

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية العلوم  
قسم الكيمياء



الرقم التسلسلي:.....  
رقم التسجيل: DCH/05/21

أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه علوم  
تخصص: كيمياء  
فرع: كيمياء عضوية

العنوان:

المواد المركبة ذات مصفوفة مقواة بألياف

من إعداد الطالب:  
العايب النوري

تاريخ المناقشة: 2021/04/12

أمام لجنة المناقشة المكونة من السادة:

الاسم واللقب	الرتبة العلمية	المؤسسة	الصفة
والي دهيمي	أستاذ التعليم العالي	المدرسة العليا للأساتذة بوسعادة	رئيسا
بن يحي عز الدين	أستاذ محاضر "أ"	جامعة المسيلة	مقرا
دخوش عاشور	أستاذ التعليم العالي	جامعة المسيلة	ممتحنا
رفاس عبد الباقي	أستاذ التعليم العالي	جامعة المسيلة	ممتحنا
بلموكر كمال	أستاذ التعليم العالي	جامعة سكيكدة	ممتحنا
بلمخبي لطفي	أستاذ محاضر "أ"	جامعة قسنطينة 3	ممتحنا
دغفل نذير	أستاذ محاضر "ب"	جامعة المسيلة	مدعوا

# تشكرات

يسرني ويشرفني أن نتقدم بخالص الشكر ووافر الامتنان إلى أستاذي المشرف الدكتور بن يحي عزالدين على هذه الأطروحة وما بذله من جهد ونصائح وتوجيهات من اجل انجاز هذا العمل وتحمله من مشقة جعلها الله في ميزان حسناته.

كما اشكر أعضاء اللجنة الممتحنين الذين قبلوا مني هذا العمل للمناقشة بكل رحب وسرور وعلى رأسهم السيد رئيس اللجنة الأستاذ والي دهيمي وكذلك الأعضاء الممتحنين وهم: الأستاذ دخوش عاشور، الأستاذ رفاص عبد الباقي ، الأستاذ بلموكر كمال ، الأستاذ بلمخبي لطفي ، الأستاذ دغفل نذير.

واخص بالتقدير والشكر لرئيس قسم الكيمياء الأستاذ دخوش عاشور ونوابه الأستاذين: حفار هشام ونوفل كمال.

وكذلك بالشكر الجزيل إلى من مد إلي العون واخص بالذكر:

-مسؤول مخبر الكيمياء عريوة نورالدين و عويبة الحسين بجامعة المسيلة.

-مسؤول مخبر الفيزياء بجامعة المسيلة وأخص بالذكر الأستاذين: فوضيل سحنون و حرايز مناد.

- مسؤول مخبر الهندسة المدنية بجامعة المسيلة.

- مدير مصنع مغرب أنابيب بالمسيلة السيد بعلي الخير وكذلك الدكتور بعلي ابراهيم ومسؤول المخبر سفيان.

- مسؤول مخبر الهندسة المدنية بجامعة المسيلة.

- مسؤول مخبر الكيمياء بجامعة فرحات عباس بسطيف.

- مترجمة الأبحاث الأستاذة غابرييلا كواهلا.

كما أشكر كل من ساعدني من قريب أو من بعيد على إتمام هذا البحث.

## الفهرس

قائمة الاختصارات

قائمة الجداول

قائمة الأشكال

مقدمة

## الجانب النظري

### الفصل الأول: دراسة نظرية للألياف النباتية

تمهيد

1. I . 1. تعريف الألياف النباتية.....1
2. I . 2. تواجد الألياف.....1
3. I . 3. تصنيف الألياف النباتية.....1
4. I . 4. خصائص الألياف النباتية .....3
4. I . 1. البنية الفيزيائية.....3
4. I . 2. البنية الكيميائية .....4
5. I . 5. مكونات الألياف النباتية .....5
5. I . 1. السليلوز .....5
5. I . 2. الهيميسليلوز.....7
5. I . 3. اللجنين.....8
5. I . 4. البكتينات.....9
5. I . 5. المواد غير العضوية.....10
5. I . 6. الشموع.....11
6. I . 6. الخصائص الميكانيكية للألياف النباتية.....12
7. I . 7. المقارنة بين الخصائص الميكانيكية للألياف الطبيعية والاصطناعية.....13
8. I . 8. نبات اللوفا.....15
8. I . 1. 8. التسمية والتصنيف النباتي.....16
8. I . 2. 8. تأثير المعالجة على نبات اللوفا.....16
8. I . 1. 2. 8. المعالجة القلوية.....16
8. I . 2. 2. 8. المعالجة ببرمنغنات البوتاسيوم.....17
8. I . 3. 8. خصائص ومجال استعمال ألياف اللوفا.....18

## الفصل الثاني: المعالجة الكيميائية وتحضير المواد المركبة

26.....	تمهيد.....
26.....	1. II . أهم المعالجات الكيميائية للألياف النباتية.....
26.....	1.1. II . 1. المعالجة بالصود.....
27.....	1.1. II . 2. المعالجة بالأسيلة.....
27.....	1.1. II . 3. المعالجة بالبنزلة.....
28.....	1.1. II . 4. المعالجة بالبرمنغنات.....
28.....	1.1. II . 5. معالجة الألياف السيلان.....
29.....	2. II . 2. المواد المركبة.....
29.....	1.2. II . 1. مكونات المواد المركبة.....
29.....	1.1.2. II . 1. التعزيز (Renfort).....
30.....	1.2. II . 2. 1. المصفوفة.....
31.....	3. II . 3. أنواع المصفوفات.....
31.....	1.3. II . 1. الراتنجات المتلدنة حراريا.....
31.....	2.3. II . 2. الراتنجات المتصلبة حراريا.....
32.....	4. II . 4. راتنجات البولي أستر غير المشبع.....
33.....	1.4. II . 1. خصائص راتنجات البولي أستر غير المشبع.....
34.....	1.1.4. II . 1. الخصائص الكيميائية والفيزيائية.....
35.....	2.1.4. II . 2. الخصائص الميكانيكية.....
36.....	5. II . 5. تصنيف المواد المركبة.....
36.....	1.5. II . 1. تصنيف المواد المركبة حسب نوع المصفوفة.....
36.....	2.5. II . 2. تصنيف المواد المركبة حسب هندسة التعزيز.....
	<b>الفصل الثالث: الطرائق والأجهزة المستعملة</b>
39.....	1. III . 1. المكونات الكيميائية لألياف اللوفا.....
39.....	1.1. III . 1. الماء والمواد المتطايرة.....
40.....	1. III . 2. المواد المعدنية.....
40.....	1. III . 3. المواد العضوية.....
40.....	III . 2. الاستخلاص.....
40.....	III . 1.2. المعالجة الأولية.....
41.....	III . 2. 2. استخلاص الهولوسيليلوز (Holocellulose).....
41.....	III . 1.2.2. الاستخلاص بواسطة هيدروكسيد الصوديوم NaOH.....

42.....	عملية التبييض (Blanchiment)	2.2.2.III
43.....	استخلاص السيليلوز	3. 2.III
43.....	استخلاص الهيميسيليلوز	4. 2.III
44.....	استخلاص اللجنين (Lignine)	5.2.III
45.....	استخلاص الدهون والشموع ( Graisses et cires )	6. 2.III
45.....	معالجة الألياف	3.III
45.....	1. المعالجة الميكانيكية للألياف	1. 3.III
46.....	2. المعالجة الكيميائية للألياف	2. 3.III
46.....	1.2.3. المعالجة القلوية	1.2.3. III
47.....	2.2.3. المعالجة ببرمنغنات البوتاسيوم	2.2.3. III
47.....	3.2.3. المعالجة ببيكرومات البوتاسيوم	3.2.3. III
48.....	4.2.3. المعالجة بماء جافيل	4.2.3. III
48.....	5.2.3. المعالجة بالسيلان	5.2.3. III
48.....	3.3.III تحضير أوراق التقوية (Mats)	3.3.III
50.....	4.3.III تحضير المواد المركبة	4.3.III
51.....	5.3. III الأجهزة المستعملة	5.3. III
51.....	1.5-3- III جهاز الطحن	1.5-3- III
52.....	2.5-3- III جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR)	2.5-3- III
53.....	3.5-3- III جهاز الوزن الحراري(ATG)	3.5-3- III
53.....	4.5-3- III الاختبار بجهاز تشتت الأشعة السينية (DRX)	4.5-3- III
55.....	5.5-3- III مجهر المسح الإلكتروني (MEB)	5.5-3- III
55.....	6.5-3- III جهاز الثني ذو ثلاث نقاط للمركبات (FLEXION)	6.5-3- III

## الفصل الرابع:مناقشة النتائج

مقدمة

59.....	.....	.....
.....	.....	.....
لألياف	الأساسية	1.IV المكونات
59.....	.....	اللوفا
59.....	.....	المواد الجافة
IV	.....	.....
59.....	.....	2.1. IV المواد المعدنية
59.....	.....	3.1. IV المواد الدهنية والشمعية

59.....	IV 4.1. السيليلوز، الهيميسيليلوز واللجنين
61.....	IV 2. الاختبارات الفيزيائية
61.....	IV 1.2. اختبار امتصاص الماء
62 .....	IV 3. 2. تحليل مطيافية فورييه لتحويل الأشعة تحت الحمراء FTIR لألياف اللوفا
65.....	IV 3.4. التحليل بواسطة جهاز حيود الأشعة السينية (DRX)
67.....	IV 4.5. التحليل الوزني الحراري (ATG)
69.....	IV 3. الاختبارات الميكانيكية
69.....	IV 1.3. تأثير المعالجة لألياف اللوفا على قوة الانحناء والثني
74.....	IV 2.3. اختبار الماسح الإلكتروني (MEB)

## الخلاصة العامة

## قائمة المراجع

- FTIR*: جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء
- DRX*: جهاز الأشعة السينية
- E(GPa)*: معامل يونغ
- A %*: استطالة القطع
- $\sigma$  (*MPa*): إجهاد القطع
- pH*: الأس الهيدروجيني
- NR*: المطاط الطبيعي
- CMO*: مواد مركبة ذات مصفوفة عضوية
- CMC*: مواد مركبة ذات مصفوفة خزفية
- CMM*: مواد مركبة ذات مصفوفة معدنية
- TP*: الراتنج المرنة حراريا
- TD*: الراتنج المتصلبة حراريا
- PVC*: راتنج بولي فينيل كلوريد
- UP*: راتنج بولي استر غير مشبع
- CrI(%)*: معامل التبلور
- I002*: يميز المستوى 002
- IAM*: يميز المناطق غير البلورية
- Fmax*: القوة المطبقة
- S*: مساحة مقطع عينة المادة المركبة

### قائمة الأشكال

الصفحة	الشكل
3	الشكل(1): الأنواع المختلفة للألياف النباتية.....
5	الشكل(2): مخطط لبنية مجهرية للألياف النباتية.....
7	الشكل(3): البنية الجزيئية للسيليلوز.....
9	الشكل(4): الروابط الهيدروجينية داخل وبين الجزيئات في ليف السيليلوز.....
10	الشكل(5): رسم تخطيطي يبين المناطق البلورية واللابلورية في ليف مجهرى.....
10	الشكل (6): بنية من نوع الكزيلوجلليكان.....
11	الشكل(7): مخطط تمثيلي للجنين.....

- 11 الشكل(8): البنى المكونة للجنين.....
- 12 الشكل(9): بنية سلسلة من البكتين ( حمض البولي جالاكتيرونيك).....
- الشكل(10): مراحل تطور نبات اللوفا.....
- الشكل(11): صور مجهرية لتأثير المعالجة ب NaOH و ألياف اللوفا غير المعالجة.....
- الشكل(12): صور مجهرية لألياف اللوفا غير المعالجة عند ( أ ) 120X ، (ب) 500 X ...
- الشكل(13): صور مجهرية لألياف اللوفا المعالجة بـ KMnO4 عند (أ) 120X ، (ب) 500 X .....
- 12 الشكل(14): ألياف نباتية: (أ) قبل المعالجة (ب) بعد المعالجة بالصودا.....
- 13 الشكل(15): مخطط لمادة مركبة.....
- 14 الشكل(16): أهم مواد التعزيز.....
- 15 الشكل(17): مخطط لأنواع المصفوفات.....
- 15 الشكل(18): الاتجاهات الأساسية في الألياف.....
- 19 الشكل(19): ألياف اللوف (أ) أثناء النمو (ب) أثناء الجني (ج) أثناء الطحن.....
- 20 الشكل(20): مخطط لاستخلاص المكونات الأساسية في الألياف النباتية.....
- 21 الشكل(21): الألياف بعد الاستخلاص بالماء والصود والترشيح.....
- 22 الشكل(22): الهولوسيليلوز بعد ترشيحه وتجفيفه.....
- 23 الشكل(23): السيليلوز بعد ترشيحه وتجفيفه.....
- 24 الشكل(24): مستخلص الهيميسيليلوز المتحصل عليه.....
- 24 الشكل(25): التقطير الانعكاسي.....
- 27 الشكل(26): عملية استخلاص اللجنين.....
- 28 الشكل(27): استخلاص الدهون باستعمال جهاز التبخير الدوار.....
- 29 الشكل(28): الألياف بعد عملية المعالجة الميكانيكية.....
- 32 الشكل(29): اللوفا بعد معالجتها بالصودا.....
- 45 الشكل(30): عينات اللوفا لمختلفة المعالجات.....
- 46 الشكل(31): صورة اللوفا المعالجة وغير المعالجة أثناء الضغط.....
- 57 الشكل(32): صورة لإحدى ألياف اللوفا بعد الضغط.....
- 28 الشكل(33): المواد المركبة قبل القص.....
- 28 الشكل(34): المواد المركبة بعد القص.....
- الشكل(35): مختلف المراحل لتشكيل المركب بعملية القولية المغلقة.....
- 28 الشكل(36): جهاز طحن.....
- 32 الشكل(37): جهاز التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء.....
- 45 الشكل(38): جهاز التحليل الوزني الحراري (ATG).....
- 46 الشكل(39): مبدأ قانون براج.....
- 57 الشكل(40): مجهر المسح الإلكتروني (MEB).....
- 58 الشكل(41): جهاز اختبار الثني ذو ثلاثة نقاط.....
- 29 الشكل(42): تأثير امتصاص الماء بدلالة زمن الغمس في الماء لعينات من اللوفا المعالجة وغير المعالجة.....



- 32 الشكل(43): الأشعة تحت الحمراء لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.....
- 45 الشكل(44): أنماط حيود الأشعة السينية لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.....
- 46 الشكل(45): التحليل الحراري الوزني لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.....
- 57 الشكل (46): منحي الثني للمركب ULF/UP .....
- 58 الشكل (47): منحي الثني للمركب LFTA5/UP.....
- 57 الشكل (48): منحي الثني للمركب LFTB/UP .....
- 58 الشكل (49): منحي الثني للمركب LFTP/UP.....
- 57 الشكل (50): منحي الثني للمركب LFTB/UP .....
- 58 الشكل (51): منحي الثني للمركب LFTS/UP .....
- 58 الشكل (52): تأثير تعديل الألياف على قوة الانحناء للوفا الألياف - مركب بوليستر غير مشبع
- الشكل(53): تأثير تعديل الألياف على معامل الانحناء لألياف اللوفا.مركب البوليستر غير مشبع
- الشكل(54): صورة بالمسح الالكتروني لسطح مكسور من المركبات : (أ). ULF / UP ، (ب).  
LFTA5 / UP (ج). LFTP / UP ، (د). LFTEJ / UP ، (هـ). LFTB / UP ، (و).  
75.....LFTS / UP

الصفحة	قائمة الجداول
4	الجدول (1): المكونات الكيميائية لبعض الألياف النباتية.....
7	الجدول (2): أمثلة على التركيب الكيميائي للألياف النباتية.....
8	الجدول (3): الخصائص الميكانيكية لبعض الألياف الطبيعية.....
16	الجدول (4): الخصائص الميكانيكية لبعض الألياف الطبيعية والاصطناعية.....
26	الجدول (5): خصائص الراتنجات المتلدنة حراريا (TP).....
31	الجدول (6): خصائص الراتنجات المتصلبة حراريا.....
33	الجدول (7): مقارنة بين الراتنجات المتلدنة حراريا والمتصلبة حراريا.....
28	الجدول (8): المقاومة الكيميائية لراتنجات البولي أستر.....
28	الجدول (9): الخصائص المتوسطة للمكونات المستعملة في راتنجات متصلبة حراريا.....
29	الجدول (10): مميزات وسليبات راتنجات البولي أستر.....
32	الجدول (11): مكونات ألياف اللوفا.....
28	الجدول (12): المكونات الكيميائية لبعض الألياف النباتية.....
28	الجدول (13): اهتزاز المجموعات الوظيفية المميزة للألياف النباتية.....
29	الجدول (14): مؤشر التبلور لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.....
32	الجدول (15): فقدان الكتلة للعينات المعالجة وغير المعالجة عند 100°C.....
45	الجدول (16): بعض الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة من ألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة لاختبار الثني
60	الجدول (17): نتائج الثني ومعامل يونغ.....

## المقدمة العامة

لقد عرفت الألياف النباتية منذ آلاف السنين من طرف الإنسان واستعملت كثيرا في عدة مجالات تقليدية وصناعية وطبية وغيرها [1] وفي السنوات الأخيرة تزايد اهتمام الباحثين بالألياف الطبيعية لعدة أسباب من بينها: تزايد انبعاثات غازات التدفئة الناتجة عن المصانع والتي تسبب الاحتباس الحراري في العالم، كذلك زيادة الوعي الجماعي بالمشاكل البيئية الذي دفع بالمصنعين للبحث عن حلول بديلة للموارد الأحفورية ووضع استراتيجيات شاملة للتنمية المستدامة. إضافة إلى النضوب التدريجي للنفط

والذي يجعل من الضروري إيجاد مصادر جديدة للطاقة والمواد الخام [2-4]. يعتبر هذا السياق هو معجل حقيقي للابتكار ، خاصة في مجال المواد. تركز الجهود البحثية الأكاديمية والصناعية الكبيرة الآن على تطوير منتجات من الموارد المتجددة لتحل محل المواد التقليدية. وبالتالي ، هناك اهتمام قوي بالألياف السليلوزية بهدف استبدال الحشوات المعدنية (الألياف الزجاجية ، وما إلى ذلك) وتعزيز مصفوفات البوليمر من أجل الحصول على مركب حيوي ذو خصائص ميكانيكية عالية.

يشمل مفهوم المركب الحيوي المركبات المنتجة من البوليمرات والألياف الاصطناعية ، سواء كانت البوليمرات بترولية مقواة بألياف حيوية أو حتى مركبات تجمع بين البوليمرات الحيوية والألياف الحيوية. تشمل ما يسمى بالألياف السليلوزية ألياف نباتية (تتكون أساسًا من السليلوز: الكتان ، والقنب ، والخشب ، وما إلى ذلك) وألياف السليلوز النقية المغزولة من ألياف الخشب في محلول فيسكوز ، ولايوسل وما إلى ذلك. أصبحت هذه المركبات الحيوية قابلة للتصور في مجالات واسعة من التطبيقات مثل: صناعة بعض الأجزاء الخارجية للسيارات، السفن، في مجال الطيران وصناعة الطائرات، في المجال الطبي وكذلك في مواد البناء في تقوية الطين. تعتبر صناعة السيارات هي مقدم الطلب الأول في الأونة الأخيرة حيث ازداد استعمال الألياف وخاصة في المجال الصناعي نتيجة لما تتمتع به الألياف من خصائص فيزيائية وميكانيكية عالية نوعا ما، صلابة ، خفة في الوزن، قلة تكلفة، صديقة للبيئة، قابليتها للتآكل الحيوي، قابليتها للإسترجاع [7-10]. لكن رغم هذه الإيجابيات فإن هناك عقبات تعترض الباحثين لتحد من استعمالات الألياف في المواد المركبة أهمها هي الخاصية الهيدروفيلية للألياف والتي تجعلها محبة للماء بينما البوليمرات لها خاصية هيدروفوبية والتي تجعلها كارهة للماء مما يجعل مصفوفة البوليمر غير متوافقة مع الألياف، يؤدي في النهاية إلى ضعف الالتصاق البيئي للألياف مع المصفوفة سواء كانت هذه الأخيرة عضوية أو غير عضوية مما ينتج عن ذلك ضعف في الخصائص الميكانيكية للمركب. 2 للتغلب على هذا المشكل يمكن إجراء معالجات كيميائية بالصودا أو بمواد مؤكسدة أو بمواد مساعدة على الربط وذلك للتقليل من الخاصية الهيدروفيلية للألياف بهدف تحسين الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة المدروسة.

في هذا الإطار فإن هاته المذكرة تهدف لتطوير الخصائص الميكانيكية لمركب من البولي أستر غير المشبع المقوى بألياف القرع المتواجدة بمنطقة المسيلة. حيث تمت معالجة الألياف بمحاليل من الصودا، بيكرومات البوتاسيوم، برمنغنات البوتاسيوم، ماء الجافيل ومحلول السيلان (3-aminopropyltriethoxysilan) لمعرفة مدى تأثيرها على البنية المورفولوجية للألياف المذكورة أعلاه مع مقارنتها بالألياف غير المعالجة كخطوة أولى. أما في الخطوة الثانية فقد تم تحضير المواد المركبة بتعزيز مصفوفة بوليمرية من البولي أستر غير المشبع بألياف القرع المعالجة وغير المعالجة لمعرفة مدى تأثيرها على الخصائص الميكانيكية للعينات المحضرة ومقارنتها بالمركبات المعززة بألياف القرع غير المعالجة.

في الفصل الأول تم التطرق إلى دراسة نظرية حول النباتات بصفة عامة وأنواع بعض الألياف الطبيعية مع خصائصها الفيزيائية والميكانيكية ثم التطرق إلى البنية المورفولوجية للألياف، ومكوناتها مثل السليلوز والهيميسيللوز والبكتين واللجنين وغيرها. بعدها تم دراسة أهم المعالجات الكيميائية للألياف.

في الفصل الثاني تم التطرق إلى بعض أنواع المصفوفات المستعملة في تحضير المركبات وأهم العوامل المؤثرة على الخصائص الميكانيكية للمركبات مع تناول بعض الطرائق المستعملة في تحضير المركبات.

أما الفصل الثالث يحتوي على الدراسة التجريبية وفيه أهم الطرائق والأجهزة المستعملة. حيث تم التطرق إلى استخلاص بعض المكونات الأساسية لألياف القرع منها السليلوز والهيميسيللوز واللجنين. مع تناول أهم الاختبارات التشخيصية مثل: اختبار IRTF، ATG، DRX، MEB، اختبار الثني.

الفصل الرابع ويتناول النتائج المتوصل إليها ومناقشتها. وأخيرا الخلاصة العامة.

## الفصل الأول

### الألياف النباتية وخصائصها



تمهيد:

ازداد الاهتمام في الآونة الأخيرة بالألياف النباتية وذلك لاستعمالها الواسع في المجالات الصناعية ولتمتعها بخصائص فيزيائية وميكانيكية عالية من صلابة مثل: خفة الوزن، قلة التكلفة وتحللها البيولوجي السهل وكذا إعادة تدويرها، وقلة انبعاثاتها للغازات السامة فهي صديقة للبيئة ويمكن استخدامها كبديل للألياف الصناعية [11]. وفي هذا الفصل سنتطرق بالتفصيل إلى الألياف الطبيعية من حيث التصنيف، البنية والمكونات الكيميائية ومختلف المعالجات الكيميائية لها بهدف فهم ودراسة التأثيرات المتبادلة بين هذه الألياف التي تستعمل كمواد تقوية للبوليميرات والمصفوفة المستعملة في تحضير المواد المركبة.

**1. I. تعريف الألياف النباتية**

الألياف النباتية عبارة عن تركيب بيولوجي ليفي يتكون من السليلوز والهيميسليلوز واللجنين وكمية منخفضة نسبياً من المستخلصات والبروتين الخام، والدهون، والمعادن [12]. كما تتغير نسب هذه المكونات وذلك حسب نوعية وعمر النباتات والمنطقة.

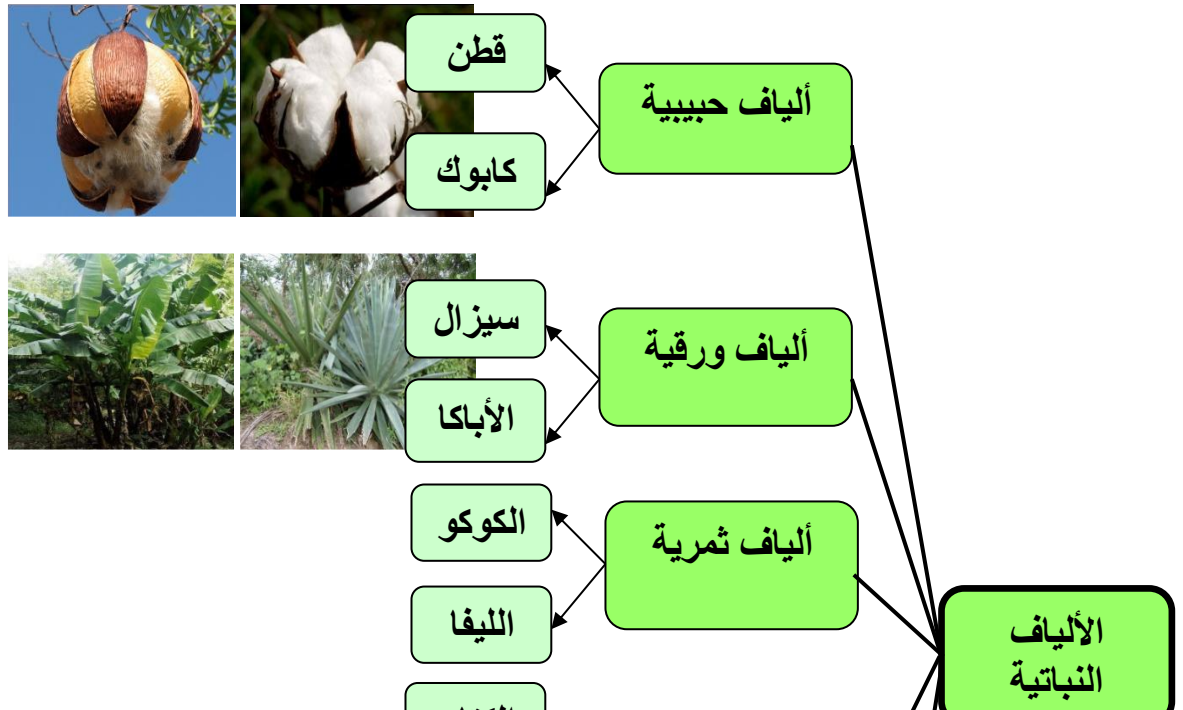
**2. I. تواجد الألياف:**

يقدر الإنتاج العالمي السنوي للألياف النباتية حوالي 6200 kT (عدا القطن 2600 kT والخشب) وذلك خلال السنوات 2001-2008، حيث تمثل ألياف الجوت (jute) نصف الإنتاج العالمي من الألياف النباتية كما أن مصانع هذه الأخيرة توظف بصفة مباشرة وغير مباشرة حوالي 11 مليون شخص عبر العالم، بعدها يأتي تصنيف ألياف جوز الهند و ألياف الكتان في المستوى الثاني والثالث على الترتيب بمعدل (13.16%) من الإنتاج العالمي [13].

**3. I. تصنيف الألياف النباتية**

تصنف النباتات من خلال معايير متعددة نذكر منها ما يلي:

- ✓ وفقاً لمصدر النبات، حيث يمكن أن تصنف الألياف إلى ألياف من القصبان الليفية مثل الجوت والكتان والرامي والياف ورقية مثل السيزال والقنب [14].
- ✓ اعتماداً على مكوناتها من السليلوز والهيميسليلوز واللجنين والبكتين والتي يمكن أن تكون لينة او متصلبة [15]
- ✓ اعتماداً على طولها، وفي هاته الحالة يمكن تصنيف ألياف النبات إلى فئتين: ألياف طويلة، مثل ألياف اللحاء التي تأتي من سيقان ولحاء النباتات السنوية. (الشكل (1)) [16]



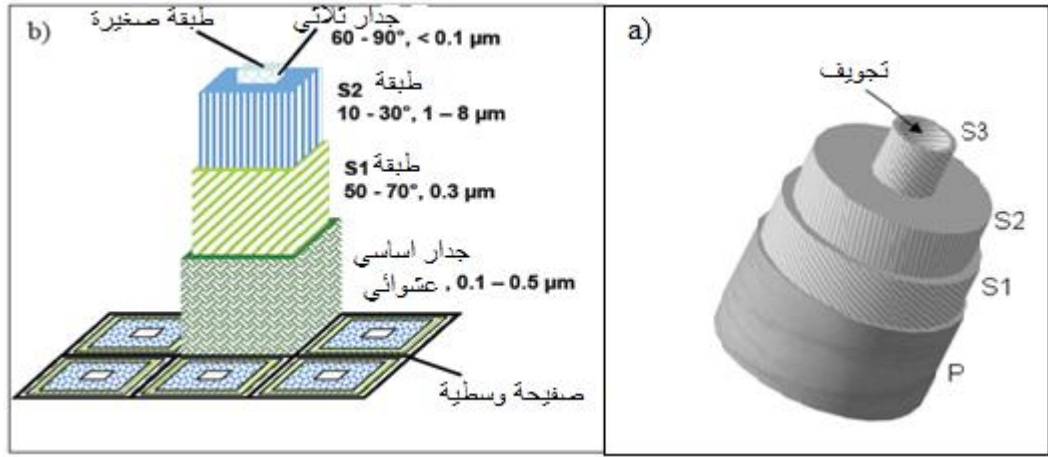


الشكل (1). الأنواع المختلفة للألياف النباتية [16].

#### 4.I. خصائص الألياف النباتية

##### 1.4.I. البنية الفيزيائية

تعتبر الألياف النباتية مادة متعددة الطبقات مكونة من جدران اسطوانية متحدة المركز وهي التي تشكل الألياف وذلك كما هو موضح في الشكل (2) وفي الوسط توجد الألياف الابتدائية، كما أن هناك تجويف يحتوي - حتى نضج الألياف- على نواة الخلية والسيتوبلازم ، ويتم استخدام حجم التجويف لتحديد نوعية ودرجة نضج الألياف[17].



الشكل (2) مخطط لبنية مجهرية لـ: (a) ليف من القطن (b) ألياف الخشب [19،18]

أما الجدار الذي هو الغلاف النباتي فإنه يتكون أساسا من جزئين: الجدران الخلوية الأولية (P) والثانوية (S).

- الجزء الأول ويسمى الأولي (P) فهو يلعب دور لاصق حيث يقوم بتلحيم الألياف بعضها ببعض، ويكون نسبيا ذو سمك رقيق ( $0,1-0,5\mu\text{m}$ ). يتكون هذا الجدار الخلوي الأولي أساسا من البكتين، اللجنين ومركبات كيميائية مختلفة.
- الجزء الثاني ويسمى الجدار الثانوي فيتكون من ثلاث طبقات (S3، S2، S1) وتشكل الغالبية العظمى من حجم الليف. ويتألف من ليفيات مجهرية، اللجنين والهيميسيلولوز. كما أن الليفيات المجهرية للسيلولوز لديها بنى جد متبلورة وعالية التوجه وتتجمع في حزم من الليفيات متماثلة.

إن الليفيات المجهرية لديها ترتيب حلزوني، كما أن الزاوية التي بين الليفيات والمحور الطولي هي من بين العوامل الأكثر تحديدا للخصائص الميكانيكية للألياف النباتية [20]. لقد قام أحد الباحثين وهو الحسيني [21]، بتسليط الضوء على تأثير زاوية الليفيات المجهرية على خصائص الشد لألياف الخشب، وتوصل إلا أنه من أجل زوايا تتراوح بين  $1^\circ$  إلى  $46^\circ$  فإن إجهادات القطع ( $\sigma_r$ ) ومعامل المرونة (E) يتناقصان. وكلما كانت الزاوية ضعيفة كلما كانت الخصائص الميكانيكية أفضل.

#### 2.4.I. البنية الكيميائية

يعتبر التركيب الكيميائي للألياف النباتية مهما لاستخدامها في تحضير المركبات. وتتميز الألياف النباتية من خلال التركيبة الكيميائية، والتي تؤثر بشكل كبير في متانتها وخاصة في الأوساط القلوية. ويتكون التركيب الكيميائي للألياف النباتية من ثلاثة عناصر رئيسية وهي: السيلولوز، الهيميسيلولوز واللجنين، وهناك أيضا نسبة صغيرة: من المواد القابلة للاستخلاص بالمذيبات العضوية، والبروتينات والنشا وبعض المنتجات غير العضوية.

إن نسبة الهولوسيلولوز (المكون من السيلولوز والهيميسيلولوز) ونسبة اللجنين تتغيران حسب طبيعة ومصدر هذه الألياف كما أن مكونات الألياف تتعلق بشروط النمو، وعمر النبات والظروف المناخية وطبيعتها [22]. وبصفة عامة ومن خلال الجدول (1) الذي يلخص المكونات الكيميائية للألياف النباتية الأكثر استعمالا، فإنه يمكن القول بأن الكمية الغالبة تقريبا هي للسيلولوز بنسبة تتراوح بين 30-40% وقد تكون أكبر في بعض الأحيان كما هو الحال في القطن. نسبة اللجنين تتراوح ما بين 30%-10% وقد تتغير حسب نوع النبات و 20-30% نسبة الهيميسيلولوز. هذين المكونين الأخيرين اللذين هما بوليميرين غير متجانسين (hétéropolymères) يشكلان كميات متغيرة كثيرا وذلك حسب نوع النبات [23] كما أن الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للألياف الطبيعية تتعلق أيضا بالمكونات الثلاثة الهولوسيلولوز واللجنين. وهي تتغير بصورة معتبرة. هذه الخصائص تكون محددة بالتركيبة الكيميائية والبنية التي تتعلق بالمصدر الذي تستخلص منه الألياف (الأوراق، البذور أو السيقان...) [24]. عموما يشكل السيلولوز المكون الأساسي في الألياف، كما أن له البنية الأيسر في مكونات الجدار الخلوي. وبسبب بساطة السلسلة السيلولوزية



( عدم وجود أي تفرع حجمي أو معقد) فإن الماكروجزيئات تتراص بسهولة مكونة مناطق بلورية. إن السليلوز يساهم في قوة وصلابة الليف بسبب السلاسل الموجهة بشدة. الخصائص الميكانيكية للألياف الطبيعية تتعلق كذلك بنوع السليلوز، حيث أن كل نوع له بنية هندسية خاصة، والشروط الهندسية تحدد أيضا هذه الخصائص [25]. إذا كان من الممكن أن نعتبر السليلوز كعامل تقوية (عامل هيكلية)، فإنه عند ذلك يمكن للهيميسليلوز واللجنين أن يلعبا دور مادة رابطة، أما الهيميسليلوز يتكون من مونو سكاريدات وأحماض السكر. وكتلته المولية أقل بكثير من كتلة السليلوز والبعض من هذه الجزيئات يكون متشعبا، مما يجعل تكوين الشكل البلوري أمرا صعبا. وكنتيجة لهذا فإن البوليمير يكون في الهيميسليلوز من نوع لابلوري. يتميز الهيميسليلوز بأنه محب للرطوبة ويلتصق بمساحة السليلوز عبر روابط هيدروجينية. كما أن له روابط قوية مع اللجنين ويعتبر الهيميسليلوز هو المسؤول عن التحلل العضوي وامتصاص الرطوبة كما أنه من السهل التحلل حراريا. بالنسبة للجنين فهو جزيء معقد ثلاثي الأبعاد غير بلوري، ويتكون من مجموعات فينيلية، تركيبها الكيميائية غير معروفة بشكل جيد. يمتاز اللجنين بأنه كاره للرطوبة ويضفي صلابة على خلية الليف النباتي المعبأة في مناطق بلورية. كما أنه مستقر حراريا إلا أنه يتحلل تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية [26].

الجدول (1) المكونات الكيميائية لبعض الألياف النباتية [27-32]

نوع الليف	السييلوز %	اللجنين %	هيميسيليلوز %	رماد %
أرز	28-48	12-16	23-28	15-20
شعير	31-45	14-15	24-29	5-7
الذرة	33-50	16-19	27-30	2-5
تفل	32-48	19-24	27-32	1.5-5
الخيزران	26-43	21-31	15-26	1.7-5
الحلفاء	33-38	17-19	27-32	6-8
عيدان	57-77	9-13	14-17	0.8
رامي	87-91	-	5-8	-
أباك	56-63	7-9	15-17	1-3
سيزال	43-62	7-9	21-24	0.6-1
قطن	85-96	0.7-1.6	1-3	0.8-2
ذرى	40-43	13-15	28-30	-
قصب السكر	32-48	19-24	27-32	-
خشب صنوبري	40-45	26-34	7-14	<1
خشب صلب	38-49	23-30	19-26	<1

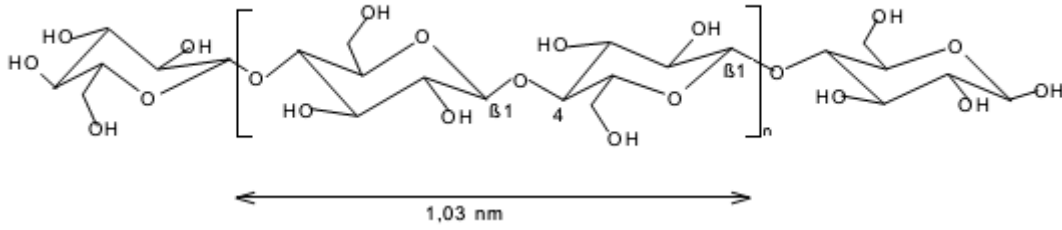
## 5.I مكونات الألياف النباتية

### 1. 5.I السليلوز

السليلوز هو بوليمير من عائلة البوليساكاريدات، يمثل الجزيء العضوي الأكثر تواجدا على كوكبنا. يشكل السليلوز العنصر البنوي من الدرجة الأولى بالنسبة للغالبية العظمى لجدران الخلايا النباتية. كما أنه هو المكون الرئيسي للخشب والمكون الرئيسي للقطن وألياف نسجية أخرى مثل الكتان والقنب والجوت [33].

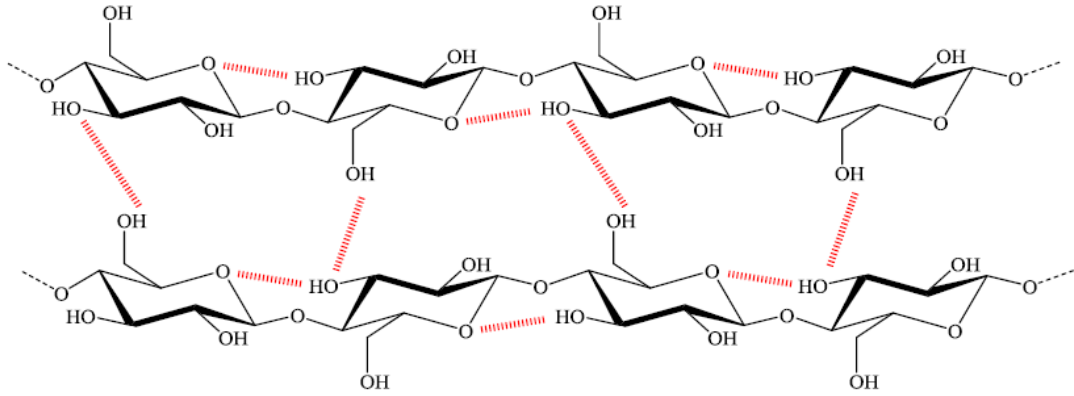
يعتبر السليلوز من البوليميرات التي تنتمي لعائلة الهيدروكاربونات وتتكون من سلسلة من مونوميرات الغليكوبيرانوز التي تتشكل من جزيئين من  $\beta$ -جليكوز. طول المونومير حوالي  $10,3 \text{ \AA}$ . كما يحتوي على هيدروكسيدات حرة (OH) في

المواقع 2، 3 و 6 من ذرات الكربون الموجودة في السلسلة الكربونية، رابطة (4 - 1)  $\beta$  كما أنه يتميز بالتشكيل الكرسي لضمان قدر أكبر من الاستقرار (الشكل 3). أما بالنسبة للمجموعات الموجودة في نهاية السليلوز فهي وظائف الكحول و الأثير.



الشكل (3) البنية الجزيئية للسليلوز

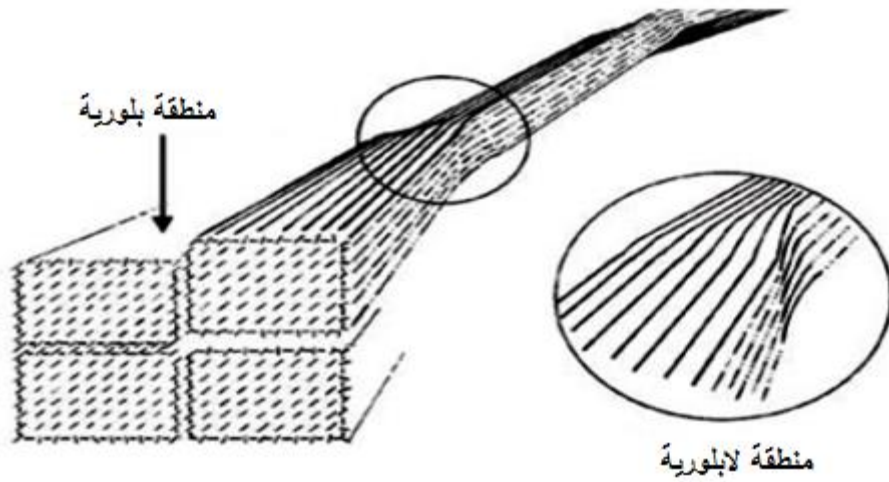
التشكيل الحلقي هو 4C، وهو ما يعني أن المجموعات الوظيفية -CH<sub>2</sub>OH، -OH، وكذلك الرابطة الغليكوزيدية كلها في موضع إستوائي بالنسبة للمستوى الوسطي للحلقة. السلسلة المجهرية لجزيئات السليلوز هي خطية وتكوّن روابط هيدروجينية داخل وبين الجزيئات مؤدية بذلك إلى تشكيل ليفيات مجهرية (الشكل 4).



الشكل (4) الروابط الهيدروجينية داخل وبين الجزيئات في ليف السليلوز

في حالة السليلوز النقي، تكون البنية الجزيئية تقريبا منتظمة تماما، حيث لا توجد بها عيوب إلا بنسبة واحد في الألف تقريبا. مركز هاته الألياف المجهرية يكون شديد التبلور بينما السلاسل السطحية هي ذات طبيعة أكثر عشوائية وتتكون من مناطق شبه بلورية. هاته المناطق، وكذلك العيوب البلورية الناتجة عن التحلل الحيوي للسليلوز تشكل الطور اللابلوري للسليلوز. إذن يمكن القول بأن الألياف المجهرية للسليلوز تتكون من مناطق بلورية منتظمة تماما وأخرى لا بلورية، وبالعكس هاته الأخيرة هي مناطق غير منتظمة كلية (الشكل 5) [34،35]. في الحالة الأصلية، فإن الترتيب البلوري للسلاسل الفردية على مستوى الليفيات الفردية هو الذي يحدد بلورية السليلوز. وحسب المعالجات التي يخضع لها السليلوز الأم، فإن ترتيبات بلورية أخرى يمكن أن تحدث

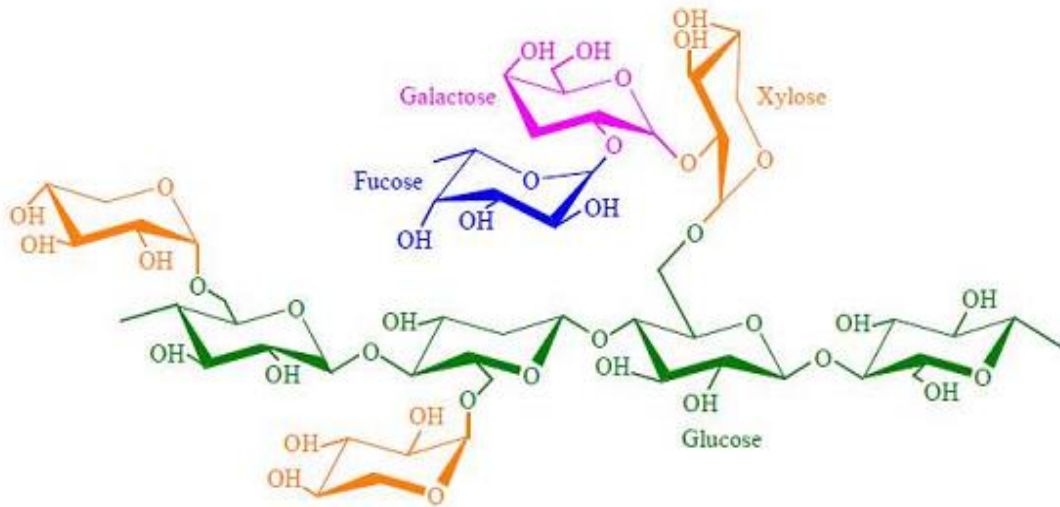
[36]



الشكل (5). رسم تخطيطي يبين المناطق البلورية والابلورية في ليف مجهري.

### 2.5.I الهيميسيلولوز

بالنسبة للهيميسيلولوز ليس له شكل السيليلوز. يضم مجموعة من متعدد السكريات تتكون من ارتباط مجموعة من الحلقات ذات 5 و 6 من ذرات الكربون كما يوضحه الشكل 6. يشكل الهيميسيلولوز المصنوفة الحاملة للييفات السيلولوز [37] كما أنه يختلف عن السيلولوز من ثلاثة جوانب: الأولى أنه يتكون من سكريات متعادلة وهي الكزيلوز، أرابينوز، الجالكتوز والجلوكوز، المانوز، وأحماض الإيرونيك (Uronic) في حين أن السيلولوز لا يحتوي سوى على وحدات من  $D\beta-4,1$ -جلوكوبيرانوز. الثانية أنه يمثل درجة كبيرة من الروابط التي تحتوي على مجموعات جانبية من أصلها ذات طبيعة غير بلورية. وأخيرا ففي حالته الطبيعية، لديه درجة من البلمرة تتراوح بين 50 و 300، في حين أن السيلولوز الأصلي هو أعلى من 10-100 مرة من الهيميسيلولوز. كما أن هذا الأخير هو محب للرطوبة بشدة وقابل للذوبان في الوسط القلوي، ويتميز بسهولة في الأحماض [38،39]. بالإضافة إلى ذلك فإن الهيميسيلولوز لديه بنية كيميائية مختلفة جدا وذلك حسب مصدر النبات، النوع الخلوي، الموقع في الجدار أو حتى سن الأنسجة. من بين الهيميسيلولوزات الأكثر شيوعا لجدار خلايا الخشب توجد عائلات الزيلان، المنان وغالاكتان. قسم الهيميسيلولوز الأحسن دراسة يوافق إلى الكزيلوجليكانات (الشكل 6). تتكون من سلسلة من الجلوكوز وسلاسل جانبية قصيرة من الزيروز، فوكوز وسكر اللين [40]

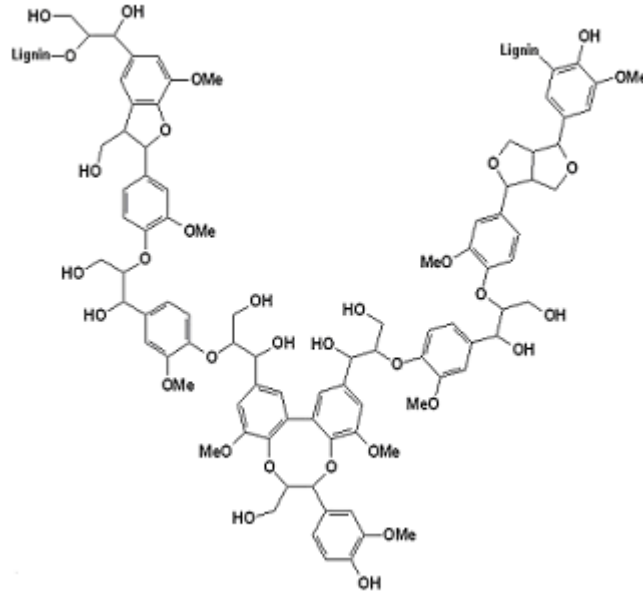


الشكل (6). بنية من نوع الكزيلوجليكان [40]

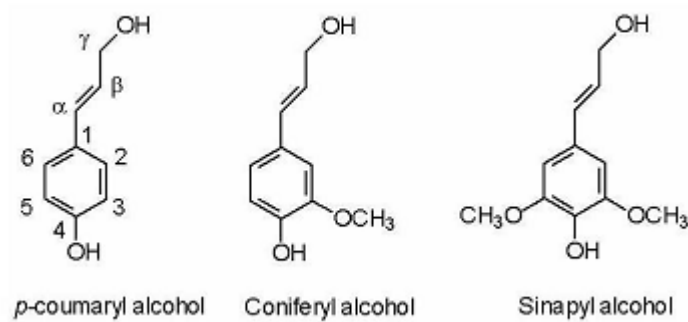
## 3.5.I. اللجنين

اللجنين هو جزيء غير متجانس للغاية يتكون من البوليمرات العطرية. ويعتبر بعد السكريات، البوليمر الطبيعي الأكثر وفرة على الأرض. كما أنه يساهم في الصلابة البنوية للجران الخلوية ويحمي النباتات من أن تهاجم بواسطة الكائنات الحية المسببة للأمراض. كما أنه يتوزع في كل شيء في الجدار الخلوي الثانوي مع التركيز الأكبر في الوسط حوالي 70 % منه يكون موجود في الجدار الثانوي. ويعتبر اللجنين في النباتات بمثابة إسمنت في المصفوفة سيليلوز / هيميسيليلوز. لذلك عادة ما يوصف بأنه هو المادة اللاصقة لجدار خلوية النبتة. كما يشارك أيضا في تشكل الهيميسيليلوز [41].

اللجنين عبارة عن جزيء ذو ثلاث أبعاد يتكون من وحدات فينيل بروبان ( الشكل 7). الوحدات الأساسية (monolignols) التي تشكل اللجنين هي الكحول الكونيفيريليك، الكحول سينابيليك والكحول الكوماريليك ( الشكل 8). أثناء تشكل اللجنين، فإن الفينول أو أكسيدات النباتية مثل اللاكاز (laccases) تتدخل وتسمح باللمرة لمختلف الوحدات الأساسية. وبمجرد تشكلها، فإن اللجنين يرتبط مع مختلف البولي سكاريدات ليشكل مصفوفة تؤدي بدورها إلى بناء الجدار النباتي [42].



الشكل (7). مخطط تمثيلي للجنين [42]

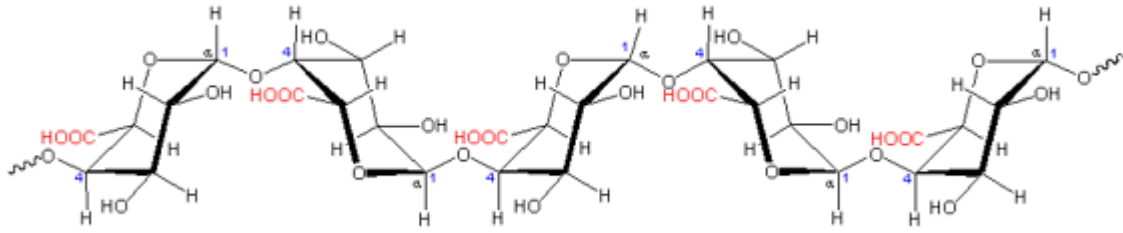


الشكل (8). البنى المكونة للجنين

يتميز اللجنين بأنه غير متبلور تماما وكاره للرطوبة. لايتحلل بواسطة الأحماض، ولكن يذوب في الصودا الساخنة ويتأكسد ويتكثف بسهولة مع الفينول [43-46].

## 4.5.I البكتينات

البكتينات هي بوليميرات لمتعدد سكاريدات حمضية لامتجانسة، حيث تكون السلسلة الأساسية من مونومير لحمض الأورونيك مرتبط في 1-4 (الشكل 9) وتوجد عموماً في الجدران الخلوية الأولية للألياف النباتية (معدا الخشب) وكذلك في الصفحة الوسطى. إن بنية البكتينات تتعلق بصنف النبات والنسب لمختلف الأنواع تتغير حسب وضعيتها في الجدران الخلوية [47]. وتعتبر البكتينات هي المركبات الأكثر هيدروفيلية في الألياف النباتية بسبب وجود مجموعات حمض الكربوكسيليك، وهي تضمن الالتصاق بين مختلف الخلايا [48]. تستخلص من الألياف بطريقة كيميائية، سواء بالماء المغلي [49] أو بحمض إيثيلين ديامين تترأ أسيتيك (EDTA) [50].



الشكل (9) بنية سلسلة من البكتين (حمض البولي جالاكتونيك)

بالنسبة لنبات الحلفاء فإن البكتينات توجد في السيقان وتلعب دور رابط لحزمة الألياف كما أن بنيتها مشابهة كثيراً لتلك التي في الهيميسيلولوز. وبالإضافة إلى ذلك، أثناء نضج الثمار، فإن البكتينات غالباً ما تتحول إلى هيميسيلولوز، مما يدل على التشابه في بنيتها. إلا أن الفرق بين البنية الكيميائية للبكتينات وبنية الهيميسيلولوزات هو أن البكتينات تحمل مجموعات كربوكسيل ( $-COOH$ ) في حين أن الهيميسيلولوز ليس كذلك. إضافة إلى ذلك فإن ترتيب البكتينات مشابه لترتيب السيليلوز، بمعنى سلاسل خطية بفضل دوران المونوميرات بالنسبة للمونيميرات المجاورة [51].

## 5.5.I المواد غير العضوية

المكون غير العضوي يساهم عادة في تكوين الرماد والذي هو عبارة عن بقايا الأملاح المعدنية والمواد غير العضوية التي يتم الحصول عليها بعد احتراق الألياف عند درجة حرارة تساوي  $25 \pm 575$  درجة مئوية. يمكن أن يكون المحتوى المعدني مرتفعاً في النباتات التي تحتوي على كمية كبيرة من السيليكا [52,53]. يوضح الجدول (2) التركيب الكيميائي لبعض الألياف النباتية [54].

الجدول ( 2 ) أمثلة على التركيب الكيميائي للألياف النباتية

رماد %	هيميسيليلوز %	اللجنين %	السليولوز %	
15-20	23-28	12-16	28-48	أرز
5-7	24-29	14-15	31-45	شعير
2-5	27-30	16-19	33-50	الذرة
1.5-5	27-32	19-24	32-48	تفل
1.7-5	15-26	21-31	26-43	الخيزران
6-8	27-32	17-19	33-38	الحلفاء
0.8	14-17	9-13	57-77	عيدان
-	5-8	-	87-91	رامي
1-3	15-17	7-9	56-63	أباكا
0.6-1	21-24	7-9	43-62	سيزال
0.8-2	1-3	0.7-1.6	85-96	قطن
-	28-30	13-15	40-43	نرى
-	27-32	19-24	32-48	قصب السكر
<1	7-14	26-34	40-45	خشب صنوبري
<1	19-26	23-30	38-49	خشب صلب

### 6.5.I. الشموع

الشموع هي ليبيدات توجد في طبقة رقيقة خارج السيقان. ولها عدة وظائف مثل المقاومة الفيزيائية ضد الظروف البيئية غير الملائمة والحشرات. بنية الليبيدات يمكن أن تكون جد معقدة ولكن من بين الليبيدات الأكثر شيوعا توجد الهيدروكاربونات (C35-C21)، أسترات الشمع (C34-C62)، السيتونات (C23-C33)، الكحولات (C22-C33) والأحماض الدسمة (C16-C32) [55]. يمكن لبنية ومكونات طبقة الشموع أن تتغير على طول النبات والساق. كما يمكن استخلاص الليبيدات بواسطة محاليل عضوية. تتكون هذه المواد من أنواع مختلفة من الكحول غير قابلة للذوبان في المياه والأحماض المختلفة مثل حمض البالميتيك، حامض إنتاج الزيت (l'acide oléagineux) وحمض الستياريك [56]. تتميز الشموع بأنها هيدروفوبية تماما، ومقاومة للماء والغاز كلية. مما يحد من نتج النباتات، فهي التي تحمي خلية النبات من فقد الماء.

### 6.I. الخصائص الميكانيكية للألياف النباتية

الخصائص الميكانيكية لبعض الألياف الطبيعية مقارنة بالألياف الزجاج المستعملة في أغلب الأحيان هي مبينة في الجدول (3). ومن خلال هذا الجدول يتبين التشابه في معامل يونغ بين الألياف الطبيعية والزجاجية، بينما مقاومة الشد لألياف الزجاج أكبر منها في الألياف الطبيعية، ومع ذلك فإن المعامل النوعي (معامل / الثقل النوعي) لكل من الزجاج والألياف الطبيعية قابل للمقارنة، وفي بعض الحالات، تكون قيمة الألياف الطبيعية أفضل من الألياف الزجاجية. تعتبر هذه الخصائص النوعية العالية

جدا هي واحدة من المزايا الرئيسية التي تجعل الألياف الطبيعية تستخدم كتعزيز في مركبات البوليمير للتطبيقات التي من بين أهدافها هو الحد من الوزن.

الجدول (3) الخصائص الميكانيكية لبعض الألياف الطبيعية [57]

الكثافة (g/cm <sup>3</sup> )	الاستطالة عند الكسر %	معامل يونغ (E) (Gpa)	إجهاد الشد (O) (MPa)	الليف
1.5	10-3	12	400	الأبাকা
0.89	5.8	22	350	الحلفاء
1.25	-	17	290	ثفل قصب السكر (Bagasse)
1.1-0.6	-	17-11	230-140	الخيزران
1.35	5.9	12	500	الموز
1.2	30	6-4	175	جوز الهند
1.6-1.5	8-7	12.6-5.5	597-287	القطن
1.4	4.3-3.7	11.8	500	الكوراوا (Curaua)
1.2-1	4.5-2	5.4-2.5	196-97	النخيل
1.5	2.7-3.2	27.6	345	الكتان
1.48	1.6	70	690	القنب (Hemp)
1.2	1.1±4.8	3.1±13.2	70±500	Henequen
1.3	1.8-1.5	26.5	773-393	الجوت
-	1.6	53	930	التيل (Kenaf)
1.55-0.7	25	3.2	248	زيت النخيل
1.6-0.8	14.5	1.44	627-400	الأناناس
1.5	2.5	24.5	560	الرامي
1.5	2.5-2.0	22-9.4	635-511	السيزال

#### 7.I المقارنة بين الخصائص الميكانيكية للألياف الطبيعية والاصطناعية

رغم كون الخصائص الميكانيكية للألياف الطبيعية أقل من نظيرتها الاصطناعية، إلا أن الألياف الطبيعية تستعمل كتعزيز في المواد المركبة. وقد تم استخدامها في بعض التطبيقات التي تتطلب بعض الخصائص مثل الانحناء و التوتر كما هو الحال بالنسبة للقوائم المستخدمة في المقاعد [58]. الجدول (4) يظهر بعض الخصائص الميكانيكية لمجموعة من الألياف النباتية والاصطناعية [59-62].

الجدول (4). الخصائص الميكانيكية لبعض الألياف الطبيعية والاصطناعية.

استطالة القطع (%)	معامل يونغ (GPa)	معامل الشد (MPa)	القطر (µm)	الكتلة الحجمية (g/cm <sup>3</sup> )	نوع الألياف
8-7.1	26.5-13	773-393	200-20	1.45-1.3	الجوت
3.2-2.7	27.6	1100-45	-	3-1.5	الكتان
1.6	-	690	-	-	القنب
3.8-1.2	128-61.4	938-400	-	1.5	الرامي
7-3.1	22-9.4	640-468	200-50	1.45	السيزال
1.6	82.51-34.5	1627-413	80-20	-	النخيل
8-7.1	12.6-5.5	800-287	-	1.6-1.5	القطن
40-15	6-4.1	175-131	450-100	1.15	جوز الهند
2.5	70	3500-2000	-	2.5	ألياف الزجاج

2.8	86	4570	-	2.5	ألياف الفولاذ
3.7-3.3	67-63	3150-3000	-	1.4	الأراميد
1.8-1.4	240-230	4000	-	1.7	ألياف الكربون

كون الألياف الطبيعية هي أقل تكلفة و أقل ضررا على البيئة من الألياف الاصطناعية [63] ، فهذا يرشحها لأن تكون بديلا عن نظيرتها الاصطناعية، يمكن القول بأن الألياف الطبيعية تحتل مكانة جيدة للغاية يمكن أن تنافس الألياف الاصطناعية والجدول (5) يلخص مزايا الألياف الطبيعية مقارنة بالاصطناعية.

بالنسبة للجوانب البيئية التي تؤخذ بعين الاعتبار، هو كون الألياف الطبيعية عادة يكون لها رصيد صاف من كمية غاز CO<sub>2</sub> المنبعث أقل منها في الألياف الاصطناعية [63]. وتستهلك طاقة أقل أثناء التصنيع، وهي قابلة للتحلل الحيوي وضررها على الأجهزة المستعملة في التصنيع عادة ما يكون أقل منها عند استعمال الألياف الزجاجية أو الكربون [64]. وثمة نقطة أخيرة للمقارنة هي كثافة الألياف الطبيعية التي تكون عادة أقل من الألياف الاصطناعية. هذا العامل يمكن أن يكون عنصرا رئيسيا بالنسبة لقطاع النقل ، حيث كون تخفيض الوزن يعني انخفاض في استهلاك الطاقة.

#### الجدول (5) المقارنة بين الألياف الطبيعية وألياف الزجاج [65]

الخصائص	الألياف الطبيعية	ألياف الزجاج
الكتلة الحجمية	ضعيفة	ضعف الألياف الطبيعية
التكلفة	ضعيفة	ضعيفة ولكن أكبر من الألياف الطبيعية
قابلة للتجديد	نعم	لا
قابلة للاسترجاع	نعم	لا
استهلاك الطاقة	ضعيف	مرتفع
التوزيع	عريض	عريض
كربون- حيادي	نعم	لا
إتلاف الماكينات	لا	نعم
خطر الصحة	لا	نعم
التحلل الحيوي	نعم	لا

#### 8.I نبات اللوفا

اللوفا هو من جنس نباتي متسلق، ينتمي إلى عائلة القرعيات [66]، ويطلق عليه عدة أسماء مثل: القرع الاسفنجي، الاسفنج النباتي، القرع الاسطواني، اسفنج الحمام، و إسفنج المطبخ [67]. يوجد بكثرة في الصين، اليابان، الهند، أمريكا الوسطى والجنوبية، وكذلك دول أخرى في آسيا [68].

طول ساقه يصل من 5 إلى 15 م ، أوراقه متبادلة خماسية التفصيص يصل طولها من 13 إلى 30 سم ، أزهاره صفراء اللون وتفتح من شهر سبتمبر إلى غاية شهر ديسمبر ، ثماره اسطوانية الشكل يصل طولها من 15سم إلى 1.5 م، ومتوسط قطرها يتراوح من 8 سم إلى 10 سم، كما أن ثماره ينتج حوالي 30 بذرة خلال مرحلة النضج [69-71].  
و الشكل(10) يظهر مراحل تطور نبات اللوفا [72].





(أ)



(ب)



(د)



(ج)

الشكل (10) مراحل تطور نبات اللوفا.

### I. 1.8. التسمية والتصنيف النباتي

الاسم الشائع: يعرف نبات القرع باسم اللوفا أو الليف (Luffa)

أما اسمه العلمي فيسمى : *Luffa aegyptiaca* L.

كما يمكن أن يصنف هذا النوع من النبات وفق الجدول (6) [73].

### الجدول (6). تصنيف نبات اللوفا

المملكة (Règne)	النبات Plantae
تحت المملكة ( Sous Règne )	تراكيوبونتا Tracheobionta
الشعبة (Division)	ماغنوليوفيتا Magnoliophyta
القسم (Classe)	ماغنوليوبسيديا Magnoliopsida
الرتبة (Ordre)	القرع Cucurbitales
العائلة (Famille)	القرعيات Cucurbitaceae
النوع (Genre)	اللوفا Luffa

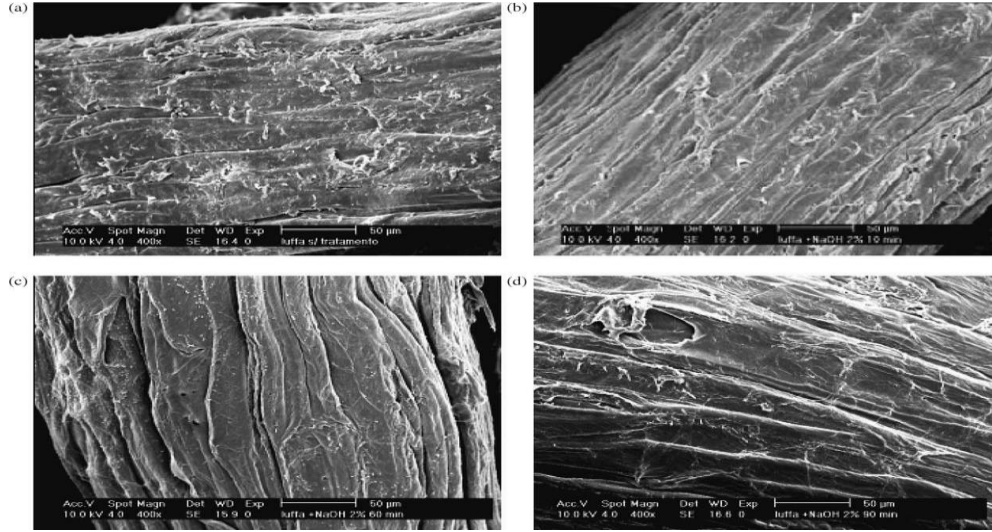
Luffa aegyptiaca L.

الصف (Espèce)

## 2.8.I. تأثير المعالجة على نبات اللوفا

## 1.2.8.I. المعالجة القلوية

تمت دراسة تأثير المعالجة القلوية لنبات اللوفا من قبل تانوب ورفقاؤه [74] وذلك بغمر ألياف اللوفا في محلول من هيدروكسيد الصوديوم NaOH تركيزه 2% عند أزمنة مختلفة (10 دقائق، 60 دقيقة، و 90 دقيقة). وبإجراء اختبار جهاز المسح الالكتروني للعينات المعالجة، ومن خلال الشكل (11) يظهر تغير في سطح اللوفا المعالج مقارنة مع سطح ألياف اللوفا غير المعالج، كما يلاحظ أن هناك فجوات خاصة عند الزمن 90 دقيقة دلالة على فعالية المعالجة الكيميائية وتأثيرها على الألياف مقارنة مع سطح ألياف اللوفا الغير معالج الذي يظهر سطحه متجانسا وخشن دلالة على أن الألياف المذكورة غنية باللجنين، الدهون و الشموع.



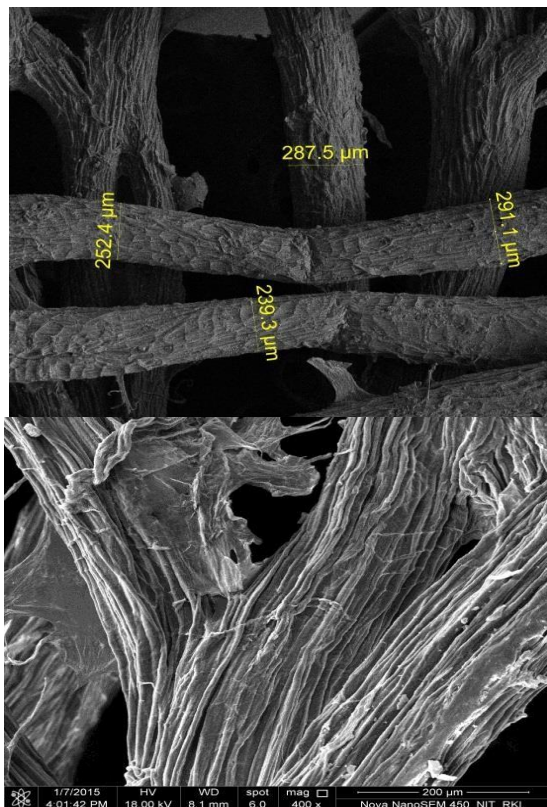
11: صور  
لتأثير  
المعالجة ب  
NaOH

الشكل ( )  
مجهرية

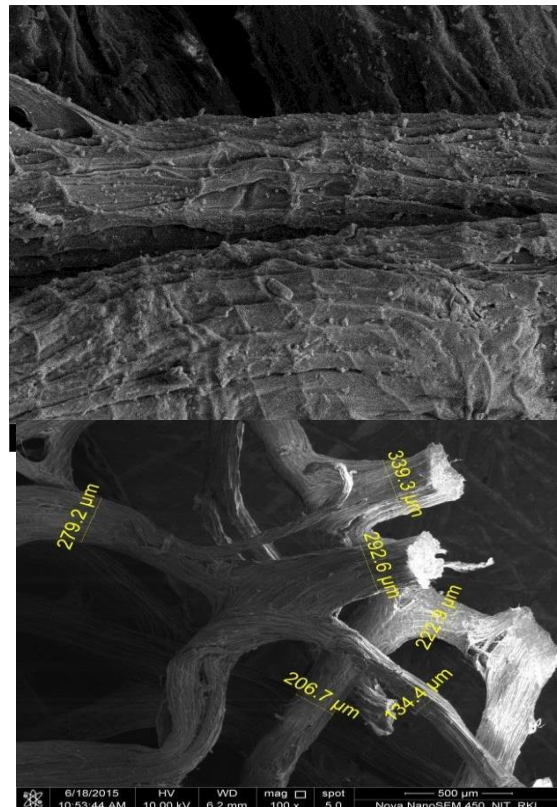
(a) ألياف اللوفا غير المعالجة، والألياف المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم لمدة 10 دقائق، (b) 60 دقيقة، و (d) 90 دقيقة.

## 1.2.2.8.I. المعالجة بيرمنغنات البوتاسيوم

هناك دراسة أخرى تمت من قبل كاو ورفقاؤه [76]، لمعالجة ألياف اللوفا بمحلول من برمنغنات البوتاسيوم، حيث تم غمس ألياف اللوفا المعالجة بـ NaOH (5%) في محلول من  $KMnO_4$  تركيز 0.05% مع الأستون لمدة دقيقة واحدة، ثم غسلها جيدا بالماء المقطر، و بعد ذلك تجفف الألياف في الهواء الجوي. تم إجراء اختبار على جهاز المسح الالكتروني لإظهار البنية المورفولوجية للعينات قبل المعالجة وبعد المعالجة. يشير الشكل (12) الخاص بالعينة غير المعالجة إلى وجود طبقة شمعية غير متبلورة هذا مما يؤدي إلى ضعف التصاق الألياف بالمصفوفة [75]. أما الشكل (13) الذي يوضح سطح ألياف اللوفا المعالجة بالبرمنغنات فإن سطح الألياف قد أزيلت منه جزء من الطبقة الصمغية، الشمعية وذلك بسبب المعالجة الكيميائية مقارنة بالألياف غير المعالجة. ومما يؤكد ذلك ظهور فجوات في بنية الألياف التي تزيد من مساحة سطح الألياف. كما تم إيجاد نفس الملاحظات من قبل العديد من الباحثين على أنواع مماثلة للألياف المعالجة الأخرى مثل السيزال والكتان وما إلى ذلك، وقد وجد أيضًا أن المعالجة الكيميائية تقلل أيضًا من قطر الألياف [77-80].



الشكل(12): صور مجهرية لألياف اللوفا غير المعالجة



الشكل(13): صور مجهرية لألياف اللوفا المعالجة بـ KMnO4

### 3.8. I. خصائص ومجال استعمال ألياف اللوفا

من خلال دراسة عامة لألياف اللوفا وجد الباحث مويكامبو ورفقاؤه [81] ، أن هذه الألياف تُظهر صلابة وقوة وقدرة امتصاص للماء عالية مقارنة مع الألياف الطبيعية الأخرى، ومن المثير للاهتمام أن معظم هذه الألياف تحتوي على كمية من السليلوز تقدر بـ 55-90 %، الهيميسليلوز 22-8 %، اللجنين 23-10 % ، الرماد 0.4 % ، والمستخلصات الأخرى 3.2 % وهذا يجعلها مواد تعزيز مناسبة للمصفوفات البوليميرية [82، 83].

تستعمل ألياف اللوفا في عدة مجالات من بينها:

- ✓ تعزيز البوليميرات [84].
- ✓ معالجة مياه الصرف الصحي [85].
- ✓ تدخل في صناعة المواد الاسمنتية [86].
- ✓ تستعمل كمادة مساعدة لامتصاص الألوان في المحاليل [87].
- ✓ تعمل على امتصاص الصدمات كما أنها عازلة للصوت [87].
- ✓ كونها تتميز بفجوات في تكوينها الطبيعي فهي منسوجة فإنها تستعمل في تنظيف الأواني [88].
- ✓ تستعمل كمرشحات في المصانع [89].
- ✓ تدخل في صناعة بعض أجزاء السيارات وكذلك الأحذية [90-93].

## المراجع

- [1] N. Martin, N. Mouret, P. Davies et C. Baley, « Influence of the degree of retting of flaxfibers on the tensile properties of single fibers and short fibre/polypropylene composites ». Industrial crops and products, (2013), Vol. 49, pp. 755– 767.
- [2] BodrosE, Pillin I, MontrelayN, BaleyC. Could biopolymers reinforced by randomly scattered flax fibre be used in structural applications, Compos Sci Technol 2007;67:462.
- [3] Bos HL, Mussig J, Oever VD, Martien JA. Mechanical properties of short-flax-fibre reinforced compounds. Compos Appl Sci Manuf 2006;37(10):1591e604.
- [4] Wambua P, Ivens J, Verpoest I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? Compos Sci Technol 2003;63(9):1259.
- [5] S.I. Kanitporn, P. Koombhongse, S. Chirachanchai, Starch grafted poly(-butylene succinate) via conjugating reaction and its role on enhancing the compatibility, Carbohydr. Polym. 102 (2014) 95.
- [6] D. Liu, Z. Qi, Y. Zhang, J. Xu, B. Guo, Poly(butylene succinate) (PBS)/ionic liquid plasticized starch blends: preparation, characterization, and properties, Starch/Stärke 67 (2015) 802e809.
- [7] H. Luo, G. Xiong, C. Ma, P. Chang, F. Yao, Y. Zhu, C. Zhang, Y. Wan, Mechanical and thermo-mechanical behaviors of sizing-treated corn fiber/polylactide composites, Polym. Test. 39 (2014) 45e52.
- [8] Y.N. Wang, Y.X. Weng, L. Wang, Characterization of interfacial compatibility of polylactic acid and bamboo flour (PLA/BF) in biocomposites, Polym. Test. 36 (2014) 119e125.
- [9] Elisabete Frollini, Nadia Bartolucci, Laura Sisti, Annamaria Celli, Biocomposites based on poly(butylene succinate) and curaua: mechanical and morphological properties, Polym. Test. 45 (2015) 168e173.

- [10] K. Kaewtatip, J. Thongmee, Studies on the structure and properties of thermoplastic starch/luffafiber composites, Mater. Des. 40 (2012) 314e318
- [11] C. Baley « Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites » Techniques de l'Ingénieur. Ref. AM. 5 130.
- [12] Y. Arao, T. Fujiura, S. Itani et T. Tanaka, « Strengthimprovement in injection-moldedjute-fiber-reinforcedpolylactide green-composites ». Composites Part B: Engineering,(2015), Vol.68, pp. 200–206.
- [13] G.H.D. Tonoli, U.P. Rodriguez Filho b, H. SavastanoJr. c, J. Bras d, M.N. Belgacem d, F.A. Rocco Lahr ‘‘Cellulose modified fibres in cement based composites’’, Composites: Part A 40 2046–2053.2009
- [14] F. Michaud, ‘‘Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage’’ thèse Phd, univ Laval 2003.
- [15] FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations(2010)
- [16] J. Vallade « Structure et développement de la plante. Morphogénèse et biologie de la reproduction des angiospermes», Dunod, Paris(1999)
- [17] K. Persson « Micromechanical modelling of wood and fibre properties », PhD thesis, Department of Mechanics and Materials - Lund University(2000)
- [18] D. Klemm, B. Philipp, T. Heinze, U. Heinze, W. Wagenknecht « Comprehensive cellulose chemistry », Fundamentals and analytical Methods. Weinheim: Wiley-VCH, Vol 1 (1998)
- [19] H.A. Krässig « Cellulose: Structure, Accessibility and Reactivity, Polymer Monographs», Gordon and Breach Science publisher, New York, vol 11(1993)
- [20] 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 », Shirley Institute Pamphlet 93, St Ann's Press, England(1966)
- [21] A. Béakou, R. Ntenga, J. Lepetit, J.A. Atéba, and L.O. Ayina «Physico-chemical and microstructural characterization of "rhectophyllum camerunense" plant fiber»,Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol 39(1), pp.67-74, (2008)
- [22] A. J. Panshin and C. de Zeeuw. Textbook of Wood Texchnology Vol 1,3rd edition. Mc Graw-Hill(1970)
- [23] E.C. McLaughlin, R.A. Tait « Fracture mechanism of plant fibres », Journal of Materials Science, Vol. 15, pp. 89–95(1980)
- [24] D.H. Page, F. El-Hosseiny, «The mechanical properties of single wood pulp fibres. Part VI: Fibril angle and the shape of the stress-strain curve», Journal Pulp and Paper Science, Vol. 9, pp. 99–100(1983)

- [25] M. D. Hossen Beg «The Improvement of Interfacial Bonding, Weathering and Recycling of Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites», Thèse de doctorat, University of Waikato, Hamilton, New Zealand(2007)
- [26] J. Reguant & M. Rinaudo « Etude bibliographique sur les matériaux issus de la biomasse végétale» ,Centre national de la recherche scientifique sur les macromolécules végétales, 1/09/98 - 31/05/99
- [27] L.Yan,Y.W.Mai, and L. Ye « Sisal fibre and its composites: are view of récent developments», Composites Science and Technology, vol.60, pp.2037-2055(2000)
- [28] A. K. Bledzkiand Gassan « Composites reinforced with cellulose based fibres» Progress in Polymer science, vol.24, pp.221-274(1999)
- [29] R. M. Rowell, A. R. Sanadi, D. F. Caulfield and R. E. Jacobsen «Utilization of natural fibres in plastic composites: problems and opportunities, in: Lignocellulosic-Plastic Composites», A. L. Leão, F. X. Carvalho and E. Frollini (Eds), pp. 23–51. São Paulo, USP and UNESP (1997)
- [30] M. R. Roger «Composite Materials from Agricultural Resources", Research in industrial application of non food crops, I: plant fibres: Proceedings of a seminar Copenhagen.Lyngby, Denmark Academy of Technical Science: pp.27-41. Denmark (1995 May).
- [31] G. M. Ganjyal et al. J. Appl. Poly. Sci,Vol. 93, pp. 2627–2633(2004)
- [32] N. Reddy and Y. Yang. Polymer Preprints (American Chemical Society, Division of Polymer Chemistry), Vol 45(2), pp. 411(2004)
- [33] P. Majumdar and S. Chanda. J. Agric. Biochem.Vol 14 (1) &(2), pp.29–33(2001)
- [34] P. K. Banerjee et al. Indian J. Fibre. Text. Vol 27, pp.111–116(2002)
- [35] M.J. John, R.D. Anandjiwala, «Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites», Polymer Composites, Vol 29(2), pp.187-207 (2008)
- [36] A.A. Klyosov, Wood-Plastic Composites. New Jersey, Wiley Inter science(2007)
- [37] S. Kalia, , B.S. Kaith, , I. Kaur, «Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites» - A review. Polym. Eng. Sci., Vol 49, pp.1253-1272(2009)
- [38] Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I. «Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? » Comp. Sci. Tech, Vol 63, pp.1259-1264(2003)
- [39] R. F. Robert «Bast and other plant fibres», Cambridge, Angleterre : Wood head Publishing Limited in association with The Textile Institute (2005)
- [40] E. Sjöström, «Wood chemistry: fundamentals and applications», Academic Press Inc., 2nd edition, San Diego, CA, USA, pp. 1-20(1993)

- [41] N. Joly, «Synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenues par acylation et réticulation de la cellulose », thèse doctorat de l'université de Limoges, chimie des substances Naturelles(2003)
- [42] D.Sedan, «Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composites », Thèse doctorat de l'université de limoges, matériaux céramiques et traitement de surface, (2007)
- [43] M. Nicolas Le Moigne «Mécanismes de gonflement et de dissolution des fibres de cellulose » Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris(2008)
- [44] R. Suganti «Preparation and properties of kenaf bast fiber filled (plasticized) poly(lactic acid) composites» these Master(2008)
- [45] R.M.Rowell, J.S. Han and Jeffrey S. Rowell « Characterization and factors effecting fiber properties» , Natural polymers and agro fibres based composites, Sàncarbo-brazil., pp 115-135(2000)
- [46] E. Alarcón-Gutiérrez «Influence de facteurs abiotiques sur la régulation des paramètres microbiens impliqués dans la dégradation de la matière organique d'une litière forestière méditerranéenne », Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Paul Cézanne(2007)
- [47] D.Thi Thu Loan «Investigation on jute fibres andtheir composites based on polypropylene and epoxy matrices » Thèse de doctorat, Université de Dresden(2006)
- [48] K.S akakibara, «A structural model of softwood lignin, Wood Science and Technology, Vol 14, pp.89-100(1980)
- [49] Y. Tamaki, T. Konishi, and M. Fukuta, M.and Tako «Isolation and structural charac-terisation of pectin from endocarp of citrus depressa», Food Chemistry, Vol 107(1), pp.352-361, (March 2008)
- [50] C. Rihouey, C. Morvan, I. Borissova, A. Jauneau, M. Demarty, and M. Jarvis. «Structural features of cda-soluble pectins from ax hypocotyls», Carbohydrate Polymers, Vol 28(2), pp.159-166(1995)
- [51] E.A. Davis, C. Derouet, C. H. Du Penhoat, and C. Morvan. «Isolation and an n.m.r.study of pectins from ax (linum usitatissimum l.) », Carbohydrate Research, Vol197, pp. 205- 215(1990)
- [52] R.H. Peters «Textile Chemistry II: Impurities in Fibres; Purification of Fibres», First edition, Elsevier publishing company, pp.374(1967)
- [53] Dubis E.N., Dubis A.T., Morzycki J.W., «Comparative analysis of plant cuticular waxes using HATR FT-IR reflection technique», Journal of Molecular Structure, pp.511-512, 173-179(1999)
- [54] A.K. Bledzki, J. Gassan «Composites reinforced with cellulose based fibres», Prog. Polym. Sci. Vol 24, pp.221-274(1999)

- [55] M. Benchrik and S. Lakhdhari « Contribution à l'étude de l'entomofaune de la nappe alfatière de la région de Zaafrane. W.Djelfa », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agropastoralisme, Centre Universitaire Ziane Achour Djelfa (2002)
- [56] O. Akchiche, M. K. Boureghda, «Esparto Grass (Stipa Tenacissime L.), raw material of papermaking», First Part, Chimija rastitel'no go syr'ja, Vol 4, pp.25-30(2007)
- [57] M. Rhanem « L'alfa (Stipa tenacissima L.) dans la plaine de Midelt (haut bassin versant de la Moulouya, Maroc) –Éléments de climatologie », Physio-Géo [En ligne], Vol 3 (janvier 2009)
- [58] M.C. Paiva, I. Ammar, A.R. Campos, R.B. Cheikh, A.M. Cunha « Alfa fibres : Mechanical, morphological and interfacial characterization», Composites Science and Technology, Vol 67, pp.1132-1138(2007)
- [59] M. Harche, D. Bounaga «Etude comparative du tissu fibreux dans la feuille d'alfa- Stipa tenacissima L.», Bull Soc. – Hist. Nat. Alger, pp.113-120(1979)
- [60] B. Bouiri, M. Amrani « Production of dissolving grade pulp from Alfa», Bioresources, Vol 5(1), pp.291-302(2009)
- [60] A. Bessadok, S. Roudesli, S. Marais, N. Follain, L. Lebrun «Alfa fibres for unsaturated polyester composites reinforcement: Effects of chemical treatments on mechanical and permeation properties, Composites», Part A, Vol 40, pp.184-195(2009)
- [62] S. Ben Brahim and R. Ben Cheikh « Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional Alfa-polyester composite», Composites Science and Technology, Vol 67(1), pp.140-147 (2007)
- [63] B.Vermeulen «Réalisation de prothèses orthopédiques en fibres naturelles: Des matériaux composites de fibres de verre substitués par des composites de fibres d'Alfa», Le Journal de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles, Fil d'Ariane N°:24 (Mai 2008)
- [64] N. Fulleringer et B.Ponsard « Utilisation des plantes annuelles en papeterie » (2009)
- [65] Atrat, P., Hösel, P., Richter, W., Meyer, H. W., et Hörhold, C. (1991). (Interactions Of Mycobacterium fortuitum with solid sterol substrate particles. Journal of Basic Microbiology 31, 413-422.
- [66] Yan L. J. Reinf. Plast. Compos.2012, 31, 887–896.
- [67] Saw SK, Purwar R, Nandy S, Ghose J, Sarkhel S. Fabrication, characterization and evaluation of luffa cylindrica fiber reinforced epoxy composites. BioResource 2013;8(4):4805-26.
- [68] Oboh IO, Aluyor EO. Luffa cylindrica—an emerging cash crop. African J Agric Res 2006; 4:684-8.
- [69] Roble N.D., Ogbonna J.C., Tanaka H., L-Lactic Acid Production from Raw Cassava Starch in A Circulating Loop Bioreactor with Cells Immobilized in Loofa (Luffa Cylindrica), Biotechnology Letters ,(13)25 ,p. 1093 (2003).



- [70] Oboh. I. O and Aluyor E. O. African Journal of Agricultural Research. August 2009;4 (8):684-688.
- [71] Dairo FAS, Aye PA and Oluwasola TA. Some functional properties of loofah gourd (*Luffa cylindrica* L., M.J.Roem) seed. J Food Agri Environ 2007; 5:97–101.
- [72] Sgriccia N, Hawley MC and Misra M. Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. Compo Part A: Appl Sci Manuf 2008; 39: 1632–1637.
- [73] Kirtikar, K. R, Basu, B. D. "Indian Medicinal Plants", 2<sup>nd</sup> Edn; Vol. III, International Book Distributors, Dehradun, 1973, 1583.
- [74] OA. Tanobe, Valcineide et al, A comprehensive characterization of chemically treated Brazilian sponge-gourds (*Luffa cylindrica*)." *Polymer Testing* 24.4 (2005) 474-482.
- [75] Mishra, S., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S. K & .Tripathy, S. S. (2003). Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 63(10), 1377-1385.
- [76] Cao, Y., Shibata, S., & Fukumoto, I. (2006). Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fiber before and after alkali treatments. *Composites part A: Applied science and Manufacturing*, 37(3), 423-429.
- [77] Rong, M. Z., Zhang, M. Q., Liu, Y., Yang, G. C., & Zeng, H. M. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 61(10), 1437-1447.
- [78] Bledzki, A. K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibers. *Progress in polymer science*, 24(2), 221-274.
- [79] Sreekala, M. S., & Thomas, S. (2003). Effect of fibre surface modification on water-sorption characteristics of oil palm fibres. *Composites Science and Technology*, 63(6), 861-869.
- [80] Kreže, T., Iskrač, S., Smole, M. S., Stana-Kleinschek, K., Strnad, S., & Fakin, D. (2005). Flax fibers sorption properties influenced by different pretreatment processes. *Journal of natural fibers*, 2(3), 25-37.
- [81] Mwaikambo LY and Ansell MP. Chemical modification of hemp, sisal, and kapok fibers by alkalization. *J Appl PolySci* 2002; 84: 2222–2234.
- [82] Roncero MB, Torres AL, Colom JF, et al. The effect of xylanase on lignocellulosic components during the bleaching of wood pulps. *Bio Resour Technol* 2005; 96: 30–61.
- [83] Ouajai S and Shanks RA. Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments. *Polym Degrad Stab* 2005; 89: 327–335.
- [84] Tserki V, Matzinos P, Kokkou S, et al. Novel biodegradable composites based on treated lignocellulosic waste flour as filler. Part I. Surface chemical modification and characterization of waste flour. *Compos Part A: Appl Sci Manuf* 2005; 36: 965–974.

- [85] Ray D, Sarkar BK, Rana AK, et al. Effect of alkali treated jute fibers on composite properties. Bull Mater Sci.135–129 :24 ;2001
- [86] Nordin NIAA, Ariffin H, Andou Y, et al. Modification of oil palm mesocarp fiber characteristics using superheated steam treatment. Molecules 2013; 18:9146–9132
- [87] Nair KM, Thomas S and Groeninckx G. Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres. Compos Sci Technol .2529–2519 :61 ;2001
- [88] Nguyen T, Zavarin E and Barral EM. Thermal analysis of lignocellulosic materials. Part I modified materials. J Macromol Sci – Rev Macromol Chem C1981; 21: 1–60.
- [89] Wong S, Shanks R and Hodzic A. Interfacial improvements in poly (3-hydroxybutyrate)-flax fibre composites with hydrogen bonding additives. Compos Sci Technol .1330–1321 :64 ;2004
- [90] Nair KC, Diwan SM and Thomas S. Tensile properties of short sisal fiber reinforced polystyrene composites. J Appl Poly Sci 1996; 60: 1483–1497.
- [91] Fiore V, Di Bella G and Valenza A. The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. Compos Part B: Eng 2015; 68:21–14
- [92] Tsuboi M. Infrared spectrum and crystal structure of cellulose. J of Polym Sci 1957; 25: 159–171.
- [93] Bal KE, Bal Y, Lallam A. Textile Res. J. 2004, 74, 241–247.



## الفصل الثاني

طرق معالجة الألياف النباتية وتحضير المواد المركبة

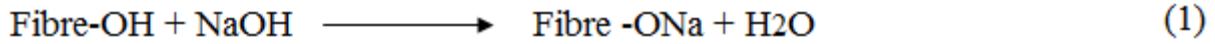
إن بنية المواد المركبة تشبه بنية الألياف النباتية، يمثل فيها السليلوز المكون الأساسي (مواد التقوية). كما أن الهيميسليلوز واللجنين يمثلان دور المصفوفة. تتحكم نسبة مواد التقوية في المواد المركبة وذلك في درجة اللبونة والقطع وغيرها من الخصائص. إضافة إلى ذلك فإن هندسة الألياف النباتية، تركيبها الكيميائي والفيزيائي، بنيتها، نسبة السليلوز، درجة البلورة وغيرها تتحكم في خصائص الألياف الطبيعية. ومن خلال هذا الفصل سنتناول مختلف المعالجات الكيميائية التي أجريت من قبل العديد من الباحثين ومدى تأثيرها على خصائص الألياف الكيميائية والميكانيكية. ثم بعد ذلك سنتناول تصنيف المواد المركبة وأهم العوامل المؤثرة على خصائص هاته المواد مع كيفية تحضيرها.

### 1.II. المعالجة الكيميائية

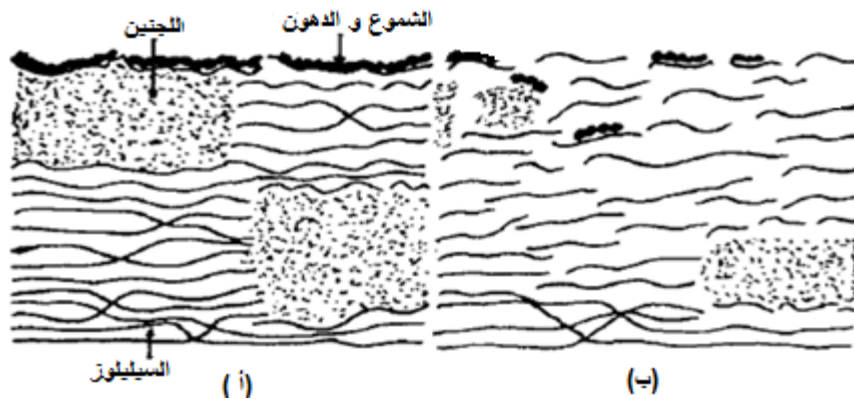
المكونات الرئيسية للألياف النباتية هي السليلوز، الهيميسليلوز، اللجنين وهي تحتوي على مجموعات الهيدروكسيل. هذه الأخيرة هي مصدر الخاصية الهيدروفيلية للألياف النباتية. إلا أن الفرق بين الألياف والتي هي عالية الهيدروفيلية والبوليمرات التي لها الخاصية الهيدروفوبية يجعل من الصعب جدا تطوير مركبات الألياف النباتية/البوليمر. ويتسبب في نقص كبير في الالتصاق بين الألياف والمصفوفة العضوية [1] ولهذا نقوم بالمعالجات الكيميائية للألياف.

#### 1.1.II. المعالجة القلوية

المعالجة بالصودا هي احدي الطرق الكيميائية الأكثر استعمالا في معالجة الألياف الطبيعية التي تستعمل في تقوية البوليمرات المتلدنة حراريا، والبوليمرات المتصلبة حراريا [2-5] هناك تغيرا هاما ناتج عن هذه المعالجة، بحيث تنقص عدد الروابط الهيدروجينية الموجودة بين السليلوز والمكونين الأساسيين: الهيميسليلوز واللجنين، نتيجة انقطاعها في بنية الشبكة، مما يزيد من خشونة السطح [6]. وتؤدي إلى تأين مجموعة الهيدروكسيل متحولة إلى ألكوكسيد، كما هو موضح في المعادلة (1):



إن طريقة المعالجة القلوية تعتمد أساسا على إخضاع الألياف لتفاعل مع محلول مائي من قاعدة قوية، بغية إحداث تورم هام للألياف ينتج عنه تغير في كل من: البنية الدقيقة، الحجم، المورفولوجية والخصائص الميكانيكية للألياف [4،7] كما أن هذه المعالجة ينتج عنها تغير في تضاريس سطح الألياف، وإلغاء الشموع، وجزء من اللجنين والهيميسليلوز (الشكل 14). مما يجعلها مؤهلة لأن تكون كمادة تقوية في المواد البوليميرية. في الواقع، القضاء على هذه المكونات المذكورة سابقا هو ضروري لأن بسبب بنيتها غير المتبلورة، فإنها تؤدي إلى قوة شد منخفضة أكثر [5،7] بالإضافة إلى ذلك، بعد المعالجة بالصودا فإن الكثير من مجموعات الهيدروكسيل OH- تبقى على سطح الألياف ويمكن بالتالي معالجتها بسهولة مع مكونات أخرى مثل السيلان، حمض الخل... إلخ.



ألياف نباتية: (أ)  
بعد المعالجة (ب)

الشكل (14)  
قبل المعالجة

بالصودا [8]

## II. 1. 2. المعالجة بالأسيلة

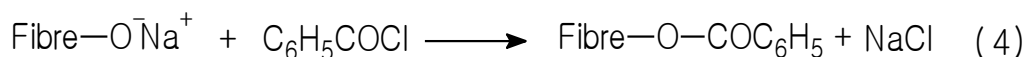
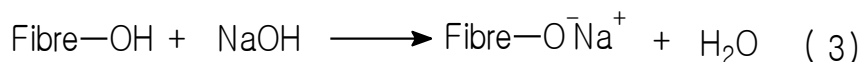
الأسيلة هي تفاعل يوجد فيه مجموعة وظيفية أسيتيل ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) في مركب عضوي. والأسيلة للألياف النباتية هي طريقة أسترة معروفة. وهي تسبب تغليف للألياف السيليلوزية. يجرى التفاعل بواسطة حمض الخل لمعالجة الألياف قبل استعمالها. التفاعل مع أنهيدريد الأستيك، يتم عن طريق الاستبدال لمجموعات هيدروكسيل الموجودة في بوليميرات الجدار الخلوي مع مجموعات الأسيتيل، يحدث تغير في هذه البوليميرات بطريقة تصبح فيها ذات طبيعة هيدروفوبية [8]. تفاعل أنهيدريد الخليك مع الألياف مبيّن كمايلي:



يمكن لتفاعل الأسيلة أن يخفض من امتصاص الرطوبة من طرف الألياف النباتية، كما يزيد من استقرار أبعاد المركبات. وتستعمل هاته الطريقة في معالجة سطح الألياف التي تستعمل كتعزيز في المركبات [9,10].

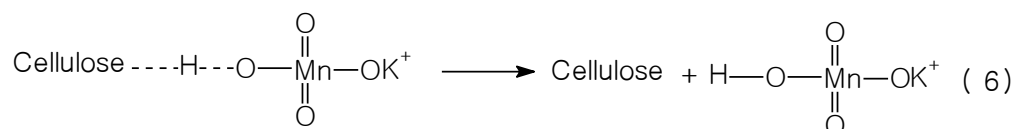
## II. 1. 3. المعالجة بالبنزلة (Benzoilation)

البنزلة هو تحول مهم في التحضير العضوي. كلوريد البنزويل ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COCl}$ ) هو المركب الأكثر استعمالا في معالجة الألياف النباتية. التفاعل بين مجموعات الهيدروكسيل وكلوريد البنزويل موضح بالمعادلة (3)، (4) [11]. هاته العملية تحسن الالتصاق للواجهة البينية ألياف/مصفوفة، وبالتالي تزداد مقاومة المركب، بتناقص قدرته على امتصاص الماء ويحسن الاستقرار الحراري له. جوزيف ورفقاؤه (Joseph et al) ونير ورفقاؤه (Nair et al) استعملوا محلول من الصودا وكلوريد البنزويل لمعالجة ألياف السيزال. ولاحظوا بان الاستقرار الحراري للمركبات ذات الألياف المعالجة هي أكبر من المركبات ذات الألياف غير المعالجة [9, 10].



## II. 1. 4. المعالجة بالبرمنغنات :

برمنغنات البوتاسيوم هو مركب يحتوي على مجموعة  $\text{MnO}_4^-$ . وعند معالجة ألياف السيليلوز فإن البرمنغنات تؤدي إلى تشكيل جذر السيليلوز مع تشكل أيون  $\text{MnO}_3^-$ . ثم بعد ذلك شوارد  $\text{Mn}^{+3}$  شديدة الفعالية هي المسؤولة على بداية البلمرة بالثبيث كما هو موضح في المعادلة (5) و(6) [12].



إن

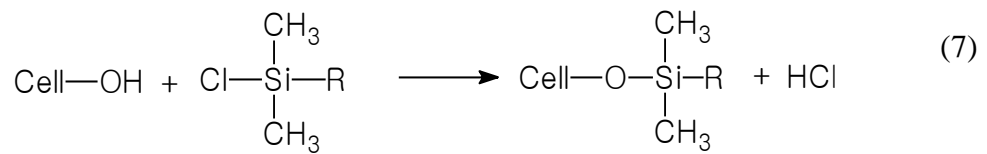
أغلب

المعالجات يستعمل فيها محلول من برمنغنات البوتاسيوم ( $\text{KMnO}_4$ ) (في الأستون) بتركيز مختلفة مع غمس الألياف لمدة من 1 إلى 3 دقائق، وذلك بعد معالجتها بالصودا [13-15]. لقد قام بول وآخرون بغمس ألياف السيزال المعالجة بالصودا في محلول من برمنغنات البوتاسيوم بتركيز 0,033, 0,0625 et 0,125% في الأستون لمدة 1min ونتيجة لهذه المعالجة فإن الخاصية الهيدروفيلية للألياف تتناقص، وكذلك المركب المقوى بهذه الألياف [10]. إن هذا التناقص يزداد كلما ازداد تركيز

البرمنغانات، ولكن عند تراكيز أعلى من 1%، فإن ألياف السيليلوز تبدأ بالتفكك بسبب تشكل مجموعات قطبية بين الألياف والمصفوفة.

### 5.1.II. معالجة الألياف بالسيلان

تعتبر المعالجة بالسيلان واحدة من أهم المعالجات المستعملة والمدروسة سواء المعالجة المباشرة على الألياف أو على السيليلوز، نظرا لان فاعلة السيلان يمكن أن يرتبط كيميائيا مع مجموعات المصفوفة البوليميرية المعالجة الكيميائية للألياف بالسيلان تتم بارتباط السيلان مع مجموعات الهيدروكسيل السيليلوزية في وسط مائي قاعدي أو حامضي، فمثلا قام الباحث قوسي ورفقاؤه [16] بمعالجة السيليلوز بسلسلة من ألكيل ثنائي مثيل كلوروسيلان في وسط حامضي (المعادلة (7)).



المركبة

R: i-C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>, n-C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>, n-C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>, n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>

2.II المواد

إن أولى التطورات للمركبات كانت لها علاقة باحتياجات صناعة مواد الفضاء، التي تتميز بخصائص ميكانيكية عالية ومرتبطة بوزن منخفض. تتواجد المركبات حاليا في جميع القطاعات الصناعية. المركبات هي مواد صلبة، وتكون عادة متباينة الخواص وغير متجانسة. وهي تتألف من ارتباط مادتين أو أكثر حيث كل مادة لها طبيعة مختلفة عن الأخرى. هذا الارتباط يؤدي بدوره إلى مركب ذو كفاءة أعلى من المواد المكونة له. خواص هذه المركبات تتغير بشكل واسع معتمدة على طبيعة ألياف التقوية (الطول، وتركيز، ونوع الليف) وعلى نوع الراتنج المستعمل في المادة الأساس (المصفوفة) [17]. نطلق التسمية "مادة مركبة" على الترتيب الناتج عن طورين مختلفين: إحداهما يتكون من مادة متورّعة وتسمى التعزيز، بينما الطور الآخر الذي يحوي على التعزيز يسمى مصفوفة (الشكل 15).



مركبة [18]

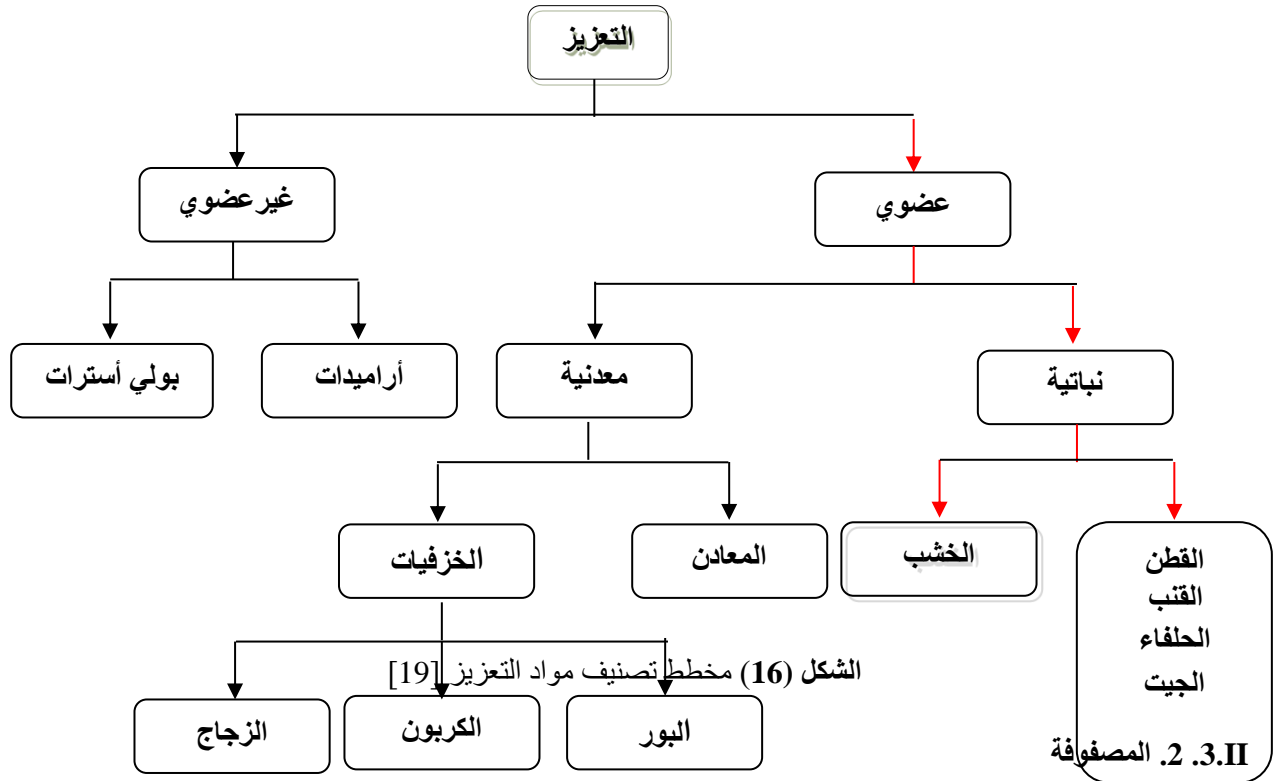
الشكل (15). مخطط لمادة

### 3.II. مكونات المواد المركبة

#### 1.3.II. التعزيز (Renfort)

التعزيز وهو بمثابة الهيكل أو الإطار الذي يضمن الخاصية الميكانيكية (مقاومة القطع والصلابة). ويكون غالبا ذو طبيعة ليفية، سواء كان مادة عضوية أو غير عضوية وتتكون من مئات أو آلاف الخيوط والتي أقطارها تتراوح ما بين 5 إلى 15µm [18]. إن التعزيزات المتكونة من الألياف تكون ممثلة بالأشكال التالية: خطية (خيوط، فتائل)، أنسجة سطحية (نسيج، حصيرة)، متعددة الاتجاهات (نسيج معقد، نسيج ثلاثي الاتجاه أو أكثر) ويمكن أن نوضح أنواع التعزيزات الموجودة حاليا

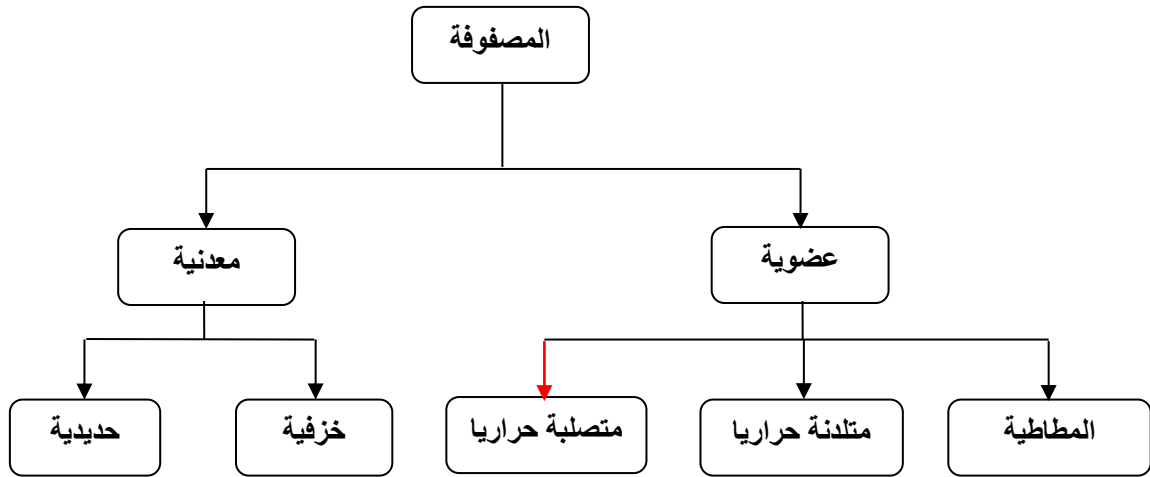
كما في الشكل (16) [19]. كما هناك أنواع عديدة من التعزيزات ، بعضها اصطناعية ، مثل الكيفلار وألياف الكربون أو الزجاج ، والبعض الآخر هي من أصل عضوي ، مثل الكتان والجوت والقنب أو اللجنين (الخشب) .



2.3.II المصفوفة

المصفوفة هي واحدة من المكونات الأساسية للمواد المركبة. وهي مادة عضوية خفيفة الوزن، قابلة للتشوه بسهولة، والتي لها ثلاث وظائف رئيسية: توزيع الحمل الميكانيكي على كل التعزيزات، تلاحم وربط الألياف بعضها ببعض من أجل تجانس أفضل للكل وحماية للتعزيزات فيما يتعلق بالوسط الخارجي (الصددمات الحرارية أو الميكانيكية) [20]. هذا وتجدر الإشارة بأنه يجب أن تكون المصفوفة ذات كتلة حجمية منخفضة من أجل الحفاظ على خصائص ميكانيكية عالية للمركب. وتتكون المصفوفات عادة من راتنجات عضوية متلدنة حرارياً (Thermoplastique) أو متصلبة حرارياً (Thermosetting). ومن الراتنجات البوليمرية الأكثر استخداماً في المواد المركبة هي الراتنجات المتصلبة حرارياً والراتنجات المتلدنة حرارياً. غير أن هناك أنواع أخرى مثل الراتنجات المستقرة حرارياً والتي يمكن أن تقاوم الشدة الحرارية المستمرة إلى 200°C، وأكثر من ذلك. ومع ذلك، فإن استخدام هذه الراتنجات يبقى غير محدد مما يحد من إنتاجها. ومن بين أنواع المصفوفات التي تصادفنا حالياً هي مبينة من خلال الشكل (17).





الشكل (17). مخطط لأنواع المصفوفات

## 4.II. أنواع المصفوفات

كما ذكرنا سابقا، يمكن أن نميز نوعين أساسيين من الراتنجات المشكلة للمصفوفة هما: الراتنجات المتلدنة حراريا والراتنجات المتصلبة حراريا.

## 4.II.1. الراتنجات المتلدنة حراريا

هي راتنجات تسمى عادة بالبلاستيك وغالبا ما تستخدم من دون تعزيز، ولها خصائص ميكانيكية ضعيفة. هذه الراتنجات تكون صلبة القوام عند درجات الحرارة العادية ولكنها تلين بالحرارة و تتحول إلى ما يشبه العجينة بحيث يمكن تغيير هيئتها باليد، وبزيادة درجة الحرارة أكثر فإن المادة اللينة تنصهر و تسيل (تسمى بوليمرات الترموبلاستيك)، وتتطلب تحول عند درجة حرارة عالية. يمكن أن تتشكل مرارا عن طريق التسخين والتبريد في مجال من درجة حرارة معينة للبوليمر المدروس. علاوة على ذلك، لديها القدرة في الحالة السائلة للتكوين بسهولة عن طريق اللدونة. وعادة ما يتم تنفيذها عن طريق الحقن عند ضغط عالي. و هي تكوّن معظم البوليمرات التي تستخدم في صناعات البلاستيك و الألياف الصناعية. وهناك العديد من البوليمرات التجارية التي تقع ضمن هذا الصنف نذكر منها: البولي ايثيلين، البولي ستيرين، البولي كربونات، البولي (كلوريد الفينيل)، البولي بروبيلين وغيرها. ومثلها مثل الراتنجات المتصلبة حراريا، فإن المواد الأكثر كفاءة هي التي لها خصائص ميكانيكية عالية وكتلة حجمية ضعيفة كما هو موضح في الجدول(7)[21].

الجدول (7). خصائص الراتنجات المتلدنة حراريا(TP)[19]

البوليمير	$T_g(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	الكثافة $\rho$	$\sigma_r$ (MPa)	E(GPa)
بولي بروبيلين (PP)	50	165	0.92	30	1.2

4-3	60-40	1.25	150	60-50	حمض بولي لاكتيك (PLA)
1.1	28	0.95	134	100	بولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE)
2.9	58	1.39	160-220	75 - 100	بولي كلوريد الفينيل (PVC)
3.2	55	1.05	-	90 - 100	بولي ستيرين (PS)
2.6	47	1.30	255-265	70	بولي إيثيلين تريفثالات نصف بلوري (PET)
2.5	50	1.05	-	90-120	أكريلونيتريل بيوتادين ستيرين في حالة لابلورية (ABS)

E: معامل يونغ،  $\sigma_r$ : إجهاد القطع،  $T_f$ : درجة حرارة الانصهار،  $T_g$ : درجة حرارة الطور الجيلاتيني

## 2.4.4. II. الراتنجات المتصلبة حرارياً (Thermosetting Resins)

يشمل هذا الصنف البوليمرات التي لا تتصهر بالتسخين ولكن يساعد التسخين على تثبيتها في شكلها النهائي (تتصلب بفعل الحرارة والضغط أثناء تحويل معجونها إلى الشكل المطلوب في قوالب خاصة) وتسمى بوليمرات التيرموسات. تعاني هذه البوليمرات تغيرات كيميائية عند تسخينها فتتشابك فيها السلاسل البوليمرية وتصبح بعد معاملتها الحرارية غير ذائبة وغير قابلة للانصهار، رديئة التوصيل للحرارة والكهرباء. وتستخدم كمواد عازلة للحرارة والكهرباء وتدخل في العديد من الصناعات الكهربائية والمنزلية، والاستخدامات الصناعية الخاصة. ومن الأمثلة على هذه البوليمرات: راتنجات الفينول فورمالدهيد، راتنجات اليوريا فورمالدهيد والايوكسي وبعض البولي أسترات المتشابكة وغيرها. بعد معالجة هذه البوليمرات حرارياً فإنها تتحول أساساً إلى مادة غير قابلة للانصهار والذوبان. هاته الراتنجات لها خصوصية التشكل مرة واحدة (تحول لعاكس)، وبسبب هشاشتها فإنها تستخدم في بعض الحالات الاستثنائية بدون تعزيزات. كذلك ونظراً لخصائصها الميكانيكية الحرارية العالية فهي الأكثر استخداماً حالياً. من بين أهم الراتنجات المتصلبة بالحرارة المستعملة: البولي أسترات غير المشبعة (البولي استر المكثف، فينيل الأسترات، ... الخ)، وراتنجات التكتيف (الفينوليك، الأمينوبلاست، والفيرانيك، ... الخ) وراتنجات الإيبوكسيدات [22]. المواد المركبة الأكثر كفاءة، لها خصائص ميكانيكية عالية وكتلة حجمية ضعيفة، هذه الخصائص موضحة في الجدول (8).

الجدول (8). خصائص الراتنجات المتصلبة حرارياً [19]

الراتنج	الكثافة $\rho$	E (GPa)	$\sigma_r$ (MPa)	$T_{max}$ (°C)
الإيبوكسيد	1.2	4.5	130	90-200
الإريتان	1.1	0.7-7	30	100
بولي استر غير مشبع (UP)	1.2	4	80	200-60
يوريا فورمالدهيد (UF)	1.2 - 1.5	6 - 10	40-80	140
فينول فورمالدهيد (PF)	1.1 - 1.3	3-4	35-60	80-300

E: معامل يونغ،  $\sigma_r$ : إجهاد القطع،  $T_{max}$ : درجة الاستعمال القصوى

إن الخصائص بين هذين النوعين من المصفوفة مختلفة ولذلك يختلف مجال استعمال كل واحد منها. ويمكن إجراء مقارنة بين خصائص الراتنجات المتصلبة حرارياً والأخرى المتلدنة حرارياً وهي ممثلة في الجدول (9). هذا ونشير بأن المصفوفة المكونة للمادة المركبة في دراستنا هذه هي من نوع الراتنج المتصلب حرارياً وهو البولي استر غير المشبع (UP).

الجدول (9). مقارنة بين الراتنجات المتلدنة حرارياً والمتصلبة حرارياً [23]

المعايير الأساسية	المصفوفات المتلدنة حرارياً	المصفوفات المتصلبة حرارياً
-------------------	----------------------------	----------------------------

الحالة الأساسية	صلب (قبل الاستعمال متبلر)	سائل لزج للبلمره
تخزين المادة الأساسية	غير محدود	زمن منخفض (الأخذ بحذر)
قابلية التبلل للتعزيزات	صعب	سهل
الصب (القولبة)	تسخين (انصهار+تبريد التثبيت)	تسخين مستمر
الدورة	أطول (التبريد)	قصير
المقاومة للصدم	جيدة	محدود
المقاومة الحرارية	منخفضة	أفضل
بقايا وفضلات	قابلة للاسترجاع	ضائع

#### 1.2.4.II راتنجات البولي أستر غير المشبع

تتصلب عند الدرجة العادية من الحرارة أو المرتفعة، كما أن لها مقاومة كيميائية جيدة. غير أن لها محدودية بسبب انبعاث الستيرين، وحدث تقلص أثناء التصلب ( 7-10%). راتنجات البولي أستر غير المشبع تسمى (UP) أو (UPR). وهي خليط من البوليستر غير المشبع مذاب في مذيب فعال هو الستيرين (St). البولي أستر غير المشبع هو عامل تشابكي، عدد اللإشباع الفينيلية لكل جزيء منه تتغير تبعاً لمكوناته ووزنه الجزيئي. كما أن الستيرين يعطي للراتنج فعالية عالية (حركية البلمره تكون سريعة في حالة التفكك السريع للمبادر (Amorceur) ، وكذلك سيولة كافية تسمح بتدفقها في درجة حرارة الغرفة [24].

#### 2.2.4.II خصائص راتنجات البولي أستر غير المشبع

##### أ. الخصائص الكيميائية والفيزيائية:

بالنسبة لراتنجات البولي أستر لديها مظهرين ضعيفين كيميائيان وذلك من وجهة نظر بنيتها: مجموعات الأستر القابلة للتميه، والجذور الستيرينية والتي هي حساسة للمؤكسدات والمذيبات. الجدول (10) يشمل على الكواشف التي تهاجم الراتنجات وتلك التي تقاومها الراتنجات. كما يعتبر التميّة عامل غير مهم بالنسبة لمركبات البولي أستر ذات الاستعمالات البحرية. لهذا السبب عموماً يكون من الضروري حمايتها بطبقة من الجلاتين (Gel-coat) مشكلة خصيصاً لمقاومة الوسط البحري [25].

الجدول (10). المقاومة الكيميائية لراتنجات البولي أستر [25].

المواد التي يقاومها الراتنج	المواد التي تهاجم الراتنج
الأحماض إلى غاية تراكيز 20%	القلوية (التصين)
الأملاح	الأحماض المرجعة
الكحولات	السيتونات
الهيدروكربونات عند الدرجة العادية من الحرارة	المذيبات الهالوجينية

خلافًا لذلك فإن تفاعل البلمرة لراتنج البولي أستر يكون مصحوبا بتقلص قوي. حيث يكون في حدود من 5 إلى 10 % بالحجم ويشكل خاصية معيقة ينبغي أخذها بعين الاعتبار أثناء تصميم عملية القابلة . يمكن أيضا أن يولد هذا التقلص إجهادات متبقية غير مهمة في قطع المركبات، هذا يترجم بانضغاط قطري لألياف التقوية.

### ب . الخصائص الميكانيكية:

تمثل راتنجات البولي أستر خصائص ميكانيكية جيدة وخاصة فيما يتعلق بالصلابة (معامل يونغ). من ناحية أخرى، فإن الإجهاد واستطالة القطع لها تبقى أقل منها في راتنجات الإيبوكسيد والفينيل أستر (الجدول 11).

الجدول (11). الخصائص المتوسطة للمكونات المستعملة في راتنجات متصلبة حراريا [26]

البوليمير	الكتلة النوعية (Kg /dm <sup>3</sup> )	مقاومة الشد (MPa)	معامل الإنحناء (GPa)	المقاومة للحرارة (°C)
البولي أستر	1,2-1,15	50-65	2.9-3.1	120
فينيل أستر	1,15	70-85	3.4-3,5	100-140
فينوليك	1,2	40-50	3	120-150
إيبوكسيد	1,1-1,4	50-120	3	120-200
بولي إيريثان	1,1-1,5	20-50	1	100-120
بولي إيميد	1,3-1,4	30-40	4	250-300

وفي الأخير فإن استخدام هذا النوع من الراتنج يقدم العديد من المزايا بما في ذلك سهولة التنفيذ. ولدمج هذا النوع من المصفوفة في المواد المركبة، فإنه من الضروري معرفة بعض الإيجابيات والسلبيات لهذا الراتنج والتي هي مدرجة في الجدول (12).

الجدول (12). مميزات وسلبيات راتنجات البولي أستر [27]

الإيجابيات	السلبيات
- التصاق جيد مع ألياف الزجاج.	- مقاومة ضعيفة للحريق مع انطلاق كمية من الدخان هامة.
- شفاف	- تقلص عند القابلة هام (6-15%)
- تصلب سريع	- مقاومة ضعيفة للكلالة
- مقاومة كيميائية جيدة	- تخزين محدود وذلك راجع إلى تبخر الستيرين
- سهولة التنفيذ	- كفاءة حرارية ضعيفة
- تحمل جيد للحرارة	
- تكلفة منخفضة	
- مقاومة جيدة للشد	

## 5.II. تصنيف المواد المركبة

### 1.5.II. حسب نوع المصفوفة

توجد العديد من المواد المركبة التي يمكن أن تصنف حسب بعض المعايير من بينها: نوع المصفوفة المستعملة في المادة

المركبة التي تسمح بتقسيم المواد المركبة إلى ثلاثة أقسام:

\* المركبات ذات المصفوفة العضوية (CMO)، والتي يمكن أن تستخدم إلا في الحالات التي يكون فيها درجات حرارة لا تتجاوز 200 إلى 300°C.

\* المركبات ذات المصفوفة المعدنية (CMM) وتستهلك في درجات حرارة تصل إلى  $600^{\circ}\text{C}$ ، حيث نجد تطبيقاتها الأساسية في النقل الجوي، البحري والسكة الحديدية، العمارة، الفضاء وكذلك في الرياضة والتسليية، خصوصا بفضل قوتها الميكانيكية الجيدة مقارنة بالمواد المتجانسة مثل الفولاذ وكذلك نظرا لكتلتها الحجمية الضعيفة.

\* المركبات ذات المصفوفة الخزفية (CMC) حيث يستعمل هذا النوع من المركبات خصيصا في التطبيقات ذات التقنية العالية، والتي تعمل في درجات حرارة عالية (يمكن استخدامها في درجات حرارة أعلى من  $1000^{\circ}\text{C}$ ) مثل المجالات الفضائية، النووية والعسكرية كذلك في نظام المكابح (مكابح الفحم) [28،29].

## 2.5.II. حسب هندسة التعزيز

من أجل تحسين الخصائص الميكانيكية لبنى المركبات، فإنه من الضروري أن نركز على نسيج التقوية (تصميم التعزيز). ومن أجل إنشاء بنية قوية مناسبة للاجهادات الميكانيكية. بالاعتماد على الخصائص المطلوبة، فإننا نصادف العديد من تصاميم التعزيز (الشكل 18).



الشكل (18) الاتجاهات الأساسية في الألياف.

## المراجع

- [1] F. M. Fowkes, J. Adh, Sci. Technol, Vol 1(1), pp.7-27(1987)
- [2] M. S. Sreekala, S. Thomas. Compos Sci and Technol, Vol 63, pp. 861–869 (2003)
- [3] M. S. Sreekala, M. G. Kumaran, Sabu Thomas «Oil Palm Fibers: Morphology, Chemical Composition, Surface Modification, and Mechanical Properties », Journal of Applied Polymer Science, Vol 66, pp. 821-835(1997)
- [4] L.Y. Mwaikambo, M. P. Ansell, «The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok fibres for composite reinforcement », Die Angewandte Makromolekulare Chemie 272, pp.108-116(1999)
- [5] Dipa Ray, B K Sarkar, A K Rana, N R Bose, «Effect of alkali treated jute fibres on composite properties; Bull. Mater. Sci., Vol 24(2), pp.129-135(2001)
- [6] D. Klemm, B. Philipp, T. Heinze, U. Heinze and W. Wagenknecht, in “Comprehensive Cellulose Chemistry”, vols. I-II, Wiley-VCH, Chichester, pp. 35-42(1998)

- [7] J. J. Maya, D. R. Anandjiwala « Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites », Polymer composites, pp.187-207(2008)
- [8] Mwaikambo L.Y; Ansell M.P. The effect of chemical treatment on the properties of hemp , sisal, jute and kapok for composite reinforcement, Die Angewandte Makromolekulare Chemie, 1999, 272, 108-116.
- [9] M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C. Yang, H. M. Zeng. Compos Sci and Technol, Vol 61, pp. 1437–1447. (2001)
- [10] A. Paul, K. Joseph, S. Thomas. Compos Sci Technol, Vol 57(1), p. 67 (1997)
- [11] K. Joseph, L. H. C. Mattoso, R. D. Toledo, S. Thomas, L. H. de-Carvalho, L. Pothen, S. Kala, B. James. Frollini E, Leão AL, Mattoso LHC, São Carlos (eds) Natural polymers and agro fibers composites. Embrapa, USP-IQSC, UNESP, Brazil (2000).
- [12] T. W. Frederick, W. Norman « Natural fibers plastics and composites », Kluwer Academic Publishers, New York(2004)
- [13] M. S. Sreekala, M. G. Kumaran, S. Joseph, M. Jacob, S. Thomas, Appl Compos Mater, Vol 7, p. 295(2000)
- [14] Sreekala MS, Kumaran MG, Thomas S. Compos A:Appl Sci Manuf, Vol 33, p.763(2002)
- [15] K. Joseph, RDT. Filho, B. James, S. Thomas, L.H. de Carvalho, Revista Brasileira de Engenharia Agricola e AmbientalVol 3, p. 367 (1999)
- [16] C.Goussé, H. Chanzy, G.Excoffier, L.Soubeyrand, E.Fleury; Stable suspensions of partially silylated cellulose whiskers dispersed in organic solvents; Polymer. 2645-2651(2002).
- [17] A. Brent Strong « Plastics materials and processing », Prentice-Hall Inc. 2-nd edition. New Jersey. U.S.A, (2000)
- [18] A. Dufresne « Etude de l'interface / interfase de composites modèles DGEBA-DDA /billes de verre par fluage thermostimulé, in Toulouse », Thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, p. 120(1991)
- [19] D. Gay « Matériaux composites », Édition Hermes, (1997)
- [20] Y. CHEVALIER « Comportement élastique et viscoélastique des composites. In: Techniques de l'Ingénieur », Traité Plastiques et composites, vol. A7. Paris Techniques de l'ingénieur, (1990)
- [21] H. Nechad « Evaluation de l'endommagement et de la rupture de matériaux hétérogènes par ultrasons et émission acoustique : Estimation de la durée de vie restante », Thèse doctorat, Laboratoire GEMPPM à l'INSA de Lyon, (2004)
- [22] J. M. Berthelot « Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures », Paris, Masson, p. 615(1992)

- [23] S. Ghorab « Comportement viscoélastique des matériaux orthotropes », Thèse magister, Université Mentouri Constantine, p. 114(2005)
- [24] O.C. Zaske, S.H. Goodman « Unsaturated polyester and vinyl ester resins », Handbook of thermoset plastics, second edition, Westwood (New Jersey) : Noyes Publications, (1998)
- [25] P. Yves « Influence des propriétés de la matrice sur le comportement mécanique de matériaux composites verre/polyester utilisés en construction navale de plaisance - Cas des résines polyester limitant les émissions de styrène » Thèse doctorat Université de Bretagne Sud, (2006)
- [26] M. Laarej « Etude par Spectroscopie Raman et modélisation d'une résine composite RTM », Laboratoire Matériaux Optiques, Photonique et Systèmes Unité de recherche commune UPV-Metz – Supélec – CNRS, pp.8-9(2010)
- [27] F. Bensadoun, « Développement et caractérisation d'un procédé de fabrication de composites et biocomposites à base de nanoparticules d'argile et de résine polyester insaturée destinés à l'industrie du transport », École polytechnique de Montréal, Thèse doctorat, p14(2011)
- [28] H. Nechad « Evaluation de l'endommagement et de la rupture de matériaux hétérogènes par ultrasons et émission acoustique : Estimation de la durée de vie restante », Thèse doctorat, (2004)
- [29] L. Yohann « Etude de la porosité dans les matériaux composites stratifiés aéronautiques », Thèse doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse , p5(2009)

## الفصل الثالث

### الأجهزة والطرق التجريبية



إن استعمال الألياف النباتية للمواد المركبة يقودنا إلى دراسة الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية لها ، وفي هذا الفصل قمنا باستخلاص مكونات ألياف اللوفا، ثم التطرق إلى مختلف الطرائق المستعملة في المعالجات الكيميائية بهدف تحسين خصائص الألياف الميكانيكية والتقليل من الخاصية الهيدروفيلية للألياف[1،2]. كذلك تم التطرق إلى مختلف الأجهزة المستعملة في الاختبارات التشخيصية للألياف وللمواد المحضرة.

### 1.III. المكونات الكيميائية لألياف اللوفا

يعتبر المكون الأساسي للألياف النباتية هو السليلوز حيث يمثل الجزء الأكبر من النسبة الكتلية في معظم الألياف النباتية لذلك فهو يلعب دور مواد التقوية في المواد المركبة، أما الهيميسيليلوز و اللجنين فيمثلان دور المصفوفة لأنهما تضمن التصاق الليفات السليلوزية مع بعضها، حيث تتحكم نسبة مواد التقوية في المواد المركبة في درجة الليونة و القطع و غيرها من الخصائص في المواد المركبة ، كما ان هندسة الألياف النباتية، تركيبها الكيميائي و الفيزيائي، نسبة السليلوز فيها و غيرها تتحكم في خصائص الألياف الطبيعية، لذلك نقوم باستخلاص الألياف و دراسة مكوناتها.

#### 1.1.III. الماء والمواد المتطايرة

تحدد كمية الماء والمواد المتطايرة طبقا للمعيار الفرنسي NF V 03-903 [3]. وهو يوافق الكتلة الضائعة الناتجة عن تجفيف العينة في فرن عند الدرجة ° 105 إلى غاية ثبوت وزنها. نرمز لها بالرمز "H"، يعبر عن كمية الماء والمواد المتطايرة بنسبة وزنية؛ ويمكن حسابها من خلال العلاقة (8):

$$H = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad (8)$$

حيث:  $m_0$  كتلة الجفنة الخاصة بالوزن.

$m_1$  كتلة الجفنة وكتلة العينة قبل التجفيف (g).

$m_2$  كتلة الجفنة وكتلة العينة بعد التجفيف والحصول على وزن ثابت (g).

يعبر أيضا بنسبة وزنية، عن كمية المواد الجافة للعينة ويرمز له بالرمز "MS" ويحسب بالعلاقة (9):

$$MS = 100 - H = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad (9)$$

### 2.1.III. المواد المعدنية

كمية المواد المعدنية (الرماد المعدني) يحدد وفقا للمعيار الفرنسي NF V 03-322 [4]. نضع العينة في فرن تحت درجة 550 °C ونقوم بكلسنتها حتى وزن ثابت. نزن الناتج المكلسن (مسحوق رمادي، خفيف). نرمز لكمية المواد المعدنية بـ "MM". يعبر عن هذه الكمية بنسبة مئوية وزنية بالعلاقة (10):

$$MM = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \times 100 \quad (10)$$

حيث:  $m_0$  كتلة الجفنة الخاصة بالوزن.

$m_2$  كتلة الجفنة وكتلة العينة بعد الكلسنة.

$m_1$  كتلة الجفنة وكتلة العينة قبل التسخين.

### III.1.3. كمية المواد العضوية

الفرق بين كتلة المواد الجافة وكتلة المواد المعدنية يساوي إلى كتلة المواد العضوية. نرسم لها بالرمز "MO" ويمكن أن نعبر عنها بنسبة مئوية وزنية. إذن يمكن التعبير عن كمية المواد العضوية بالعلاقة (11):

$$MO = MS - MM \quad (11)$$

من بين أهم المكونات لألياف اللوفا التي سنقوم بتحديدتها في الألياف المدروسة هي: السيليلوز، الهيميسيليلوز واللجنين.

### III.2. الاستخلاص:

نقوم بتحضير الألياف النباتية المتمثلة في نبات اللوفا عبر مرحلة الجني ثم الانتقاء ثم التنظيف ثم نقوم بعملية السحق متبوعة ببروتوكول الاستخلاص المناسب.

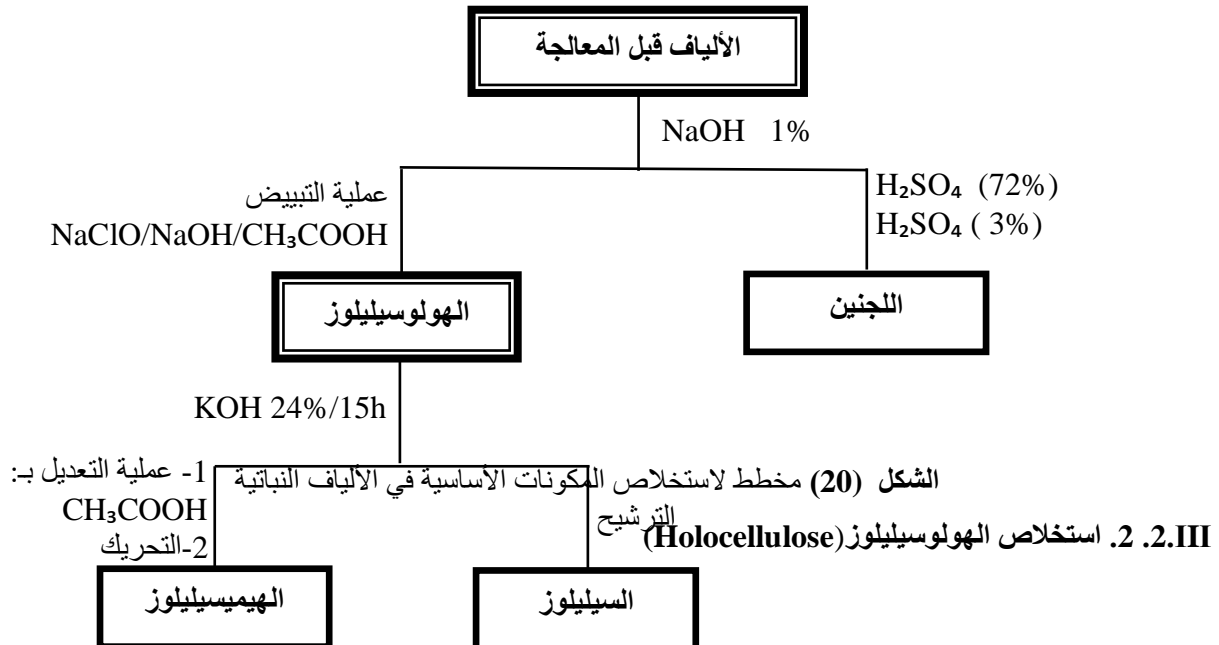
### III.1.2. المعالجة الأولية:

نقوم بجني الألياف النباتية المتمثلة في نبات اللوفا الشكل (19) موضوع الدراسة ثم نقوم بتفشيرها والتخلص من البذور ونقوم بغسلها بالماء جيدا ، ثم نضعها تجف في فرن التجفيف عند درجة الحرارة 80 °م، لمدة ساعة، وبعد ذلك نقوم بطحنها.



الشكل (19). ألياف اللوفا في مختلف الأطوار (أ) طور النمو (ب) طور الجني (ج) أثناء الطحن.

يتم تحديد نسبة مكونات الألياف حسب بروتوكول كلازون [5] الموضح في الشكل (20)، حيث يتم معالجة الألياف بالصود ثم بحمض الكبريت المركز للحصول على اللجنين ويتم استخلاص السيليلوز بعملية التبييض ثم المعالجة بهيدروكسيد البوتاسيوم، الرشاحة المحصل عليها يتم تعديلها بواسطة حمض الخل للحصول على الهيميسيليلوز.



الهولوسيليلوز هو اسم مختصر لمكونين السيليلوز والهيميسيليلوز ويتم استخلاصهما على مرحلتين أساسيتين الأولى باستعمال هيدروكسيد الصوديوم ثم عملية التبييض للحصول على الهولوسيليلوز وبعدها يتم استخلاص المكونات باعتماد الفرق في الذوبانية.

### III -2-2-1- الاستخلاص بواسطة هيدروكسيد الصوديوم NaOH:

نضع 10 g من عينة اللوفا في الماء لمدة كافية بعد ذلك تجفف العينة وتعصر. نضع العينة في حوالة تحوي على 1 لتر من الصودا ( 2 % ) وتوضع في حمام مائي تحت درجة حرارة  $80^{\circ}\text{C}$  لمدة ساعتين حتى يصبح اللون بني. ثم نرشح الناتج. نغسل الراسب بالماء المقطر حتى التعديل ( نتأكد بورق الـ pH) وبعدها نجفف الناتج. نكرر العملية مرتين (الشكل (21)).



الشكل (21). الألياف بعد الاستخلاص بالماء و الصودا والترشيح.

### III -2-2-2- عملية التبييض (Blanchiment)

العجينة المتحصل عليها بعد الاستخلاص بالصودا لها لون رمادي، أين يلزم إجراء عملية التبييض، ولذلك نستعمل لهذا الغرض الكواشف الكلورية مثل كلوريت الصوديوم. هذه المعالجة أجريت في وسط من محلول منظم في الدرجة  $70^{\circ}\text{C}$  ، بهدف تفادي تحلل مهم للسيليلوز. والمحلول المنظم محضر كالتالي: من 27g من الصودا في 50ml من الماء المقطر نضيف لها 75 ml من حمض الخل نكملها بالماء المقطر إلى 1L. كما أننا استعملنا لهذا الغرض محلول من كلوريت الصوديوم ( $\text{NaClO}_2$ ) ذو تركيز 1,7 % w/v. المزيج المستعمل من أجل الاستخلاص هو  $\text{H}_2\text{O}$  / محلول منظم من حمض الاسيتيك /  $\text{NaClO}_2$  v/v/v (1:1:3). المعالجة تتم في حمام مائي عند درجة حرارة  $70^{\circ}\text{C}$  لمدة ساعتين. بعدها نرشح العجينة على قماش، ثم نغسله بالماء حتى تعديل الوسط. في الأخير نرشح تحت الفراغ وذلك للتخلص من الماء كلية. هذه العملية تكرر مرة ثانية عند نفس الشروط. نحصل في نهاية المعالجة على عجينة بيضاء تسمى الهولوسيليلوز (الشكل(22)).



الشكل (22). الهولوسيليلوز بعد ترشيحه وتجفيفه.

## III.2.3. استخلاص السيليلوز

الطريقة المستعملة تعتمد على الفرق في الذوبانية بين الهيميسيليلوزات والسيليلوز في وسط قاعدي. يمكن كذلك عزل السيليلوز عن الهولوسيليلوز بعد ذوبانية الهيميسيليلوزات في محلول قاعدي مخفف.

- نأخذ العينة المتحصل عليها سابقا من الهولوسيليلوز ونذيبها في 70ml من هيدروكسيد البوتاسيوم (24% w/v) وبعد 15 ساعة من التحريك نرشح العجينة على بوتقة رقم 1.
- الراسب الناتج، يغسل بالماء المقطر حتى التعديل ثم بمحلول مخفف من حمض الخل وأخيرا بالإيثانول.
- بعد ذلك يجفف السيليلوز الناتج في الهواء الجوي ثم يوزن (الشكل 23).



الشكل (23). السيليلوز بعد ترشيحه وتجفيفه.

## III.2.4. استخلاص الهيميسيليلوز

الرشاحة المحصل عليها من استخلاص السيليلوز تعالج بحمض الخل (50%)، المستحلب يمزج لمدة 30 دقيقة. ثم نعالج المحلول بكمية قليلة من الإيثانول ثم نحركه جيدا، نرشح الناتج ونغسله بالإيثانول فنحصل على الهيميسيليلوز. يجفف ثم يوزن (الشكل 24).



الهيميسيليلوز المتحصل

الشكل (24). مستخلص عليه.

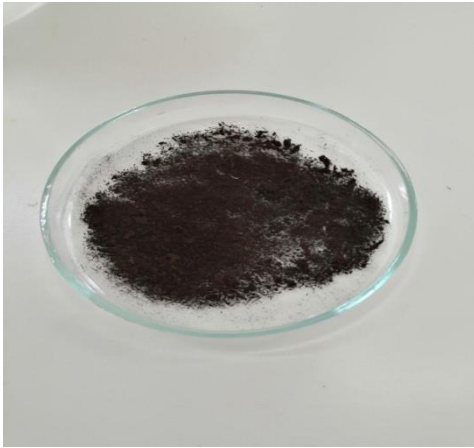
## III.2.5. استخلاص اللجنين (Lignine)

يتم استخلاص اللجنين باعتماد طريقة كلازون [5] وبتابع الخطوات الموضحة في الشكل (25) حيث نضع 3 غرام من العينة (اللوا) في 225ml من حمض الكبريت (75%) لمدة ساعتين في درجة الحرارة العادية ثم نقوم بإضافة 225ml من حمض الكبريت (3%)، بعد الإضافة مباشرة نقوم بوضعه في جهاز التقطير الانعكاسي (distillateur a reflux) لمدة 6 ساعات تحت درجة حرارة 100°C (الشكل 25).



الشكل (25). التقطير الانعكاسي (distillateur a reflux).

نترك المزيج المحصل عليه ليلة كاملة. نرشح الناتج ثم نتركه ليحجف في الهواء ، نغسل الناتج المحصل عليه بالماء الساخن لعدة مرات ثم نتركه في المجفف تحت درجة حرارة 105°C (الشكل (26))



الشكل



(26). عملية استخلاص اللجنين.

### III.2.6. استخلاص الدهون والشموع ( Graisses et cires )

يتم استخلاص الدهون وذلك بواسطة وضع 10 g من عينة اللوفا في محلول ثنائي كلور الميثان لمدة 24 ساعة [6]. ثم نرشح الناتج، نقوم بتبخير المذيب بواسطة جهاز التبخير الدوار، بعد ذلك نزن المادة المترسبة المحصل عليها (الشكل (27)). يمكن تحدد نسبة المستخلصات بالعلاقة التالية:

$$\text{Extr \%} = \frac{w_i - w_f}{w_f} \times 100 \quad (12)$$

Extr % : النسبة المئوية للمستخلصات

$w_i$  : كتلة العينة قبل الاستخلاص

$w_f$  : كتلة العينة بعد الاستخلاص



الدهون باستعمال جهاز التبخير

الشكل (27). استخلاص الدوار.

### 3.III. معالجة الألياف

#### 3.III.1. المعالجة الميكانيكية للألياف

في البداية قمنا بإحضار ألياف اللوفا من منطقة المسيلة، طولها الإجمالي حوالي 1 متر، بحيث يتم اختيار الأفضل والمناسب منها (خالية من العيوب)، تغسل الألياف بعناية بالماء وبإضافة قطرات من ماء الجافيل للتخلص من الغبار وبعض الشوائب وذلك لمدة خمس دقائق، ثم تجفف بتعريضها في الهواء لمدة 24 ساعة. ثم بعد ذلك تقص طوليا، وتنزع منها الأجزاء اليابسة، النهايات المشوهة وكذلك البذور الموجودة بداخلها، وبعدها تقص عرضيا إلى عدة أجزاء لاستعمالها في المعالجة الكيميائية كما هو موضح في (الشكل (28)).



الشكل (28). الألياف بعد عملية المعالجة الميكانيكية.

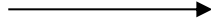
#### 3.III.2. المعالجة الكيميائية للألياف

إن المعالجات الكيميائية للألياف النباتية تعتبر معالجات للسيليلوز لأنه المكون الأساسي والغالب للألياف النباتية. تحطيم الروابط الهيدروجينية بين وداخل الجزيئات يسهل عملية المعالجة الكيميائية لأنها تحرر مجموعة الهيدروكسيل التي تصبح أكثر فعالية، و تهدف إلى تحسين الالتصاق مع الدعامات البوليميرية، هناك العديد من البحوث التي أجريت في هذا المجال وستعرض بعض المعالجات الكيميائية للألياف النباتية الأكثر استعمالا، والتغيرات المهمة الناتجة عن هذه المعالجة هي:

- قطع الرابطة الهيدروجينية الموجودة في البنية البلورية للألياف.
- التخلص من اللينين، الشمع، الزيوت المغلفة للجدار الخلوي للسيليلوز.
- تفكيك السيليلوز.

#### 3.III.1.2.3. المعالجة القلوية

معظم المعالجات الكيميائية المعروفة تسبق بمعالجة أولية في المحلول القاعدي كما هو موضح في المعادلة (13)، حيث الألياف تعالج بمحلول من الصود 1% لمدة ساعة ثم تتبع العملية الغسيل بالماء للتخلص من الصودا الزائدة، عملية الغسل الأخيرة تتم بالماء المقطر مع القليل من حمض الخل، ثم تجفف في الهواء. هذه المعالجة تحسن من خصائص الالتصاق لسطح الألياف بإزالة كل الشوائب الطبيعية والصناعية [7-10].



**طريقة العمل:** نأخذ عينة من ألياف اللوفا الجزء الكامل منها ونغمسها كلياً في 2 ل من محلول الصودا تركيزه 5% ولمدة أربع ساعات، عند درجة الحرارة العادية، وبعد ذلك نستخرج اللوفا من المحلول ونغسلها بالماء المقطر عدة مرات لإزالة الصودا الزائدة التي التصقت بالألياف، ثم نغسلها مرة أخرى بالماء المقطر يحتوي على قليل من حمض الخل المخفف (0.1%). ثم تجفف في الهواء (الشكل (29))، وبعد ذلك توضع في فرن درجة حرارته 80°C لمدة 5 ساعات. وبالتالي فإن أغلبية المعالجات الآتية ذكرها تكون مسبقة بمعالجة أولية بمحلول قلوي (NaOH) تركيزه 5%.



اللوفا بعد معالجتها

الشكل (29)

بالصودا

### III.2.3.2. المعالجة بيرمنغنات البوتاسيوم (KMnO<sub>4</sub>)

تم استعمال برمنجنات البوتاسيوم للمعالجة والذي يحمل الرمز (CE-EMB 45053)، حيث درجة نقاوته 99%، كثافة 2.7 غ / سم<sup>3</sup>، ودرجة انصهاره 240 درجة مئوية.

**طريقة العمل:** تم وضع عينة من ألياف اللوفا في محلول يحتوي على 2 لتر من برمنغنات البوتاسيوم تركيزه 0.0125 % و 2مل من حمض الخل تركيزه (0.1 N)، وتترك ألياف اللوفا في المحلول لمدة 3 دقائق، ثم بعد ذلك يتم إزالة الألياف من المحلول و غسلها بالماء المقطر عدة مرات حتى يتم التخلص من فائض البرمنغنات الموجودة على سطح الألياف، ثم تجفف في الهواء، وبعد ذلك توضع في فرن التجفيف عند 80 درجة مئوية لمدة زمنية قدرها 5 ساعات.

### III.2.3.3. المعالجة بيكرومات البوتاسيوم (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)

ثنائي كرومات البوتاسيوم (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) المستخدم في هذه المعالجة منتج من طرف شركة Biochem Chemopharma، درجة نقاوته 99.8%، ونقطة انصهاره 398 درجة مئوية.

**طريقة العمل:** تم غمس ألياف اللوفا في محلول يحتوي على 2 لتر من بيكرومات البوتاسيوم الذي تركيزه (0.2 %) لمدة 5 دقائق، ثم بعد ذلك يتم إزالة الألياف من المحلول وغسلها عدة مرات بالماء المقطر وتجفيفها في الهواء، ثم توضع في فرن التجفيف عند 80 درجة مئوية لمدة 5 ساعات.

## III.4.2.3. المعالجة بماء جافيل

هيبوكلوريت الصوديوم (NaClO) المستخدم في معالجة الألياف هو ماء الجافيل (Bref Javel)، تركيزه 13° منتج من شركة (Henkel)، الجزائر.

**طريقة العمل:** تم وضع عينة اللوفا في محلول سعة 2 لتر من ماء جافيل مركز 13° مع 2 مل من حمض الكبريتيك (0.1N) لمدة 5 دقائق. بعد ذلك، تم غسل اللوفا بالماء المقطر وتجفيفها في فرن عند 80 درجة مئوية لمدة 5 ساعات.

## III.5.2.3. المعالجة بالسيلان

السيلان وهو مركب كيميائي اسمه العلمي (3-aminopropyltriethoxysilan) المستخدم لتعديل سطح الألياف منتج

من طرف (Fluka Chemika)، ذو الصيغة الكيميائية  $C_9H_{23}NO_3Si$ ، درجة نقاوة 96 %، كثافة 0.949 **طريقة العمل:** تمت معالجة ألياف اللوفا بمحلول مائي للسيلان. حيث تمت إذابة كمية 0.5% من السيلان، في ماء مقطر وتم الخلط لمدة ساعة واحدة. تم يحمض هذا المحلول المائي إلى غاية 4 - 3.5 pH باستخدام حمض الأسيتيك [11]، ثم غمس الألياف في المحلول وتركها لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة الغرفة. تم بعد ذلك تغمس الألياف في ماء مقطر، وبعدها تجفف عند 80 درجة مئوية في فرن التجفيف لمدة 24 ساعة.

## III.3.3. تحضير أوراق التقوية (Mats)

**طريقة العمل:** عينات اللوفا المعالجة وغير المعالجة تخضع إلى الخطوات التالية:

- نقوم بتجفيف الألياف في فرن عند الدرجة 80°C لمدة 24 ساعة،
- نترك العينة لتبرد قليلاً أثناء إخراجها من الفرن (الشكل (30)).
- نضع هذه الألياف المعالجة وغير المعالجة فوق بعضها البعض تفصل بينهما حواجز من ورق مقوى لكي لا تلتصق مع بعضها البعض.
- نقوم بضغطها بواسطة جهاز ضغط يدوي لمدة 24 ساعة، لتصبح على شكل بساط بعد ذلك تكون جاهزة لتحضير المواد المركبة ( الشكل (31) و(32)).



اللوفا لمختلفة

الشكل (30) عينات المعالجات.





اللوفا المعالجة وغير

الشكل (31): صورة  
المعالجة أثناء الضغط

لإحدى أوراق ألياف

الشكل (32) صورة  
اللوفا بعد الضغط

### 4.3.III. تحضير المواد المركبة

الراتنج المستعمل في هذا التحضير هو البولي أستر غير المشبع، مع 1% من الميثيل إيثيل كيتون بيروكسيد كمحفز و 0,5% من كوبلت نفتانات كمسرّع للتفاعل.

**طريقة العمل:** يحضر القالب ذو الأبعاد (300x150 x10) mm ثم يغلف بورق غير لاصق. يوضع ورق الألياف المحضر. يحضر راتنج البولي أستر غير المشبع بأخذ كمية قدرها 600 ml منه ويضاف لها 3 cm<sup>3</sup> من المادة المصلّبة ويمزج لمدة 10 min. ثم بحذر شديد نقوم بصب الراتنج بانتظام على كل الألياف، بعد ذلك نضع ورق غير لاصق ونقوم بالضغط قليلاً بواسطة اسطوانة من الخشب دوارة للتخلص من الفقاعات الهوائية. نترك المركب ليتصلب في الدرجة العادية من الحرارة لمدة ساعتين تقريباً ثم نقوم بإدخاله في فرن درجة حرارته 60 °C لمدة 5h لنحصل على المادة المركبة. وفي الأخير نتحصل على المواد المركبة المعززة بألياف اللوفا كما هو موضح في الأشكال (33) و(34). كما يمكن اختصار هذه الطريقة في مخطط يعرف بطريقة القولبة ( الشكل (35)).

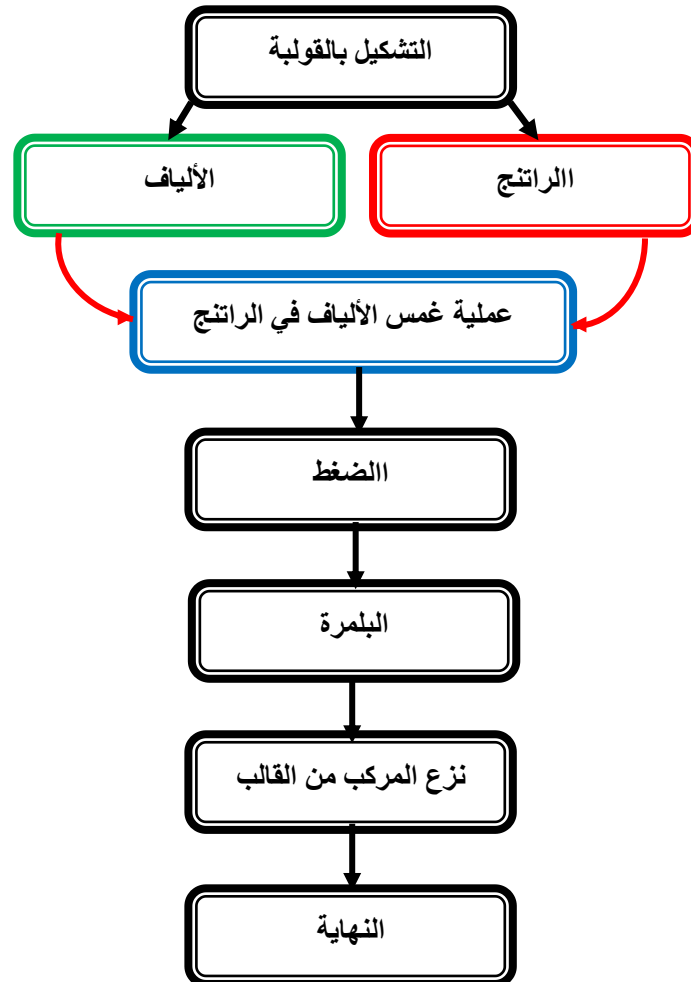


الشكل (33). المواد المركبة قبل

القص.



الشكل (34). المواد المركبة بعد القص.



الشكل (35). مختلف المراحل لتشكيل المركب بعملية القولية المغلقة [12].

### III.5.3. الأجهزة المستعملة

#### III.1.3.3. جهاز الطحن

بعد المعالجة الكيميائية تترك ألياف اللوفا بضعة أيام (أسبوع تقريبا) بهدف تجفيفها، ثم يتم تقطيعها إلى قطع صغيرة ووضعها في فرن عند درجة حرارة  $60^{\circ}\text{C}$  لمدة ساعة، وأخيرا يتم طحنها باستخدام مطحنة آلية (الشكل (36)) منتجة في ألمانيا (FRITSCH (PULVERISETTE 6 classic line) وذلك بغية تحضير العينات للاختبارات التشخيصية.

#### مبدأ عمل جهاز

يسمح جهاز الطحن، بطحن العينة عن طريق نبضات عالية السرعة يتم تغذيتها بكرات من الزركون في وعاء مطحنة له سرعة دوران تصل إلى 1100 دورة في دقيقة، الطحن المتحصل عليه يكون ذو جودة عالية جدا حيث تصل أبعاد الحبيبات إلى النانومتر.



الشكل (36) جهاز الطحن.

#### III.2.3.3. جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR)

هي تقنية فعالة تسمح بدراسة الخصائص الكيميائية والبنوية، وخاصة بهدف التعرف على المجموعات الوظيفية الموجودة في مختلف عينات ألياف اللوفا. وتهدف هاته الطريقة لدراسة التغيرات الناتجة عن المعالجات المستعملة. الجهاز المستعمل هو من نوع (SHIMADZU spectrophotometer, series 8300). أطيف الامتصاص نحصل عليها في المجال ما بين  $4000\text{ cm}^{-1}$  إلى  $400\text{ cm}^{-1}$ ، والعينات المستعملة هي من اللوفا المعالجة وغير المعالجة. طريقة الحصول على العينات يتم بتحضير أقراص بعملية الضغط وتتم كما يلي: نقوم بطحن العينات في جهاز طحن كهربائي، ثم غربلتها بواسطة غربال (Tamis-ISO  $90\mu\text{m}$ ) للحصول على مسحوق ناعم، تخلط بعد ذلك  $4\text{mg}$  من كل عينة بـ  $96\text{mg}$  بمسحوق بروميد البوتاسيوم (KBr) المجفف مسبقا في فرن كهربائي في الدرجة  $105^{\circ}\text{C}$  لمدة 12 سا. توضع العينات في قالب إسطواني ثم تضغط في جهاز ضاغط هيدروستاتيكي على شكل أقراص (80KN) لمدة 10 دقائق بعد ذلك نقوم بفصل أقراص العينات عن القالب ليتم إختبارها (الشكل 37).



التحليل الطيفي بالأشعة

الشكل (37) جهاز  
تحت الحمراء

### III.3.3.3. جهاز الوزن الحراري (ATG)

هي طريقة تحليل حرارية تراقب خلالها تغيرات في الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد وتتم العملية أثناء زيادة درجة الحرارة ( مع بقاء معدل زيادة الحرارة ثابتا). يعطينا التحليل الوزني الحراري معلومات عن خواص الطبيعية للمادة مثل التبخير، والتسامي، والكيمياء الامتصاص والإدمصاص وتغير الحالة. كذلك يعطي التحليل الوزني الحراري معلومات عن العمليات الكيميائية. يقوم جهاز التحليل الوزني الحراري بوزن العينة باستمرار أثناء تسخينها إلى درجة حرارة 2000 درجة مئوية، حيث تم تسخين العينات من 40°C إلى 500°C للألياف المعالجة وغير المعالجة. ومع زيادة درجة الحرارة تتحلل مكونات العينة ويقاس في نفس الوقت التغير المئوي في وزن العينة ثم ترسم درجة الحرارة على المحور الأفقي والتغير في وزن العينة على المحور العمودي (شكل 38).



شكل (38): جهاز التحليل الوزني الحراري (ATG)

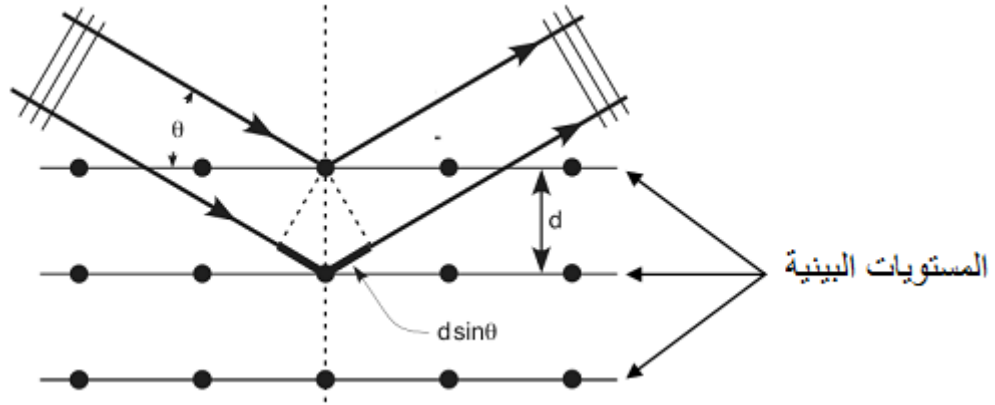
### III.4.3.3. الاختبار بجهاز حيود الأشعة السينية (DRX)

انحراف الأشعة السينية (DRX) هي تقنية للتحليل البنوي. 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  $2\theta$  للإشعاع [12-14]. هذه الأشعة المنتشرة من طرف العينة تخضع لقانون براغ [15] كما هو مبين في العلاقة (14) :

$$2d \sin\theta = k\lambda \quad (14)$$

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 (39)).



الشكل (39) مبدأ قانون براغ

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 تيار قدرها 40 mA، سرعة المسح 0.05 deg/s وضمن المجال الزاوي  $2\theta$  من 10 إلى  $40^\circ$ . نستعمل التحليل بأشعة X لدراسة تغير البنية الفيزيائية للألياف، وذلك من خلال حساب درجة التبلور (CrI). لقد قام الباحث سيقال ورفقاؤه [16] بتطوير طريقة تجريبية من أجل تقدير درجة التبلور للسيليلوز الأم (السيليلوز I). كمية السيليلوز I في السيليلوز الإجمالي يمكن التعبير عليها بالعلاقة (15):

$$(15) CrI\% = \frac{(I_{002} - I_{am})}{I_{002}} \times 100$$

حيث:

$I_{002}$ : شدة النبض الرئيسي للسيليلوز I عند زاوية  $2\theta$ .

$I_{am}$ : شدة النبض المقابلة للجزء اللابلوري من السيليلوز عند زاوية  $2\theta$ .

### III.5.3.3. مجهر المسح الإلكتروني (MEB)

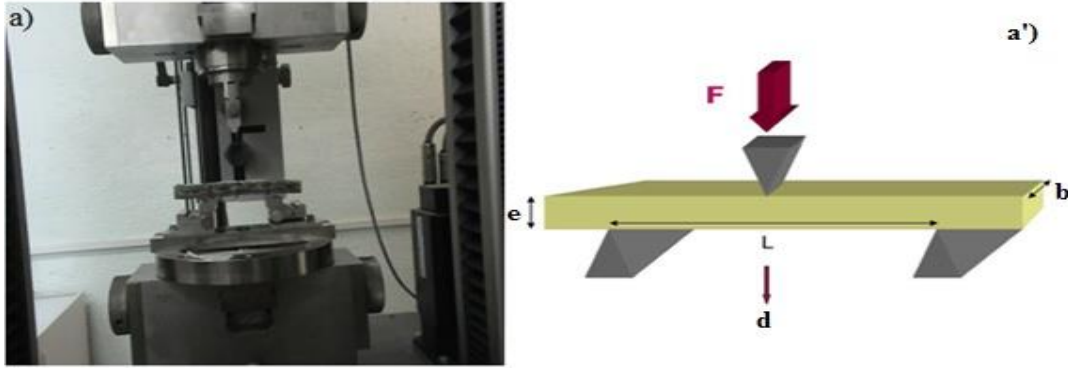
مجهر المسح الإلكتروني يستخدم في فحص وتحليل أسطح العينات المختلفة وإعطاء فكرة عن العناصر الموجودة على الأسطح. تعتمد نظرية عمله على استخدام حزمة إلكترونية عالية الطاقة تصطدم بسطح العينة عمودياً، و من ثم تجمع الإشارات المنعكسة و الصادرة من العينة باستخدام الكواشف المختلفة (DéTECTEURS).  
في هذا الاختبار قمنا بتصوير عينات من اللوفا المعالجة، وغير المعالجة وكذلك عينات من المركب المحضر. نستعمل لهذا الغرض ميكروسكوب (Jeol JSM-7001F) (الشكل(40)).



الشكل (40). مجهر  
(MEB)  
ذو ثلاث نقاط للمركبات

### المسح الإلكتروني 6.3.3.III. جهاز الثني (FLEXION)

هو اختبار ميكانيكي وهو من بين الاختبارات المستقلة عن الزمن (اختبار الصدم، الصلابة...) ويحدد قدرة تشوه المواد الموضوعة على ارتكازين وتطبق عليها قوة في منتصف المسافة بينهما. يقوم مبدأ الاختبار على قياس الثنائية: قوة/ تشوه، حيث يتم تطبيق قوة على العينة وعن طريق كاشف يتم تسجيل قيمة التشوه الناتج. العينات المستخدمة تكون على شكل متوازي المستطيلات وأبعادها معروفة. الشكل (41) يمثل جهاز الاختبار للثني ذو ثلاث نقاط مع رسم تخطيطي لعينة.



الشكل (41). (a) جهاز اختبار الثني ذو ثلاثة نقاط (a') مخطط للعينة

أبعاد العينة أخذت وفقاً للمعيار ASTM D790 حيث أبعادها  $L=20 \times e$

L: الطول الأدنى للعينة، e: سمك العينة.

$$\sigma = 3.F.L/2.b.e^2 \quad (16) \quad \text{الإجهاد:}$$

$\sigma$  الإجهاد المطبق على العينة (MPa)، F القوة القصوى (N)، L المسافة بين نقطتين الارتكاز (mm)،  
b عرض العينة (mm)، h سمك العينة (mm).

E: معامل يونغ (MPa)

$$E = L^3.m/4.b.e^2 \quad \text{حيث: m ميل منحي.}$$

## المراجع

- [1] N. Edhi SUYATMA, Thèse De Doctorat Université de Reims, (2006).
- [2] Y. Shigemasa, Y. Kishimoto, H. Sashiwa, H. Saimoto, Polym. J. 22(1990)1101-1103.
- [3] Norme française NF V03-903; Graines oléagineuses. Détermination de la teneur en eau et en matières volatiles; (Avril 1966).
- [4] Norme française NF EN 322; Panneaux a bas de bois-Détermination de l'humidité; (Juin 1993).
- [5] A. Sbiai, Matériaux composites a matrice epoxyde chargée par des fibres de palmier dattier: effet de l'oxydation au tempo sur les fibres; thèse de doctorat université de lyon (2011).
- [6] R.C.Sun, J. M.Fang, J Tomkinson, C.A.S.Hill.J. Wood Chemistry. Technol, Vol 19, pp.287-306(1999).
- [7] N. Venkateshwaran, A. Elaya Perumal and D. Arunsundaranayagam; Fiber surface treatment and its effect on mechanical and visco-elastic behaviour of banana/epoxy composite; Materials and design 47(2013) 151-159.
- [8] G. Goud and R. N. Rao; Effect of fibre content and alkali treatment on mechanical properties of Roystonea regia-reinforced epoxy partially biodegradable composites; Bull. Mater. Sci., Vol. 34, No. 7(2011)1575–1581.

- [9] M. Rokbi, H. Osmani, A. Imad and N. Benseddiq; Effect of Chemical treatment on Flexure Properties of Natural Fiber-reinforced Polyester Composite; *Procedia Engineering* 10(2011)2092–2097.
- [10] C. Oudet ;Polymeres:structure et proprietes introduction ;Ed. Elsevier masson,France(1983)249
- [11] M. J. John, B. Francis, K. T. Varghese, S. Thomas, Effect of Chemical Modification Properties of Hybrid Fiber Biocomposites. *Composites: Part A*, **39**: 352–363 (2008)
- [12] M. Laarej « Etude par Spectroscopie Raman et modélisation d'une résine composite RTM », Laboratoire Matériaux Optiques, photonique et Systèmes Unité de recherche commune UPV-Metz – Supélec – CNRS, pp.8-18(2010)
- [13] V. O. Tanobe, T. H. Flores-Sahagun, S. C. Amico, G. I. Muniz, K. G. Satyanarayana, Sponge gourd (*Luffa cylindrica*) reinforced polyester composites: preparation and properties. *Defence Science Journal*, 64(3), 273-280 (2014).
- [14] N. Sgriccia, M.C. Hawley, and M. Misra; Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites; *Composites Part A Applied Science and Manufacturing* 39, (2008)1632-1637.
- [15] J. Peng ; Détermination des contraintes résiduelles dans des revêtements par diffraction des rayons X en faible incidence ; Thèse de Doctorat, l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris (2006).
- [16] L. Segal, J. J. Creely, A. E. Martin, 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.
- [17] H. P. Klug and L. E. Alexander; X-ray diffraction procedures; Ed. Wesley, London (1969).



## الفصل الرابع

### النتائج ومناقشتها

## مقدمة

للمعالجة الكيميائية دور كبير في تحسين خصائص الألياف حيث يتم التخلص من المركبات السطحية غير السيليلوزية (مثل الزيوت ، والدهون) وبالتالي تقوى الروابط السطحية فيزداد الإلتحام والتلاصق بين الألياف والمصفوفات [1] . في هذا الفصل سنتطرق إلى أهم الاختبارات التشخيصية والتي من خلالها يمكن معرفة مدى تأثير المعالجة الكيميائية للألياف على الكفاءة الميكانيكية للمركبات المحضرة.

ومن بين الاختبارات المستعملة لهذا الغرض هو: اختبار امتصاص الماء, التحليل باستعمال الأشعة تحت الحمراء (IRTF)، التحليل باستعمال الأشعة السينية (DRX) ، التحليل باستعمال جهاز التحليل الوزني الحراري (ATG) ، التحليل باستعمال جهاز الماسح الإلكتروني (MEB).

## 1.IV. المكونات الأساسية لألياف اللوفا

## 1.1.IV. المواد الجافة:

تختلف كمية المادة الجافة للمواد النباتية تبعاً للرطوبة النسبية ، حيث أن في حالة ألياف اللوفا المدروسة وجدنا أن نسبة المواد الجافة لها بلغت 90 %.

## 2.1.IV. المواد المعدنية:

بلغت نسبة المواد المعدنية لألياف اللوفا المدروسة 13.04%. وهي أكبر بقليل من التي وجدت في ألياف الديس التي من قبل الباحثة كالية ورفقائها 11.4% [2] .

كما ذكر نيتو ورفقائه [3] أن مقدار نسبة ألياف الكناف (kénaf) للمواد المعدنية تقدر بـ 8.3%. بالمقابل ذكر بن يحي ورفقائه [4] أن مقدار نسبة ألياف الحلفاء للمواد المعدنية تقدر بـ 3.5% وهذا مما يدل على أن ألياف اللوفا غنية بالمواد المعدنية.

## 3.1.IV. المواد الدهنية والشمعية:

هذه المواد عموماً تكون بنسب ضعيفة حيث قدرت بـ 1.24% وهي موجودة على السطح الخارجي لألياف اللوفا.

## 4.1.IV. السيليلوز، الهيميسيليلوز واللجنين:

من خلال عملية الاستخلاص المتبعة باستعمال طريقة كلازون (Klason)، وعن طريقها نذكر المكونات الأساسية للألياف النباتية وهي السيليلوز، الهيميسيليلوز واللجنين. حيث وجدنا أن نسبة السيليلوز في ألياف اللوفا تقدر بـ 54 %، كما أن السيليلوز هو المركب المهم والرئيسي للألياف، أما بالنسبة للهيميسيليلوز واللجنين فهي تلعب دور المواد الرابطة التي تضمن التصاق الليفيات السيليلوزية مع بعضها البعض وقد بلغت نسبتها على التوالي: 20 % هيميسيليلوز، 15 % لجنين، والتي يتم التخلص بجزء منها بمختلف المعالجات الكيميائية لتحسين خصائص الألياف ، والجدول (13) يلخص مكونات نبات اللوفا المتحصل عليها بعد عملية الاستخلاص.

## جدول (13) مكونات ألياف اللوفا

ألياف اللوفا	النسبة المئوية (%)	
مكونات المواد العضوية	السيليلوز	54
	الهيميسيليلوز	20
	اللجنين	15
	الدهون	1.24
المواد المعدنية	13.04	
المواد العضوية	76.96	
المواد الجافة	90	
الرطوبة	7.7	

و من الأمثلة عن المكونات الكيميائية لبعض الألياف النباتية ، نذكر منها ما هو مبين في الجدول (14) [5]

**جدول (14) المكونات الكيميائية لبعض الألياف النباتية**

نوع الليف	السيليلوز	الهيميسيليلوز	اللجنين	الرماد
الحيت (Jute)	60	22.1	15.9	1.0
السيزال (Agave)	56-43	24-21	9-7	1-0.6
الموز (Banane)	65-60	8-6	5-10	4.7
الليفة (Luffa)	62	20	11.2	0.4
الليفة [6-7] (Luffa)	55-90	8-22	10-23	0.4

حيث نلاحظ أن النتائج المتحصل عليها للمكونات الكيميائية المستخلصة لألياف اللوفا (السيليلوز، الهيميسيليلوز و البكتين) متقاربة مع بعض الألياف التي تحصل عليها الباحثين مثل بيريرا ورفقاها [5] وكذلك سيكيرة وساكي ورفقاؤها [6,7].

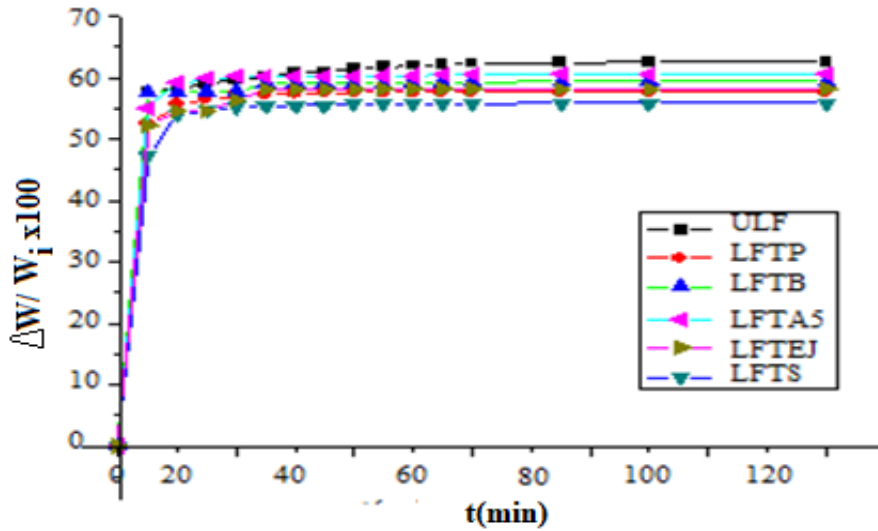
#### 2.IV.2. الاختبارات الفيزيائية

##### 1.2.IV. اختبار امتصاص الماء

يتأثر سلوك امتصاص الماء للمركبات الطبيعية إلى حد كبير بالعديد من العوامل مثل المعالجات الكيميائية والفيزيائية للألياف الطبيعية ، وخاصة النفاذية، وزمن تبلور الراتنج المضاف ، من خلال الشكل (42)، يمكن ملاحظة أن كمية امتصاص الماء يحدث بشكل كبير في بداية الامتصاص . بعد هذه الفترة ، تميل القيم إلى الاستقرار والوصول إلى قيم ثابتة تقريبا، وهذا ما أكده م. نوبريغا ورفقاؤه [8] .

وفقاً لبولا ورفقاؤه [9] تميل المواد اللجنوسليلوزية إلى امتصاص الرطوبة ، لأنها تتكون أساساً من السليلوز واللجنين والهيميسيليلوز . كما يعتبر الهيميسيليلوز مسؤولاً بشكل أساسي عن امتصاص الماء ، حيث أن السليلوز غير البلوري واللجنين يلعبان أيضاً دوراً مهماً في هذه العملية . تنتفخ جدران الخلايا للألياف اللجنوسليلوزية نتيجة لتشبع الماء، ثم يبدأ الماء في شغل الفراغات الموجودة بين حزم الألياف ويغير أبعادها [10] . تتوافق أعلى نسبة مئوية لقيمة امتصاص الماء مع عينة ULF. قد يكون هذا بسبب المجموعات القطبية والهيدروكسيل الموجودة في الألياف الطبيعية ، القادرة على تكوين روابط هيدروجينية مع الماء [11، 12] .

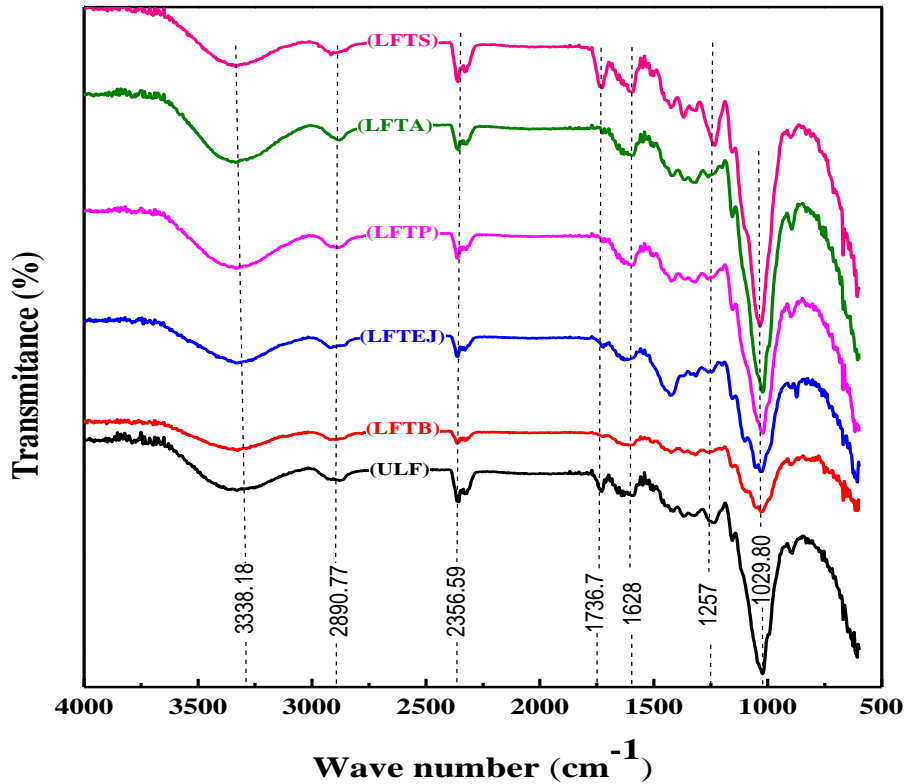
أظهرت الأبحاث السابقة [13] أن مادة التعزيز تمتص الماء عن طريق تكوين رابطة هيدروجينية مع جزيئات الماء . ومع ذلك ، عند مقارنة أنواع الألياف ، تعطي كل ألياف نتائج مختلفة ومقاومة للماء . بالنسبة للعينات المعالجة بالصودا، البرمنغانت، البيكرومات، ماء جافيل والسيلان، يمكن ملاحظة أن النسبة المئوية للمياه الممتصة عند التشبع انخفضت مقارنة بالعينة غير المعالجة . قد يكون هذا بسبب انخفاض في مجموعات الهيدروكسيل مما يؤدي إلى انخفاض في الخاصية الهيدروفيلية للماء للألياف . بالنسبة للعينة المعالجة بالسيلان، حيث تشكل السيلانات على سطح الألياف شبكة من جزيئات البولي سيلوكسان (polysiloxane) ، والتي تقوم بتغيير مورفولوجيا الألياف مسببة تضخم للألياف اللوفا ، وزيادة أبعاد ومسامية الألياف . كما تقلل المعالجة بالسيلان من امتصاص ألياف اللوفا للماء [14] .



شكل (42) . تأثير امتصاص الماء بدلالة زمن الغمس في الماء لعينات من اللوفا المعالجة وغير المعالجة.

#### 2.2.IV. اختبار الأشعة تحت الحمراء FTIR لألياف اللوفا

يبين الشكل (43) أطياف الأشعة تحت الحمراء لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة . تُعزى القمم المميزة والواسعة بالقرب من 3338.18 سم<sup>-1</sup> إلى اهتزاز تشوه لمجموعات الهيدروكسيل (OH) لمتعدد السكاريد، وهو يظهر على شكل قمة امتصاص عريضة في الألياف المعالجة وخاصة في وسط قلوي (LFTA5) وهذا مما يدل على فعالية المعالجة الكيميائية. كما تظهر قمة امتصاص عند العدد الموجي الذي قيمته 2890.77 سم<sup>-1</sup> وذلك راجع إلى مجموعة الميثيل (CH<sub>3</sub>-) والميثيلين . يرتبط نبض الامتصاص الذي لوحظ عند العدد الموجي 1736.70 سم<sup>-1</sup> باهتزاز مجموعة الكربونيل (CO) للألياف غير المعالجة. ويختفي هذا الامتصاص في حالة العينات المعالجة بالقلويات ، وثنائي كرومات ، وبرمنغنات البوتاسيوم وماء الجافيل و هذا يعني أنه تمت إزالة الهيميسليلوز والبكتين من سطح الألياف.



الشكل (43) الأشعة تحت الحمراء لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.

تُعزى الذروة عند 1628 سم<sup>-1</sup> إلى تشوه في جذر OH ، بسبب الخاصية الهيدروفيلية لألياف اللوفا. كما ترتبط الذروة عند حوالي 1029.80 سم<sup>-1</sup> مع اهتزاز رابطة ثاني أكسيد الكربون للسيليلوز والتي تظهر في جميع ألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة. تتوافق الذروة عند 1257 سم<sup>-1</sup> مع اهتزاز مجموعة الأستيل (C = O) للجنين . تنخفض شدة هذه الذروة ، ويرجع ذلك إلى لإزالة اللجنين من سطح الألياف. كل هذه النتائج تؤكد أن المعالجة الكيميائية لألياف اللوفا ضرورية لإزالة الهيميسيليلوز والجنين. والجدول (15) يلخص أنواع الاهتزازات للمجموعات الوظيفية للألياف النباتية.

الجدول (15). اهتزاز المجموعات الوظيفية المميزة للألياف النباتية.

المراجع	المصدر	نوع الاهتزاز	طول الموجة (سم <sup>-1</sup> )
[15-17]	متعدد السكريات	استطالة OH-	3330 ~

[18] [19]	السليولوز ، هيميسليولوز	استطالة -CH	2918 ~
[17]	السليولوز ، هيميسليولوز	استطالة -CH	2850 ~
[20,21]	البكتين ، هيميسليولوز	استطالة - CO	1730 ~
[22]	ماء	-OH	1630 ~
[22]	اللجنين	C= C- عطرية استطالة متناظرة	1513 ~
[17]	السليولوز	-CH <sub>2</sub>	1422 ~
[17]	متعدد السكريات	-CO، -CH عطرية	1367 ~
[17,23]	هيميسليولوز	استطالة -CO	1240 ~
[24]	اللجنين		
[17]	السليولوز	التشوه المضاد لتناظر الرابطة C-O-C	1160 ~
[17]	السليولوز	-OC ، استطالة -OH	1030 ~
[22]	متعدد السكريات	استطالة روابط β-غليكوزيدية لحقات الجلوكوز	896 ~
[19]	متعدد السكريات	تشوه COOH	660 ~
[20]	اللجنين	تشوه -CH العطري	830 ~

#### 3.2.IV. التحليل بواسطة جهاز حيود الأشعة السينية (DRX)

إن اختبار الأشعة السينية يهدف للتأكد من إزالة الجزء غير المتبلور غير السيليلوزي (اللجنين, الهيميسيليلوز... الخ), مما يشير إلى فعالية المعالجة الكيميائية وبالتالي إلى زيادة درجة التبلور. من خلال الشكل الذي يمثل قيم شدة النبض بدلالة زاوية الحيود، حيث أنماط الحيود لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة لها ذروتين، الذروة الأولى تظهر عند زاوية حيود  $2\theta$  والتي تساوي  $22.7^\circ$ ، وهي تتوافق مع المستوي البلوري (002) من

السيليلوز I. أما الذروة الثانية فتظهر عند زاوية حيود  $2\theta$  والتي تساوي تقريبا  $18.9^\circ$  والتي تتوافق مع الجزء غير المتبلور والمتبلور للعينة.

يوضح الجدول (14) مؤشر التبلور (CI) الذي تم الحصول عليه باستخدام طريقة سيقال (Segal) [25]، الذي بدوره يعطي فكرة عن قوة الألياف والتي بدورها تزيد من الخصائص الميكانيكية للمركب المحضر.

لقد لوحظ أن هذا المؤشر يزداد مع معالجة الألياف وذلك مقارنة بالألياف غير المعالجة (الشكل (44)). حيث بلغت قيمة المؤشر لألياف اللوفا المعالجة بالبيكرومات (0.2%) 70.8% وذلك بزيادة قدرها 39.82% مقارنة بالألياف غير المعالجة.

إن تأثير البيكرومات وهي مادة مؤكسدة على ألياف اللوفا هو تأثير ايجابي نظرا لأنها تقوم بالتقليل من الخاصية الهيدروفيلية للألياف مما يزيد التوافق بينها وبين المصفوفة وبالتالي يزداد الالتصاق البيني بين التعزيز والمصفوفة ومن ثم تتحسن الخصائص الميكانيكية للمركبات المدروسة [27,26].

بالنسبة لمعالجة ألياف اللوفا بمحلول قلوي مثل الصود تركيزها 5% قدر مؤشر التبلور بـ 59.9% وذلك بزيادة قدرها 28.86% مقارنة بالألياف غير المعالجة، ونفس النتيجة وجدها مقلوي ورفقاؤه [28]

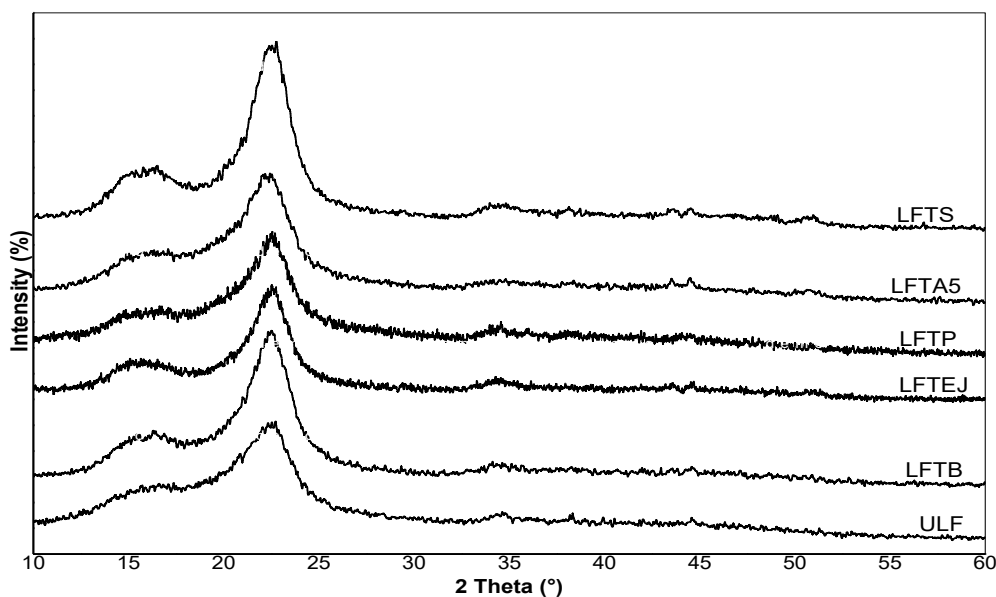
والمعالجة بالصود يمكن أن يقلل من مجموعة الهيدروكسيل المحبة للماء والموجودة على سطح الألياف الطبيعية، كما يزيل أيضا جزء من اللجنين والشمع والبكتين والهيميسيليلوز والزيت الذي يغطي المواد [29].

كذلك المعالجة القلوية تزيد من خشونة سطح الألياف وتصبح أكثر تجانسا بسبب ازالة الفجوات المجهرية (micropores) مما يعزز القدرة على نقل الاجهاد بين الليفات والمصفوفة [30].

بالنسبة لألياف اللوفا المعالجة بمحلول السيلان (0.5%) لوحظ زيادة في مؤشر التبلور حيث بلغت قيمته 68.48% وذلك بزيادة تقدر بـ 37.78% مقارنة بالألياف غير المعالجة.

و بالنسبة لألياف اللوفا المعالجة بماء الجافيل لوحظ زيادة في مؤشر التبلور حيث بلغت قيمته 62.14% وذلك بزيادة تقدر بـ 31.43% مقارنة بالألياف غير المعالجة.

وكذلك بالنسبة لألياف اللوفا المعالجة بمحلول برمنغنات البوتاسيوم (0.0125%) والذي يعتبر من بين المؤكسدات القوية لوحظ زيادة في مؤشر التبلور حيث بلغت قيمته 67.39% وذلك بزيادة تقدر بـ 36.77% مقارنة بالألياف غير المعالجة. وهي نتيجة جيدة مقارنة مع نتيجة الباحث محانة. ن ورفقاؤه [31].



الشكل (44). أنماط حيود الأشعة السينية لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.

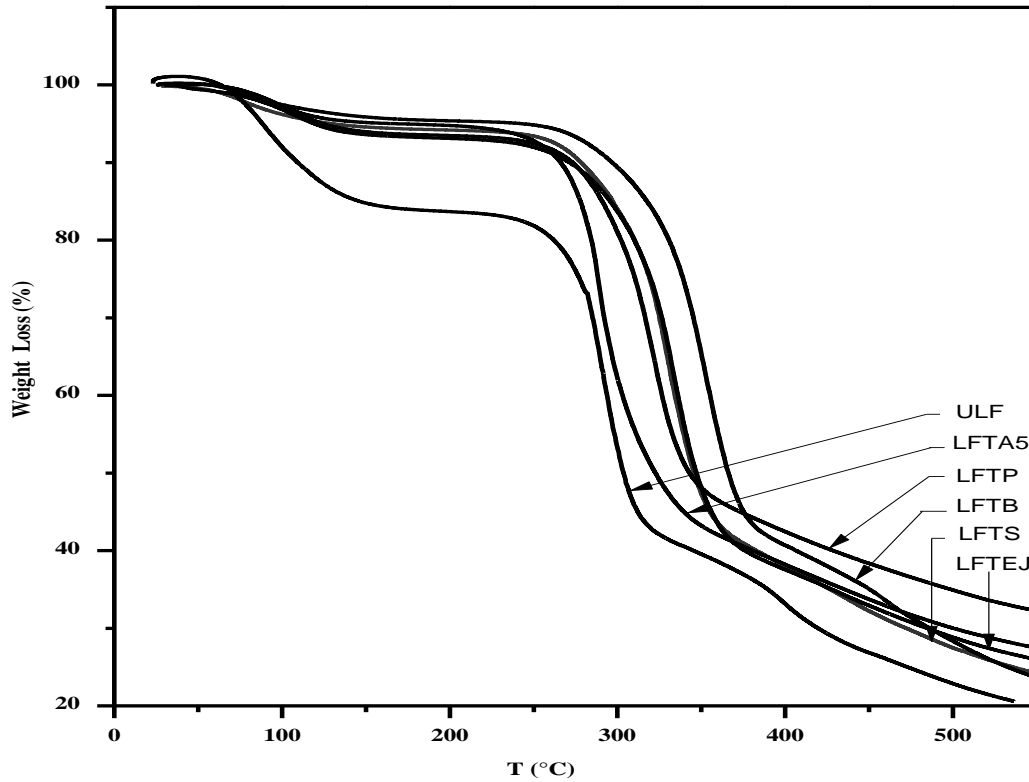
الجدول (16). مؤشر التبلور لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.

عينة	$I_{am}$	$I_{002}$	CI (%)
ULF	1012.3	580.88	42.61
LFTA5	1100	441.1	59.9
LFTB	1370	400	70.80
LFTP	1150	375	67.39
LFTS	1630	500	68.48
LFTEJ	1139.9	431.5	62.14

### 3.2.IV. اختبار التحليل الوزني الحراري (ATG)

يوضح الشكل (45) نتائج التحليل الحراري الوزني لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة، حيث تشير المنحنيات إلى فقدان الوزن عند درجة حرارة منخفضة والذي يُعزى عادةً إلى فقدان الماء مثل الرطوبة الممتصة أو الماء داخل الألياف. إن فقدان الوزن للألياف غير المعالجة مشابه للقيم المسجلة للألياف اللجنوسيليلوزية الأخرى، مثل الجوت (10.2%) [32] والكتان (6.3%) [33]. ومع ذلك، يمكن ملاحظة أن فقدان الوزن للألياف المعالجة كان أقل بكثير من الألياف الخام. هذه النتيجة هي إشارة غير مباشرة إلى أن العلاج كان فعالاً في تقليل الطابع المحبة للماء (القطبية) لألياف اللوفا. من الواضح أن الاستقرار الحراري للألياف المعالجة كيميائياً أعلى من الاستقرار الحراري للألياف غير المعالجة. ومن خلال المنحنى تُظهر الألياف المعالجة بـ  $K_2Cr_2O_7$  أفضل استقرار حراري، حيث تقدر نسبته بـ 6.90% وهي أقل من الألياف الغير المعالجة والمقدرة بـ 9.7% وهذا لوجود الماء في الألياف، وهذا مما يدل على نجاعة تأثير المعالجة الكيميائية من تقليل الخاصية الهيدروفيلية للألياف المدروسة.





الشكل (45). التحليل الحراري الوزني لألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة.

من خلال الجدول 17 الذي يوضح مقدار النسبة المئوية لفقدان الكتلة عند درجات حرارة مختلفة  $100^{\circ}\text{C}$  لكل نوع من الألياف المعالجة وغير المعالجة. والمرحلة الثانية من التحلل عند  $264-278$  درجة مئوية وهي تتعلق بالتحلل الحراري للبكتين و الهيميسليلوز لألياف اللوفا [34]. الحد الأقصى لمعدل التحلل يحدث تقريباً عند حوالي  $313$  درجة مئوية للألياف غير المعالجة ، ولكنه يزيد إلى  $337$  و  $342$  و  $360$  درجة مئوية للألياف المعالجة بالقلويات والبرمنغنيت والسيلان وماء الجافيل و البيكرومات . حيث اكتمل التحلل الحراري في هذه الخطوة للألياف غير المعالجة والمعالجة بالقلويات عند  $417$  درجة مئوية . ومع ذلك ، يتم استكمال التحلل الحراري للألياف المعالجة بالبيكرومات  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  عند  $429$  و  $435$  درجة مئوية بشكل عام. كما أن معظم الدراسات والأبحاث تتوافق مع أن التحلل الحراري للبكتين والهيميسليلوز للألياف النباتية تكون من  $200$  إلى  $300^{\circ}\text{C}$  [35,36]. تتحلل المواد السليلوزية قليلاً في درجات حرارة أعلى للألياف المعالجة. مقارنة بالغير معالجة قد تكون الزيادة في الاستقرار الحراري لمادة السليلوز ناتجة عن ترتيب السلاسل السليلوزية داخل الألياف النباتية [37,38]. كما أكد بعض الباحثين أن التحلل الحراري للسليولوز يكون بين  $300$  و  $400^{\circ}\text{C}$  [39-42]. من خلال المنحني (الشكل (43)) نلاحظ كذلك زيادة واضحة في مجال التحلل الحراري للعينات المعالجة مقارنة بالليفا غير المعالجة وهذا مما يدل على المعالجة الجيدة لألياف اللوفا مما يزيد من تحسن الخصائص الميكانيكية لها.

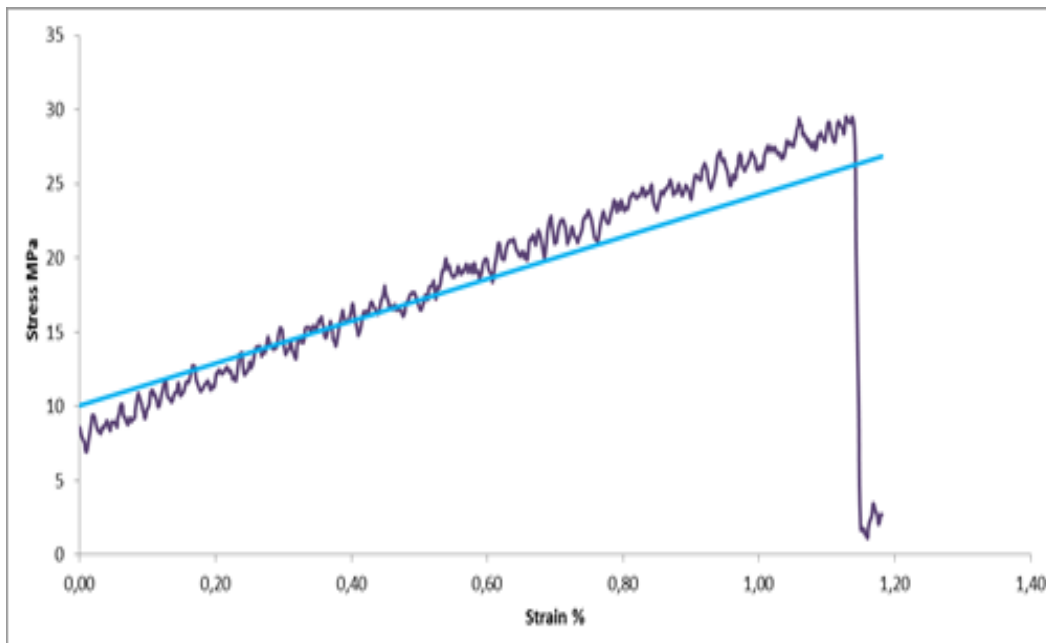
جدول 17 فقدان الكتلة للعينات المعالجة وغير المعالجة عند  $100^{\circ}\text{C}$

نوع الليف	النسبة المئوية (%)
ULF	9.7
LFTA5	5.11
LFTB	4.58
LFTP	6.51
LFTEJ	6.90
LFTS	5.79

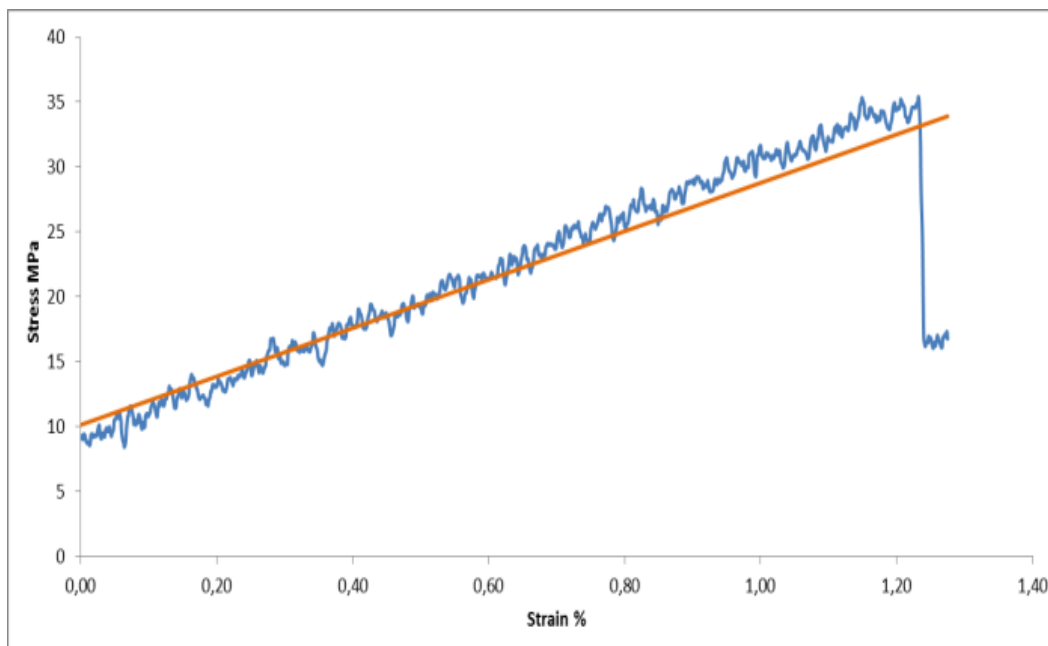
### 3.IV. الاختبارات الميكانيكية.

#### 1.3.IV. اختبار اجهاد الثني

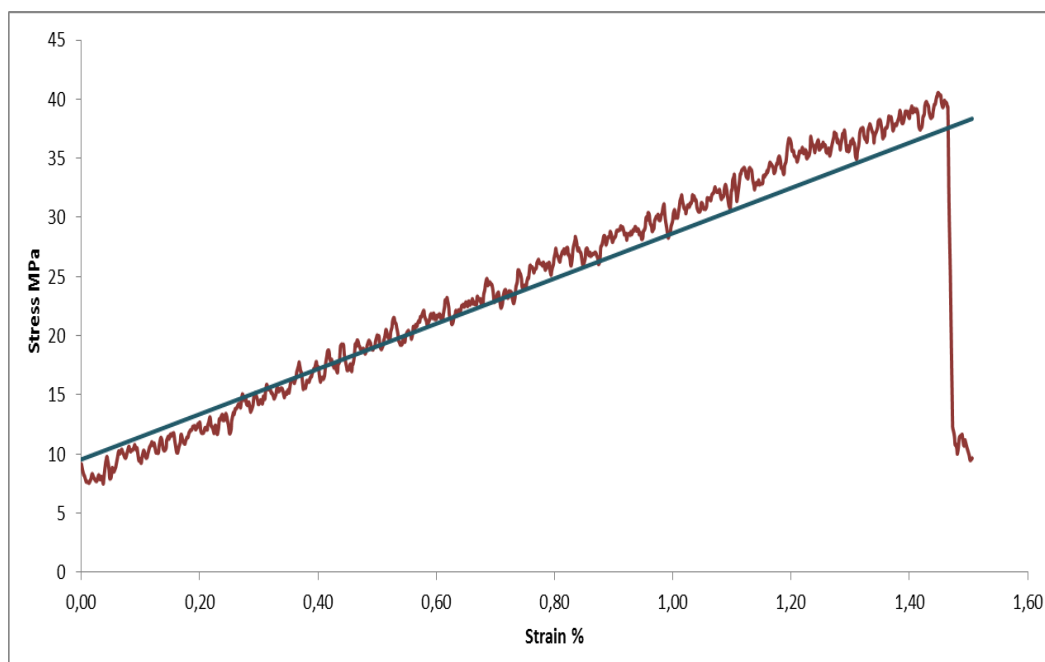
إن اختبار الثني يعتبر من بين أهم الاختبارات التي تميز الخواص الميكانيكية للمواد المركبة المحضرة من الألياف. من خلال المنحنيات إجهاد- استطالة الموضحة في الشكل (46)، (47)، (48)، (49)، (50)، (51) لكل من ألياف اللوفا غير المعالجة والألياف المعالجة على التوالي بالصودا 5 %، والبرمنغنات 0.125 %، والبيكرومات 0.2 %، وماء الجافيل 13° ومحلول السيلان 5 %. تبين أن قيمة إجهاد الثني تزداد بالمعالجة الكيميائية لتصل إلى أقصى قيمة وهي للألياف المعالجة بماء الجافيل (الشكل (48)). بلغت قيمة إجهاد الثني أقصى قيمة وهي 43.2 MPa كما هو ملاحظ في الجدول (16) مقارنة مع ورق ألياف اللوفا غير المعالجة وذلك بزيادة قدرها 32.63 %، وقد يكون هذا بسبب قوة الالتصاق البيئي للمصفوفة والألياف.



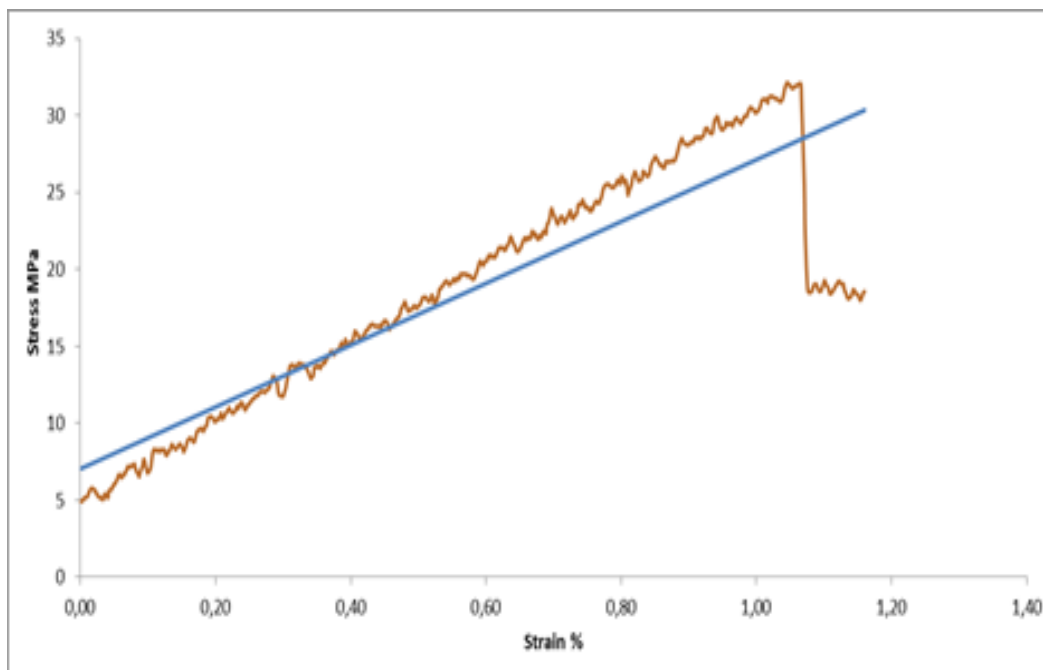
الشكل (46): منحي الثني للمركب ULF/UP.



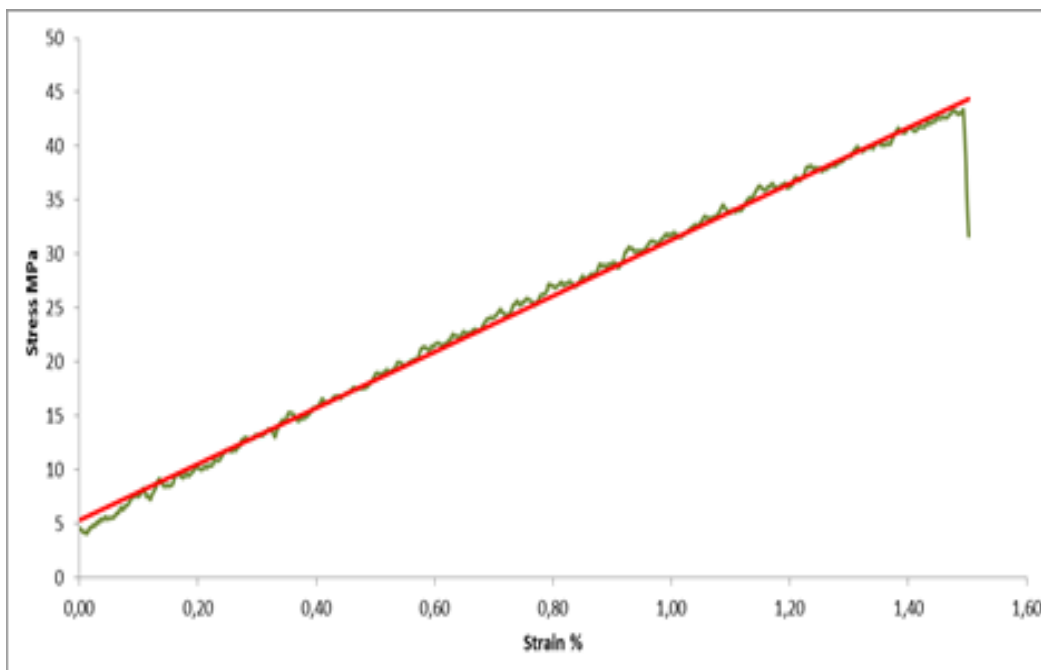
الشكل (47): منحي الثني للمركب LFTA5/UP.



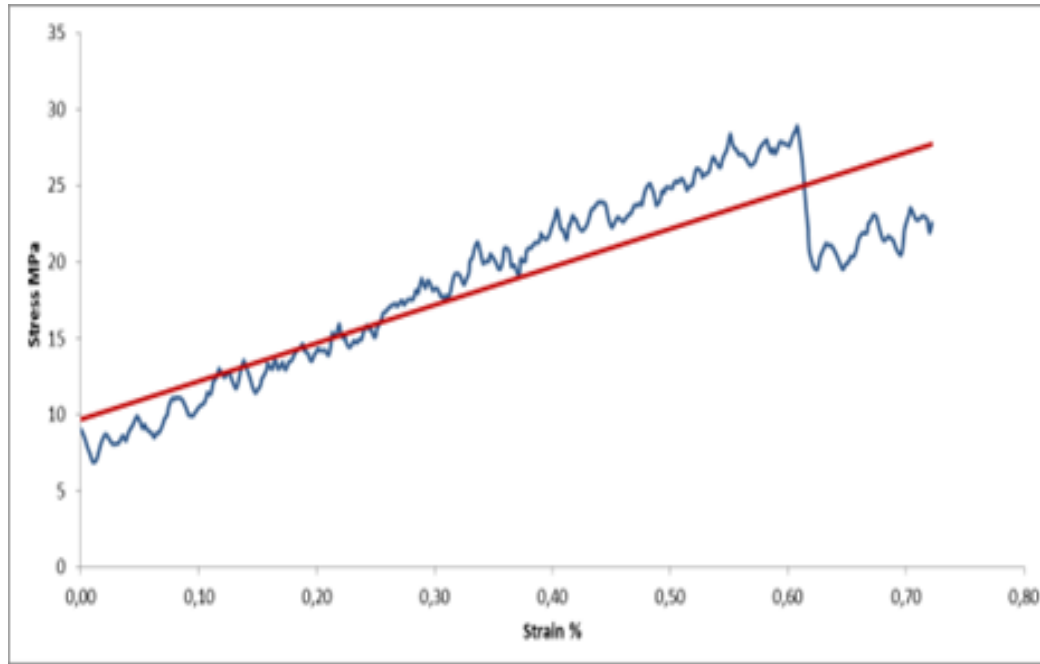
الشكل (48): منحي الثني للمركب LFTB/UP.



الشكل (49): منحي التني للمركب LFTP/UP.



الشكل (50): منحي التني للمركب LFTEJ/UP.



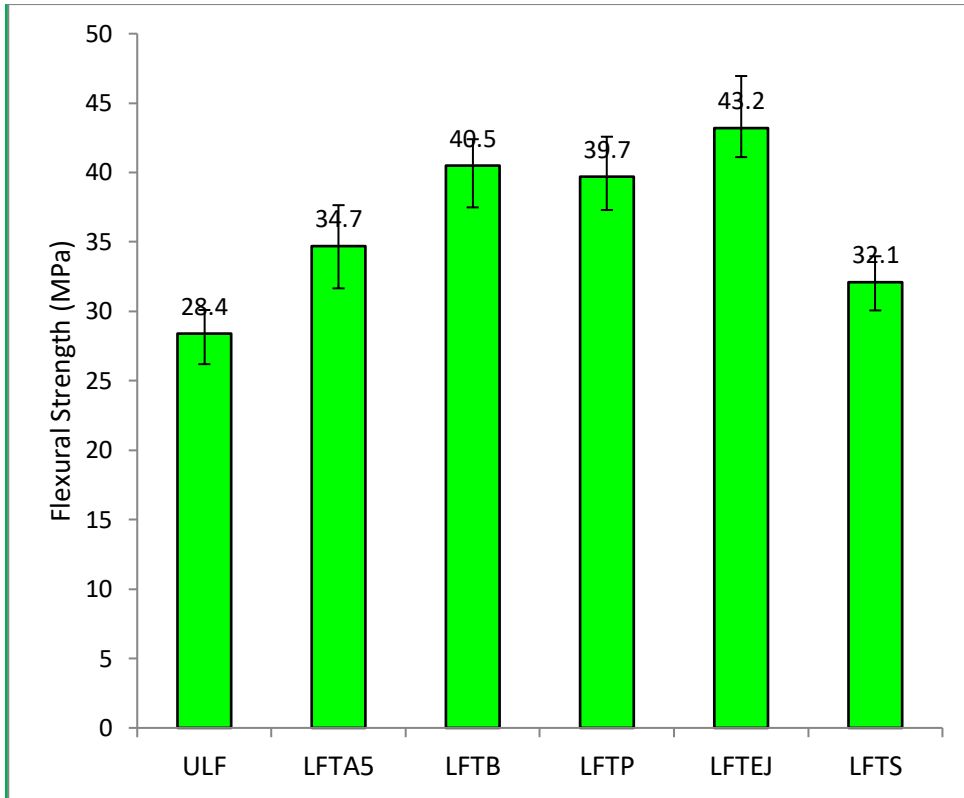
الشكل (51): منحي الثني للمركب LFTS/UP.

#### 2.3.IV. اختبار معامل الثني

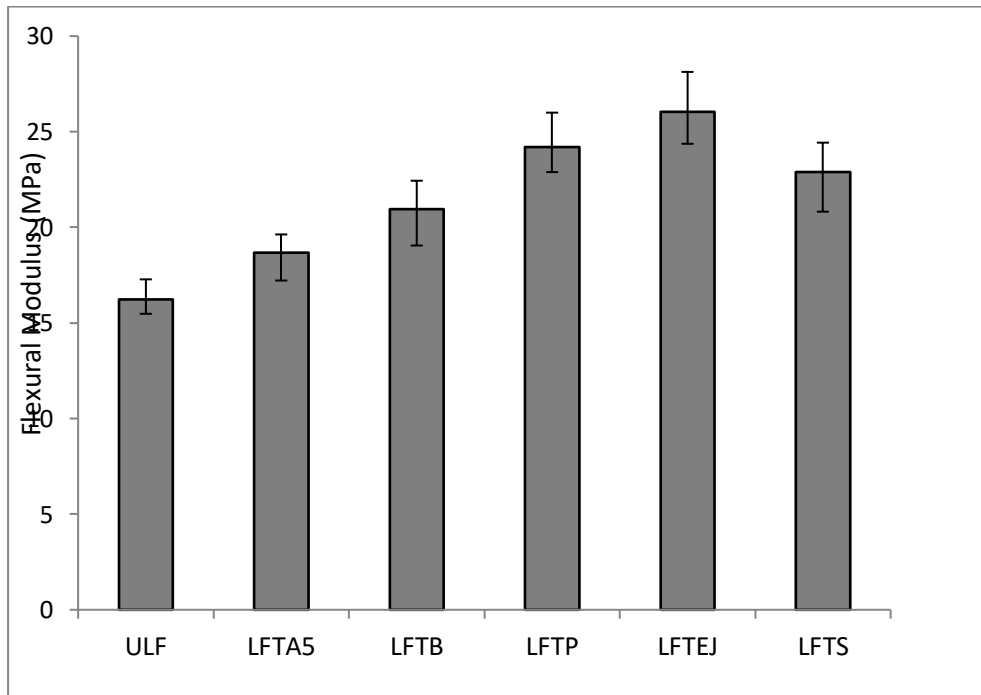
من خلال الشكل (53) نلاحظ أن المعالجة الكيميائية لألياف اللوفا لها تأثير إيجابي على الخصائص الميكانيكية للمركبات المحضرة لاسيما قيم معامل الثني، وذلك مقارنة بالمركبات المحضرة بألياف اللوفا غير المعالجة. حيث بلغت أعلى قيمة لمعامل الثني 26.04 MPa مقارنة بالمركبات المحضرة بألياف غير معالجة التي بلغت القيمة 14.24 MPa (الجدول 18). إذن المعالجة الكيميائية للألياف لها دور في تحسين الخصائص الميكانيكية للمركبات المدروسة.

جدول (18) قيم إجهاد ومعامل الثني للألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة

المركب	O(MPa)	E(MPa)
ULF/UP	29,1	14,24
LFTA5/UP	34,7	18,66
LFTP/UP	31,8	20,19
LFTB/UP	40,5	19,16
LFTEJ/UP	43,2	26,04
LFTS/UP	28,4	24,88



الشكل (52). تأثير المعالجة الكيميائية للألياف على قوة الثني للمركب بوليستر غير مشبع/ألياف اللوفا.

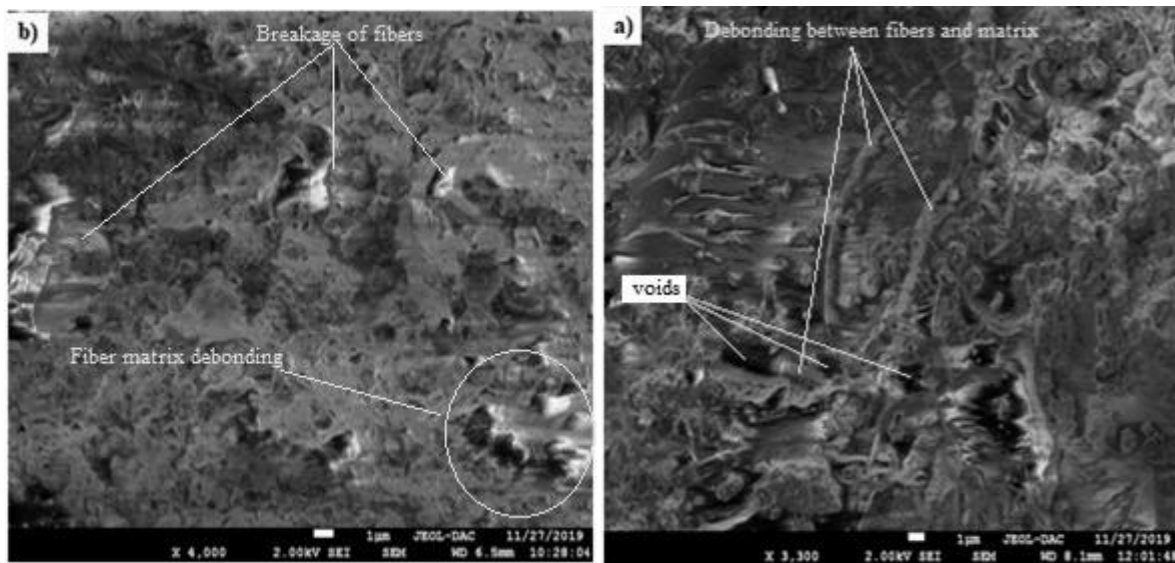


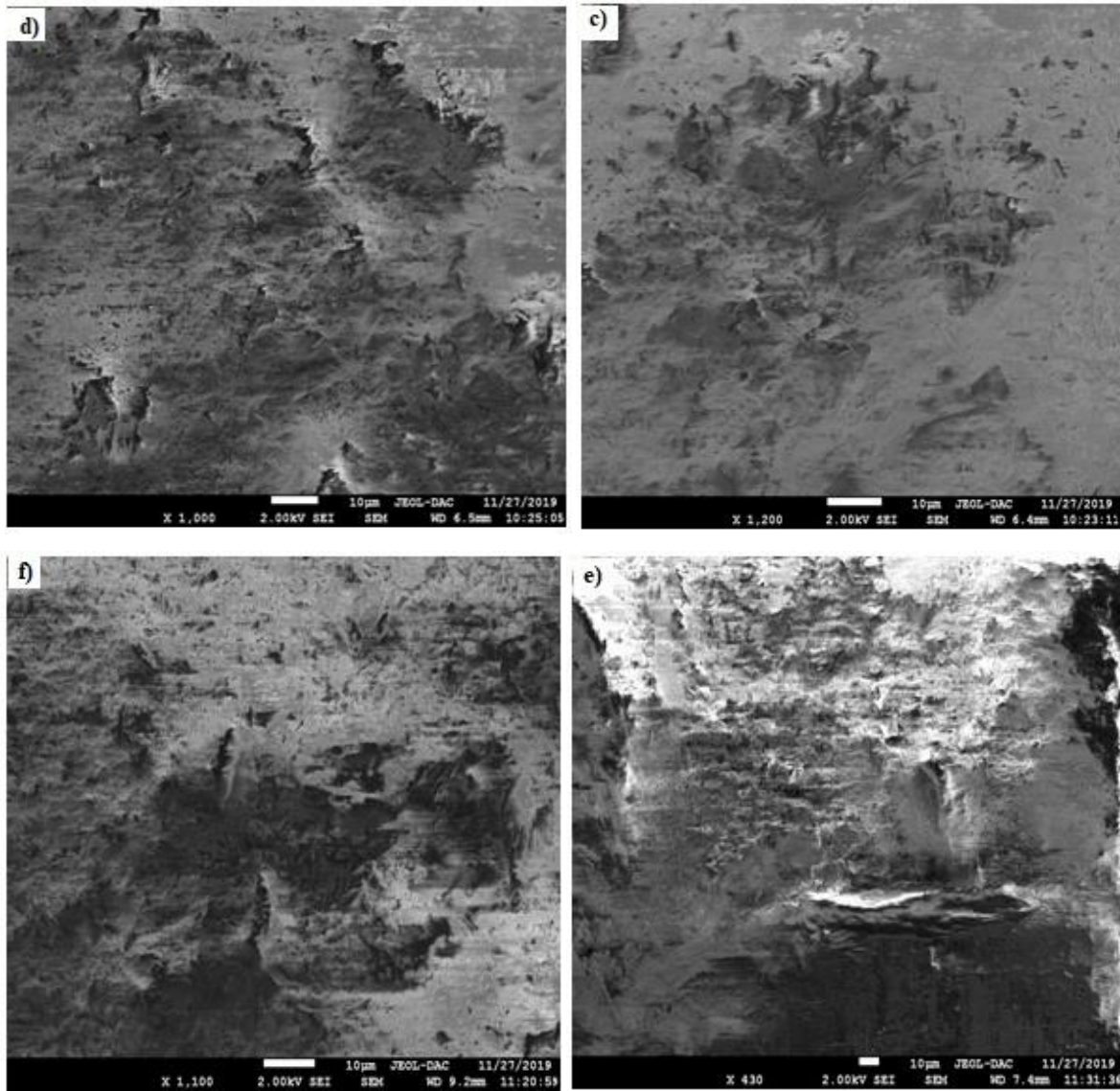
الشكل (53). تأثير معالجة الألياف على معامل الثني لألياف اللوفا - مركب البوليستر غير المشبع.

#### 4.IV اختبار الماسح الالكتروني (MEB)

اختبار الماسح الالكتروني لمقاطع من مركبات المعززة بألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة موضح في الشكل (53)، ومن خلال الصور السطحية للمقطع العرضي على عينات المواد المركبة المحضرة ، يمكن معرفة مدى قوة الالتصاق البيني للألياف

والمصفوفة والذي يؤدي إلى تغير في الخصائص الميكانيكية للمركبات المدروسة. من خلال تحليل وتفسير واجهة المركبات المحضرة يتضح من الشكل (54) (أ) لعينة ULF /UP ، أن هناك تمزق في حزم الألياف ذات التكتلات الواضحة في المقطع العرضي للمادة ، وكانت هناك علامات تمزق وثقوب متبقية ، مما يشير إلى ضعف الالتصاق بين ألياف اللوفا غير المعالجة و مصفوفة البوليستر غير المشبع . يُظهر سطح الكسر لمركبات الألياف المعالجة القلوية (LFTA5 / UP) كما في الشكل 50 (ب) تكسر الألياف بدلاً من الانزلاق عن المصفوفة، مما يشير إلى قوة بينية أفضل [39] . يخلق انحلال مكونات السليلوز في القلويات فراغات في بنية الألياف . مما يساهم في فقدان الهيميسليلوز ويؤدي بالمكونات الأساسية في شد سلاسل السليلوز ، كما يمكن إعادة توجيه الألياف في حاله تطبيق قوة الشد على المركب وذلك في اتجاه الشد [40] . بالنسبة للعينات الممتلئة في الشكل 50 (ج)، (د)، (هـ)، 50 (و) ، كان عدد الفراغات أقل من تلك الموجودة في مركب ULF / UP . بالإضافة إلى ذلك ، ظهور كسر في الألياف بسبب الالتصاق الجيد بين الألياف والمصفوفة. يؤدي ذلك إلى تحسن في الخواص الميكانيكية للمركبات المقواة بألياف اللوفا المعالجة.





الشكل (54). صورة بالمسح الالكتروني لسطح مكسور من المركبات: (أ). ULF / UP ، (ب). LFTA5 / UP (ج). LFTP / UP ، (د). LFTEJ / UP ، (هـ). LFTB / UP ، (و). LFTS / UP

### المراجع

- [1] S.Kalia, B.S.Kaith, I.Kaur; Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composite ; Polym. Eng.sci 49, 7(2009)1253-1272.
- [2] S. Mouhoubie ;Caractérisation de l'interface d'un composite fibre végétale/polypropylène;thèse Magister, Université Farfat Abbas,mécaique appliqué:Algérie (2008)
- [3] I.V. Weyenberg, T.C. Truong, B. Vangrimde, and I. Verpoest, Compos. A, Vol 37, p.1368(2006)
- [4] بن يحي عز الدين، تأثير المعالجة القلوية على بنية الحلفاء (منطقة بوسعادة) وانعكاسها على الخصائص الميكانيكية لمركب ذو أساس من البولي استر غير المشبع، أطروحة دكتوراه علوم، كلية العلوم، جامعة المسيلة.
- [5] Pereira, P. H. F., Rosa, M. D. F., Cioffi, M. O. H., Benini, K. C. C. D. C., Milanese, A. C., Voorwald, H. J. C., & Mulinari, D. R. (2015). Vegetal fibers in polymeric composites: a review. Polímeros, 25(1), 9-22.



- [6] Siqueira, G., Bras, J., & Dufresne, A. (2010). Luffa cylindrica as a lignocellulose source of fiber, micro fibrillated cellulose and cellulose nanocrystals. *Bio-Resources*, 5(2), 727-740.
- [7] Seki, Y., Sever, K., Erden, S., Sarikanat, M., Neser, G., & Ozes, C. (2012). Characterization of Luffa cylindrica fibers and the effect of water aging on the mechanical properties of its composite with polyester. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(4), 2330-2337.
- [8] M. Nóbrega, L. Carvalho and V. Fonseca, *Procs. International Conference on Science and Technology for Sustainable Development*, New Delhi, 2006, p. 1
- [9] P. Gomes de Paula, R. J. S. Rodríguez and L. P. Rangel Duarte, *Mater. Sci. Forum*, 775, 319 (2014), <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.319>
- [10] S. Das, A. K. Sahan, P. K. Choudhury, R. K. Basak, B. C. Mitra, T. Todd, S. Lang, R. M. Rowell, Effect of steam pretreatment of jute fiber on dimensional stability of jute composite. *J Appl Polym Sci*, 76 (11),1652-1661(2000)
- [11] H. Azman, A.S. Arshad, N.A. Farid, and A.B. Aznizam, "A Review on oil palm empty fruitbunch fiber-reinforced polymer composite material. *Polymer Composite*, 31, 2079-2101(2010)
- [12] Y. Ahmad Al-Maharma, and N. Al-Huniti, Critical Review of the Parameters Affecting the Effectiveness of Moisture Absorption Treatments Used for Natural Composites. *J. Compos. Sci*, 3 (27), (2019)
- [13] L. S. Kuburi, D. O. Dauda, S. Umaru, D. Dodoo-Arhin, M. B. Balogun et al., *Proced.Manuf.*, 7, 138 (2017), <http://ugspace.ug.edu.gh/handle/123456789/27391>
- [14] L.S. Kuburi, D.O. Dauda, S. Umaru, D. Dodoo-Arhin, M.B. Balogun and S. Mustafa, Effect of coir fiber loading on the physio-mechanical and morphological properties of coconutshell powder filled LLDPE composites. *Procedia Manufacturing*, 7, 138- 144(2017)
- [15] Li Q, Renneckar S. *Biomacromolecules* 2011, 12, 650–659.
- [16] A. Khan, RA. Khan, S. Salmieri, CL. Tien, B. Riedl, J. Bouchard, G. Chauve, V. Tan, MR. Kamal, M. Lacroix, Mechanical and barrier properties of nanocrystalline cellulose reinforced chitosan based nanocomposite films. *Carbohyd. Polym.* 90, 1601–1608(2012)
- [17] De Rosa I.M; Kenny J.M; Puglia D; Santulli C; Sarasini F. Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoshus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites. *Composites Science and Technology*, 2010, 70, 116 -122.
- [18] Gañáñ P; Mondragon I. Surface modification of fique fibres: Effects on their physico-mechanical properties, *Polymer Composites*, 2002; 23, 383-393.

- [19] Lopattanon N; Panawarangkul K; Sahakaro K; Ellis B. Performance of pineapple leaf fiber - natural rubber composites: The effect of fiber surface treatments, *Journal of Applied Polymer Science*, 2006,102, 1974-1984.
- [20] Ouajai S; Shanks R.A. Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments. *Polymer Degradation and Stability*, 2005, 89, 327-335.
- [21] B. Meghlaoui, M. Ould Ouali and S. Hocine, *U.P.B.Sci.Bull.,Series B*, 81 (2019)
- [22] Sgriccia N; Hawley M.G; Misra M. Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2008, 39, 1632-1637.
- [23] A. Benyahia, A. Merrouche, Z.E.A. Rahmouni, M. Rokbi, W. Serge and Z. Kouadri, *Mechanics and Industry*, 15, 69-73(2014)
- [24] Sgriccia N; Hawley M.G; Misra M. Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2008, 39, 1632-1637.
- [25] L. Segal, J. J. Creely, A. E. Martin and C. M. Conrad, An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-Ray diffractometer, *Text.Res.J.*, Vol 29, pp786-794 (1959).
- [26] S. Ouajai, R. A. Shanks, Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments. *Polymer Degradation and Stability*, 89(2), 327-335(2005).
- [27] V. Tserki, P. Matzinos, S. Kokkou, C. Panayiotou, Surface chemical modification and characterization of waste flour. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(7), 965-974(2005)
- [28] Bahia Meghlaoui, Mohamed Ould Ouali, Smain Hocine, Effet of chemical Treatment of Alfa natural fibers on mechanical properties of polyethylene matrix composites *U.P.B.Sci.Bull.,Series B*, Vol 81,ISS 2,2019,PP 115-122
- [29] Rao, K.M.M.; Rao, K.M.; Prasad, A.R. Fabrication and testing of natural fibre composites: Vakka, sisal, bamboo and banana. *Mater. Des.* 2010, 31, 508–513.
- [30] Ahmad Y. Al-Maharma and Naser Al-Huniti, Critical Review of the Parameters Affecting the Effectiveness of Moisture Absorption Treatments Used for Natural Composites. *J. Compos. Sci.* 2019, 3, 27; doi:10.3390/jcs3010027
- [31] N Mohanta and SK Acharya, Fiber surface treatment: Its effect on structural, thermal, and mechanical properties of Luffa cylindricafiber and its composite *Journal of Composite Materials* 1–15,2015,sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav. DOI: 10.1177/0021998315615654 jcm.sagepub.com
- [32] P.R. Hornsby, E. Hinrichsen, K. Tarverdi, Preparation and properties of polypropylene composites reinforced with wheat and flax straw fibers: part I fiber characterization. *J mater sci*, 32, 443(1997)

- [33] K. M. Nair, S. Thomas and G. Groeninck, *Compos. Sci.Technol.*,61,2519 (2001), [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(01\)00170-1](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(01)00170-1)
- [34] T. Nguyen, E. Zavarin, E. M. Barrall, Thermal Analysis of lignocellulosic materials: Part I. Unmodified materials. *Journal of Macromolecular Science-Reviews in Macromolecular Chemistry*, 20(1), 1-65(1981)
- [35] D. Sedan; Etude des interaction physicochimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composites; Thèse doctorat de université de limoges, matériaux céramiques et traitement de surface (2007).
- [36] M. Bouasker, N. Belayachi, D. Hoxha, M. Al-Mukhtar, Physical Characterization of Natural Straw Fiber as Aggregates for Construction Materials Application; *Materials*, Vol. 7, pp. 3034-3048 (2014).
- [37] S. Wong, R. Shanks, A. Hodzic, Interfacial improvements in poly (3- hydroxybutyrate)-flax fiber composites with hydrogen bonding additives. *Composites science and technology*, 64(9), 1321-1330(2004)012
- [38] V. K. Kaushik, A. Kumar, S. Kalia, Effect of mercerization and benzoyl peroxide treatment on morphology, thermal stability and crystallinity of sisal fibers. *International Journal of Textile Science*, 1(6), 101-105(2012)
- [39] K.C. Manikandan, S.M. Diwan, S. Thomas, Tensile properties of short sisal fiber reinforced polystyrene composites. *J Appl Polym Sci.*60, 83–97(1996)
- [40] D. Ray, B.K. Sarkar, Characterization of alkali-treated jute fibers for physical and mechanical properties. *J Appl Polym Sci.*80, 13-20(2001)

## الخلاصة العامة

تحضي الألياف الطبيعية باهتمام كبير من قبل الباحثين نظرا لإمكانية استعمالها كبديل عن الألياف الاصطناعية المستعملة في تعزيز البوليمرات. وعلى الرغم من أن الألياف الطبيعية لديها إيجابيات مثل أسعارها المنخفضة، وانخفاض كثافتها، وكونها صديقة للبيئة. إلا أنها ليست خالية تماما من صعوبات قد تحد من استعمالها في المواد المركبة. مثل: امتصاصها للماء بشدة والذي يؤدي إلى ضعف الالتصاق بينها وبين المصفوفة البوليمرية مما يسبب ضعف في الخصائص الميكانيكية للمركبات.

إن الهدف من هذه الدراسة هو تحضير مواد مركبة ذات أساس من البولي أستر غير المشبع مقواة بألياف اللوفا. كون البنية المورفولوجية للنبات تلعب دورا هاما في إضفاء الخصائص الميكانيكية على المركبات، لذلك كان من البديهي في البداية تحديد مكونات ألياف اللوفا وذلك باستخلاص المكونات الأساسية وهي: السيليلوز، الهيميسيليلوز واللجنين. مع مقارنتها بمكونات ألياف أخرى مذكورة في الدراسة النظرية. لقد بينت هذه الأخيرة بأن عوامل كثيرة تؤثر في مكونات الألياف، منها: الطبيعة، مكان القطف، زمن القطف.

من خلال استخلاص مكونات ألياف اللوفا فإن نتائج الاستخلاص بينت أن نسبة السيليلوز في اللوفا كانت 54 %، بينما الهيميسيليلوز 20 % واللجنين 15 % .

تم معالجة ألياف اللوفا بمحلول من الصود 5 %، برمنغنات البوتاسيوم 0.0125 %، بيكرومات البوتاسيوم 0.2 %، ماء الجافيل 13°، ومحلول من السيلان تركيزه 0.5 %.

- أجريت اختبار امتصاص الماء للألياف المعالجة وغير المعالجة وبينت النتائج أن نسبة امتصاص الماء قد نقصت للألياف المعالجة مقارنة بألياف اللوفا غير المعالجة. قد يكون هذا بسبب انخفاض في مجموعات الهيدروكسيل مما يؤدي إلى انخفاض في الخاصية المحبة للماء في الألياف.

- إختبار الأشعة تحت الحمراء أظهر بأن المعالجة الكيميائية لألياف اللوفا قد ساهم في إزالة جزء من الهيميسيليلوز واللجنين.  
- إختبار الحيود بالأشعة السينية بين أن نسبة التبلور وفق علاقة سيقال قد زاد نتيجة المعالجة الكيميائية حيث بلغت أقصى قيمة عند الألياف المعالجة بمحلول البيكرومات وهي 70.80 % مقارنة بالألياف غير المعالجة.

- اختبار الثني للعينات بين أن أحسن إجهاد للثني هو للعيونة المعالجة بمحلول من ماء الجافيل الذي تركيزه 13° وذلك عند الدرجة العادية من الحرارة، حيث بلغ القيمة 43.2 MPa مقارنة بالعينات المقواة بألياف غير معالجة وذلك بزيادة تقدر 32.63 % . بالنسبة لمعامل الثني تحصلنا على أقصى قيمة للعيونة نفسها المعالجة بمحلول ماء الجافيل الذي تركيزه 13°. حيث بلغ القيمة 26.04 MPa بزيادة قدرها 45.31 % .

- اختبار الماسح الالكتروني لمقاطع من المركبات المعززة بألياف اللوفا المعالجة وغير المعالجة أظهرت بوضوح تكسر الألياف بدلاً من الانزلاق عن المصفوفة، وذلك في حالة الألياف المعالجة مما يشير إلى قوة التصاق بين الألياف والبولي أستر أفضل مما يؤدي إلى تحسن في الخواص الميكانيكية لهذه المركبات. وذلك عكس مما هو ملاحظ في حالة المركبات المقواة بألياف غير معالجة.

وأخيرا فإن هذه الدراسة تساهم في تعميق المعارف الخاصة بنبات اللوفا (Luffa sponge) والتي مازالت إلى يومنا هذا في بدايتها رغم إيجابيات هذا النبات من الناحية البيئية والاقتصادية، والذي يشكل مصدر جديد يضاف إلى الألياف الأخرى التي تستعمل في تقوية المواد المركبة. إن تقوية البوليميرات بألياف اللوفا له مستقبل واعد في مجال المواد المركبة كما أنه يفسح المجال للباحثين ( المجتمع العلمي) حول إمكانية استعمال هذا النوع من النبات في مجالات عديدة. بشرط التغلب على بعض الصعوبات مثل طريقة التحضير، والطريقة الأمثل في توزيع الألياف داخل المصفوفة، والشروط الحدية من التركيز والزمن ودرجة الحرارة ونسبة الألياف في المصفوفة مع الاستفادة من بعض المواد المضافة التي تساهم أيضا في الزيادة من عملية

الالتصاق بين الألياف والبوليمير وبالتالي تنعكس إيجابا على الخصائص الميكانيكية للمواد المركبة مما يوسّع من مجالات استعمالها.

## ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تحضير مادة مركبة ذات مصفوفة من البولي أستر غير المشبع معززة بألياف اللوفا. من أجل تحسين الخصائص الميكانيكية لهذا المركب، تمت معالجة الألياف بالمحاليل التالية: NaOH (5 % )، برمنغنات البوتاسيوم (0.125 %)، بيكرومات البوتاسيوم (0.2 %)، ماء الجافيل (13°) والسيلان (0.5 %). تم تحضير المادة المركبة بطريقة الحقن اليدوي. من خلال النتائج تبين أن هناك زيادة في معامل التبلور لألياف اللوفا المعالجة، كذلك الخصائص الميكانيكية للمركب المحضر بألياف معالجة وذلك مقارنة بالمركبات المحضرة بألياف غير معالجة. الإختبارات التشخيصية التي استعملت هي: التحليل الحراري الوزني(ATG)، تحليل فورييه للأشعة تحت الحمراء (FTIR)، إختبار حيود الأشعة السينية (DRX)، المجهر الماسح الإلكتروني (MEB)، إختبار الثني.

الكلمات المفتاحية: مركب، اللوفا، الالتصاق، الثني، البولي أستر غير مشبع.

---

## Résumé :

L'objectif de cette étude est de préparer un matériau composite à base d'une matrice de polyester insaturé renforcée de fibres de luffa. Afin d'améliorer les propriétés mécaniques de ce composite, les fibres ont été traitées avec les solutions suivantes: NaOH (5%), permanganate de potassium (0,125%), bichromate de potassium (0,2%), eau de Javel (13 °) et silane (0,5%). Le matériau composite a été préparé par la méthode d'injection manuelle. A travers les résultats, il a été constaté qu'il y avait une augmentation de l'indice de cristallinité des fibres luffa traitées, ainsi que les propriétés mécaniques des composites préparés avec des fibres traitées, par rapport aux composites préparés avec des fibres non traitées.

Les tests utilisés pour cette étude, analyse thermogravimétrique (ATG), analyse infrarouge à transformé de Fourier (FTIR), test de diffraction des rayons X (DRX), microscope électronique à balayage (MEB), test de flexion.

**Mots clés :** Composites, luffa, adhésion, flexion, polyester insaturé.

---

## Abstract:

The objective of this study is to prepare a composite material based on an unsaturated polyester matrix reinforced with loofah fibers. In order to improve the mechanical properties of this composite, the fibers were treated with the following solutions: NaOH (5%), potassium permanganate (0.125%), potassium dichromate (0.2%), bleach (13 °) and silane (0.5%). The composite material was prepared by the manual injection method. Through the results, it was found that there was an increase in the crystallinity index of the treated loofah fibers, as well as the mechanical properties of composites prepared with treated fibers, compared to composites prepared with untreated fibers. .

The tests used are: thermogravimetric analysis (ATG), Fourier transform infrared analysis (FTIR), X-ray diffraction test (XRD), scanning electron microscope (SEM), bending test.

**Key words:** composite, luffa , adhesion, flexural, unsaturated polyester.

---