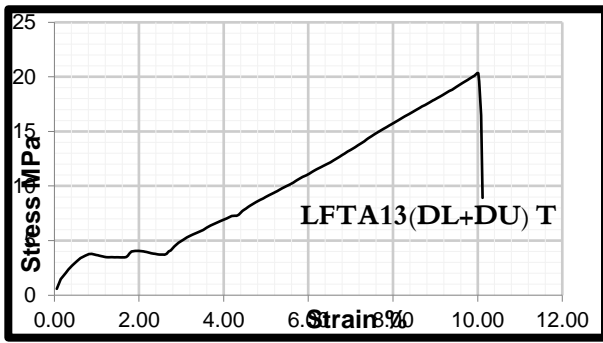
قوة الشد (MPa)	رمز المركب	العينات
20	ULF(DL+DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفاثاليك مع نفايات ألياف نبات اللوفا غير معالجة ونفايات المصنع.

20	LFTA13(DL+DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات ألياف نبات اللوفا بنسبة 1% ونفايات المصنع.
24	LFTA23(DL+DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات ألياف نبات اللوفا بنسبة 2% ونفايات المصنع.
20	LFTA33(DL+DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات ألياف نبات اللوفا بنسبة 3% ونفايات المصنع.
19	LFTA63(DL+DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات ألياف نبات اللوفا بنسبة 6% ونفايات المصنع.
28	LFTA93(DL+DU)	عينة لاختبار الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات ألياف نبات اللوفا بنسبة 9% ونفايات المصنع.

الجدول (9): ترميز لكل العينات مع ذكر قوة الشد لراتنج البوليستر الأورثوفتاليك مع نفايات ألياف نبات اللوفا ونفايات المصنع.

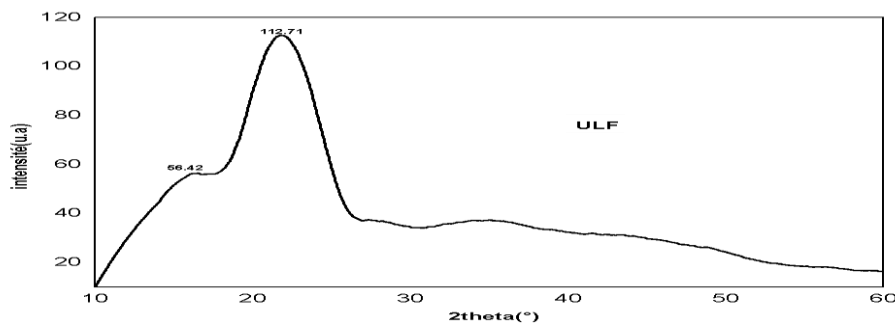




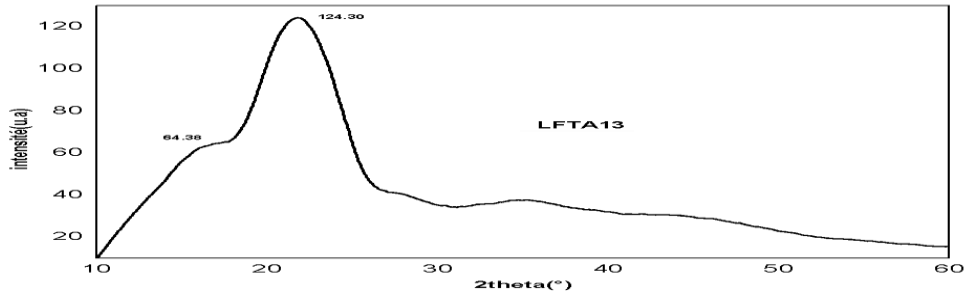


الشكل (42): منحنيات اختبار الشد لمختلف أنواع المواد المركبة.

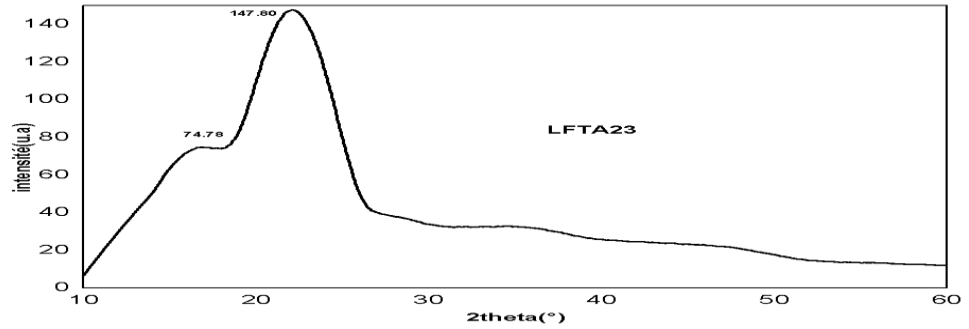
4.4. اختبار تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX)



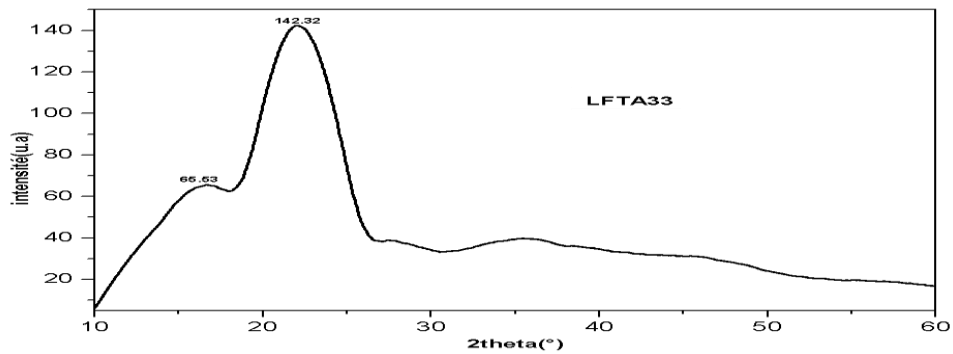
الشكل (43): منحنى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة ULF.



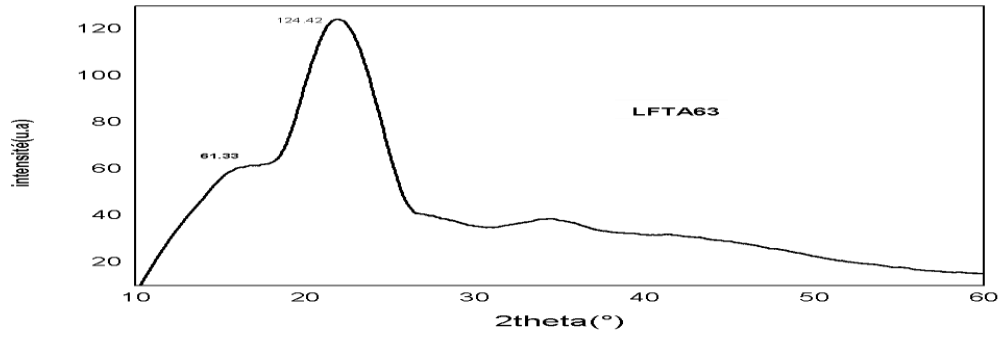
الشكل (44): منحنى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA13.



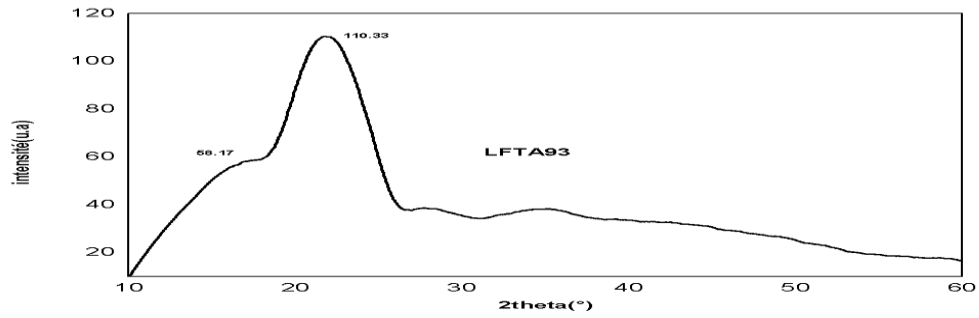
الشكل (45): منحنى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA23.



الشكل (46): منحنى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA33.



الشكل (47): منحنى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA63.



الشكل (48): منحنى تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) لعينة LFTA93.

العينة	I_{am}	I_{002}	CrI (%)
ULF	56.42	112.71	49.94
LFTA13	64.38	124.30	48.20
LFTA23	74.78	147.80	49.40
LFTA33	65.53	142.32	53.95
LFTA63	61.33	124.42	50.70
LFTA93	58.17	110.33	47.27

الجدول (10): معامل التبلور للألياف غير المعالجة والمعالجة.

وفقاً لمنحنيات الأشعة السينية DRX للألياف المعالجة بتركيز مختلفة لمدة 3 ساعات ومقارنتها بالألياف غير معالجة. بناءً على حساب معامل التبلور لكل منها، كما هو موضح في الجدول (10). يتبين أن أفضل المعالجات كانت LFTA33، التي تمتلك معامل تبلور يساوي 53.95%، وهذا يدل على إزالة كمية من الهيميسيليلوز واللغنين، مما يحسن درجة تبلور للألياف. وتحسين الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة.

الخاتمة

نظرا لتعدد استعمالات المواد المركبة المصنوعة من ألياف النباتات في وقتنا الحالي وذلك لما تملكه من خصائص فيزيوكيميائية وميكانيكية عالية: صلابة قوية، خفة في الوزن، قلة التكلفة... إلخ.

يهدف هذا العمل إلى تحضير مواد مركبة من ألياف نباتية حيث استخدمنا ألياف نبات اللوفا والتي تمت معالجتها بالصودا ثم إنجاز المركبات على مستوى مصنع أنابيب المغرب، تم تشخيص أربع أنواع من المركبات.

ثم قمنا بإجراء بعض اختبارات على العينات:

اختبارات الأشعة تحت الحمراء FTIR، الأشعة السينية DRX، اختبار الثني ذو ثلاث نقاط للمركبات، اختبار الشد.

من خلال اختبار FTIR لكل العينات:

لاحظنا أن هناك مجال واسع حول 3311.73 cm^{-1} للعينات LFTA13 لانخفاض كبير لقمة الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيد

-OH- وهذا راجع لذوبان مكونات الألياف (اللجنين، الهيميسليلوز). وكذلك باقي العينات مقارنة مع الألياف الغير معالجة.

وأيضاً نلاحظ وجود مجال آخر في قمة 2890.55 cm^{-1} تمثل مجموعة -CH- السليلوز. ومجال 1294.31 cm^{-1} يشير

لمجموعة C-O وهذا دلالة على وجود رابطة هيدروجينية بين الجزئيات، كما أن مجال 1022.22 cm^{-1} يشير لمجموعة C-O و O-

H دلالة لوجود السليلوز.

ومن خلال اختبار الثني ذو ثلاث نقاط لكل العينات نلاحظ:

بالنسبة للمقاومة:

بالنسبة للمركبات من النوع الأول لاحظنا أقصى قيمة عند العينة LFTA63 (L) كانت $S=35.63 \text{ Mpa}$ مقارنة بالعينة

ULF(L) كانت عند قيمة $S=30.38 \text{ Mpa}$ حيث تقدر نسبة الزيادة 15%.

بالنسبة للمركبات من النوع الثاني لاحظنا اقصى قيمة عند العينة LFTA13(DL) كانت $S=40.90\text{Mpa}$ مقارنة بالعينة ULF(DL) كانت عند قيمة $S=33.15\text{Mpa}$ حيث تقدر نسبة الزيادة 19%.

بالنسبة للمركبات من النوع الثالث لاحظنا اقصى قيمة عند العينة LFTA23(DU) كانت $S=59.13\text{Mpa}$ مقارنة بالعينة ULF(DU) كانت عند قيمة $S=38.65\text{Mpa}$ حيث تقدر نسبة الزيادة 35%.

بالنسبة للمركبات من النوع الرابع لاحظنا اقصى قيمة عند العينة LFTA63(DU+DL) كانت $S=51.60\text{MPa}$ مقارنة بالعينة ULF(DU+DL) كانت عند قيمة $S=35.74\text{MPa}$ حيث تقدر نسبة الزيادة 30.73%.

بالنسبة لمعامل يونغ:

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=1.035\text{GPa}$ بالنسبة لمركب LFTA63(L) مقارنة بالعينة ULF(L) التي تقدر $E=0.834\text{GPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 19.02%.

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=1.596\text{GPa}$ بالنسبة لمركب LFTA13(DL) مقارنة بالعينة ULF(DL) التي تقدر $E=1.447\text{GPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 9.3%.

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=1.146\text{GPa}$ بالنسبة لمركب LFTA33(DU) مقارنة بالعينة ULF(DU) التي تقدر $E=1.534\text{GPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 25.3%.

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=1.679\text{GPa}$ بالنسبة لمركب LFTA63(DU+DL) مقارنة بالعينة ULF(DU+DL) التي تقدر $E=0.519\text{GPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 69.08%.

ومن خلال اختبار الشد نلاحظ:

بالنسبة للإجهاد:

بالنسبة للمركبات النوع الأول لاحظنا اقصى قيمة عند LFTA93(L) كانت $\sigma=1.64\text{MPa}$ مقارنة بالعينة ULF(L) كانت عند قيمة $\sigma=2.34\text{MPa}$ حيث تكون نسبة الزيادة 30%.

بالنسبة للمركبات النوع الثاني لاحظنا اقصى قيمة عند LFTA23(DL) كانت $\sigma=2.50\text{MPa}$ مقارنة بالعينة ULF(DL) كانت عند قيمة $\sigma=1.40\text{MPa}$ حيث تكون نسبة الزيادة 44%.

بالنسبة للمركبات النوع الثالث لاحظنا اقصى قيمة عند LFTA93(DU) كانت $\sigma=3.26\text{MPa}$ مقارنة بالعينة ULF(DU) كانت عند قيمة $\sigma=1.23\text{MPa}$ حيث تكون نسبة الزيادة 62.3%.

بالنسبة للمركبات النوع الرابع لاحظنا اقصى قيمة عند LFTA63(DL+DU) كانت $\sigma=2.85\text{MPa}$ مقارنة بالعينة ULF(DL+DU) كانت عند قيمة $\sigma=2.66\text{MPa}$ حيث تكون نسبة الزيادة 5.61%.

بالنسبة لمعامل يونغ:

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=35.34\text{MPa}$ بالنسبة لمركب LFTA93(L) مقارنة بالعينة ULF(L) التي تقدر $E=27.08\text{MPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 40%.

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=75\text{MPa}$ بالنسبة لمركب LFTA23(DL) مقارنة بالعينة ULF(DL) التي تقدر $E=26.92\text{MPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 64.10%.

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=32.72\text{MPa}$ بالنسبة لمركب LFTA93(DU) مقارنة بالعينة ULF(DU) التي تقدر $E=20.56\text{MPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 37.16%.

اقصى قيمة لمعامل يونغ نجدها عند قيمة $E=52.12\text{MPa}$ بالنسبة لمركب LFTA63(DL+DU) مقارنة بالعينة ULF(DL+DU) التي تقدر $E=33.31\text{MPa}$ حيث يكون مقدار الزيادة 36.06%.

ومن خلال اختبار تحليل بواسطة الأشعة السينية (DRX) نلاحظ:

أن أفضل المعالجات كانت LFTA33، التي تمتلك معامل تبلور يساوي 53.95%، حيث قدرت نسبة معامل التبلور بـ 7.43% وهذا يدل على إزالة بعض من كمية الهيميسيليلوز واللغنين، مما يحسن درجة تبلور للألياف. وتحسين الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة.

قائمة المراجع

- [1] C. Oudet, *Polymères: structure et propriétés: Introduction*, Masson, 1994.
- [2] J. Široký, B. Široká, T. Bechtold, Alkali treatments of woven lyocell fabrics, in: *Woven Fabr.*, IntechOpen, 2012: pp. 179–204.
- [3] C. Meirhaeghe, H. Bewa, Evaluation de la disponibilité et de l'accessibilité de fibres végétales à usages matériaux en France, *Étude FRD Subventionnée Par l'ADEME* 16 (2011) 65.
- [4] أ. السيد عبدالمعطي أبوعيد, ع. يوسف عبداللاه, أ. بسيوني عابدين, دراسة تأثير أساليب الزخرفة اللونية للحرير الصناعي على تقنيات التشكيل على المانيكان, *مجلة بحوث التربية النوعية* 2014 (2014) 496–471.
- [5] D. Chandramohan, K. Marimuthu, A review on natural fibers, *Int. J. Res. Rev. Appl. Sci.* 8 (2011) 194–206.
- [6] M. Feughelman, Natural protein fibers, *J. Appl. Polym. Sci.* 83 (2002) 489–507.
- [7] A. Kicińska-Jakubowska, E. Bogacz, M. Zimmiewska, Review of natural fibers. Part I—Vegetable fibers, *J. Nat. Fibers* 9 (2012) 150–167.
- [8] K.L. Alharbi, J. Raman, H.-J. Shin, Date fruit and seed in nutricosmetics, *Cosmetics* 8 (2021) 59.
- [9] Y. Yusof, S.A. Yahya, A. Adam, Novel technology for sustainable pineapple leaf fibers productions, *Procedia CIRP* 26 (2015) 756–760.
- [10] A. Subagyo, A. Chafidz, Banana pseudo-stem fiber: Preparation, characteristics, and applications, *Banan. Nutr. Process. Kinet.* 20 (2018) 1–19.
- [11] A. Nenonene, *Élaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage*, (2009).
- [12] F. Michaud, *Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous*

- chargement thermomécanique: aptitude au postformage, (2003).
- [13] N. Joly, Synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenus par acylation et réticulation de la cellulose, (2003).
- [14] P. Jodin, A. pour la R. sur le B. en Lorraine, Le bois matériau d'ingénierie, Arbolor, 1994.
- [15] R.M. Rowell, J. Rowell, Paper and composites from agro-based resources, CRC press, 1996.
- [16] M. Dallel, Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (*Stipa Tenacissima L.*): Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil, (2012).
- [17] J. Biagiotti, D. Puglia, J.M. Kenny, A review on natural fibre-based composites-part I: structure, processing and properties of vegetable fibres, *J. Nat. Fibers* 1 (2004) 37–68.
- [18] M. Ragoubi, Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne, (2010).
- [19] D. Hatsch, Interaction hôte/pathogène: étude du modèle *Humulus lupulus/Fusarium graminearum*: Identification, génomique et transcriptomique du pathogène, (2004).
- [20] C. Couhert, Pyrolyse flash à haute température de la biomasse ligno-cellulosique et de ses composés: production de gaz de synthèse, (2007).
- [21] S. Thiebaud-Roux, Valorisation chimique de composés lignocellulosiques: obtention de nouveaux matériaux, (1995).
- [22] Y. Tamaki, T. Konishi, M. Fukuta, M. Tako, Isolation and structural characterisation of pectin from endocarp of *Citrus depressa*, *Food Chem.* 107 (2008) 352–361.
- [23] C. Rihouey, C. Morvan, I. Borissova, A. Jauneau, M. Demarty, M. Jarvis,

- Structural features of CDTA-soluble pectins from flax hypocotyls, *Carbohydr. Polym.* 28 (1995) 159–166.
- [24] E.A. Davis, C. Derouet, C.H. Du Penhoat, C. Morvan, Isolation and an NMR study of pectins from flax (*Linum usitatissimum* L.), *Carbohydr. Res.* 197 (1990) 205–215.
- [25] A. Bazus, Raffinage des agroressources: extraction et caractérisations des glucuronoxylanes des coques de tournesol, (1991).
- [26] ودراسة خصائصه البنيوية, مجلة Sol-Gel بطريقة الـ $ZnCo_2O_4$ أ. يوسف, إ.أ. اسماعيل, اصطناع مركب كوبالتات الزنك (2022). جامعة البعث-سلسلة العلوم الأساسية 44
- [27] K. Persson, Micromechanical modelling of wood and fibre properties, (2000).
- [28] J.O. Warwicker, R. Jeffries, R.L. Colbran, R.N. Robinson, A review of the literature on the effect of caustic soda and other swelling agents on the fine structure of cotton., *A Rev. Lit. Eff. Caustic Soda Other Swelling Agents Fine Struct. Cotton.* (1966).
- [29] J. Vallade, Structure et développement de la plante: Morphogenese et biologie de la reproduction des Angiospermes, Dunod, 1999.
- [30] D.H. Page, F. El-Hosseiny, mechanical properties of single wood pulp fibres. VI. Fibril angle and the shape of the stress-strain curve, *Pulp Pap. Canada* 84 (1983).
- [31] M.D.H. Beg, The improvement of interfacial bonding, weathering and recycling of wood fibre reinforced polypropylene composites, (2007).
- [32] J. Reguant, M. Rinaudo, Etude bibliographique sur les matériaux issus de la biomasse végétale, *Cent. Natl. La Rech. Sci. Cent. Rech. Sur Les Macromolécules Végétales. Grenoble Fr.* (1999).
- [33] J.P. Haluk, P. Jodin, Composition chimique du bois, *Le Bois Matériau d'ingénierie*, Ed. AR BO. LOR (1994).
- [34] A. Sbiai, Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres de palmier

- dattier: effet de l'oxydation au tempo sur les fibres, (2011).
- [35] A. Kriker, Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec, (2005).
- [36] S. Bouzouita, Optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel, (2011).
- [37] M.C. Paiva, I. Ammar, A.R. Campos, R. Ben Cheikh, A.M. Cunha, Alfa fibres: Mechanical, morphological and interfacial characterization, *Compos. Sci. Technol.* 67 (2007) 1132–1138.
- [38] W.M. Porterfield, Loofah—the sponge gourd, *Econ. Bot.* 9 (1955) 211–223.
- [39] C.A. Boynard, J.R.M. d'Almeida, Morphological characterization and mechanical behavior of sponge gourd (*Luffa cylindrica*)–polyester composite materials, *Polym. Plast. Technol. Eng.* 39 (2000) 489–499.
- [40] H. Demir, A. Top, D. Balköse, S. Ülkü, Dye adsorption behavior of *Luffa cylindrica* fibers, *J. Hazard. Mater.* 153 (2008) 389–394.
- [41] D. Ducret, Elasticité anisotrope et endommagement des matériaux composites: caractérisation ultrasonore et modélisation micromécanique, (2000).
- [42] D. BENMEDOUR, Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibre végétale: Application à la plante d'Alfa., (2012).
- [43] J.-M. Berthelot, Matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures, Editions Tec & Doc, 2005.
- [44] M. KHAROUBI, Etude du comportement mécanique de matériaux composites sous chargement cyclique et dynamique, (2009).
- [45] P. Prombut, Caractérisation de la propagation de délaminage des stratifiés composites multidirectionnels, (2007).
- [46] M. Lawoko, G. Henriksson, G. Gellerstedt, New method for quantitative

- preparation of lignin-carbohydrate complex from unbleached softwood kraft pulp: Lignin-polysaccharide networks I, (2003).
- [47] N. Makhloufi, Simulation numérique de la fissuration des composites par fatigue, (2012).
- [48] N. Ghebrid, Etude des problèmes de conduction thermique dans un matériau composite à matrice polymère pigmenté de dioxyde de Titane, (2018).
- [49] B. Goytino, J.-P. Gay, Importance respective des périodes de formation, de remplissage et de maturation du grain dans la composition du rendement, *Physiol. Prod. Du Maïs*, Eds INRA, Paris, Fr. (1991) 207–214.
- [50] N. Bahlouli, Cours matériaux composites, Univ. Strasbourg. URL [Http//Www-IPst. Ustrasbg. Fr/Cours/Materiaux-Composites/Tdm. Htm](http://www-IPst.Ustrasbg.Fr/Cours/Materiaux-Composites/Tdm.Htm) (2009).
- [51] V.O.A. Tanobe, T.H.S. Flores-Sahagun, S.C. Amico, G.I.B. Muniz, K.G. Satyanarayana, Sponge gourd (*Luffa cylindrica*) reinforced polyester composites: preparation and properties, *Def. Sci. J.* 64 (2014) 273.
- [52] A. Bounadja, Etude expérimentale du comportement mécaniques des stratifiés à renfort métallique sollicités en flexion 3 points., (2006).
- [53] C. Belkacemi, Etude expérimentale du comportement mécanique des stratifiés à renfort en matière végétale, (2006).
- [54] K.E. Borchani, Développement d'un composite à base d'un polymère biodégradable et de fibres extraites de la plante d'Alfa, (2016).
- [55] V.V.D.T. Do Thi, Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradables ou non, (2011).
- [56] L.Y. Mwaikambo, M.P. Ansell, Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization, *J. Appl. Polym. Sci.* 84 (2002) 2222–2234.
- [57] M.M. Kabir, H. Wang, K.T. Lau, F. Cardona, Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview, *Compos. Part B Eng.*

- 43 (2012) 2883–2892.
- [58] N. Chand, M. Fahim, Tribology of natural fiber polymer composites, Woodhead publishing, 2020.
- [59] B. Meghlaoui, Elaboration et caractérisation d'un composite biodégradable a matrice polymère et renfort nature, (2020).
- [60] R. Kozłowski, M. Władyska-Przybylak, Uses of natural fiber reinforced plastics, in: Nat. Fibers, Plast. Compos., Springer, 2004: pp. 249–274.
- [61] P.K. Kushwaha, R. Kumar, Effect of silanes on mechanical properties of bamboo fiber-epoxy composites, J. Reinf. Plast. Compos. 29 (2010) 718–724.
- [62] L. Merad, Etude par Spectroscopie Raman et modélisation d'une résine composite RTM, (2010).
- [63] A.R. Bunsell, Fibre reinforcements for composite materials, (No Title) (1988).
- [64] ea30677f4162fc1d1178b4eb32c5c60fa2660221 @ www.maghrebpipes.com, (n.d.). <http://www.maghrebpipes.com/usine>.
- [65] N. Sgriccia, M.C. Hawley, M. Misra, Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites, Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. 39 (2008) 1632–1637.
- [66] J. Peng, Détermination des contraintes résiduelles dans les revêtements par diffraction des rayons X en faible incidence, (2005).
- [67] L. Segal, J.J. Creely, A.E. Martin Jr, C.M. Conrad, An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer, Text. Res. J. 29 (1959) 786–794.
- [68] F.A. Batzias, D.K. Sidoras, Simulation of methylene blue adsorption by salts-treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems, J. Hazard. Mater. 149 (2007) 8–17.
- [69] Z. Osman, A.K. Arof, FTIR studies of chitosan acetate based polymer electrolytes, Electrochim. Acta 48 (2003) 993–999.

-
- [70] H.H.R. Schor, E.L. Teixeira, The Fundamental Rotational–Vibrational Band of CO and NO: Teaching the Theory of Diatomic Molecules, *J. Chem. Educ.* 71 (1994) 771.
- [71] C.W. Brandt, K.J. Fridley, Effect of load rate on flexural properties of wood–plastic composites, *Wood Fiber Sci.* (2003) 135–147.
- [72] B. Johar, N.A. Rejab, N.K. Su, M.S. Talib, A.F. Osman, N.M.S. Adzali, M.H. Musa, PHYSICAL PROPERTIES OF AL/CALCINED DOLOMITE METAL MATRIX COMPOSITE BY POWDER METALLURGY ROUTE, (n.d.).
- [73] R. Azeddine, Elaboration et Etude des Propriétés du PVC Plastifié par DOP/HTE, (n.d.).