الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة مكملة لنيل شهادة ماستر اكاديمي

تخصص : طاقوية

شعبة : الهندسة الميكانيكية

العنوان:

تأثير معالجة البلازما الباردة على تمدد الالياف والمواد المركبة

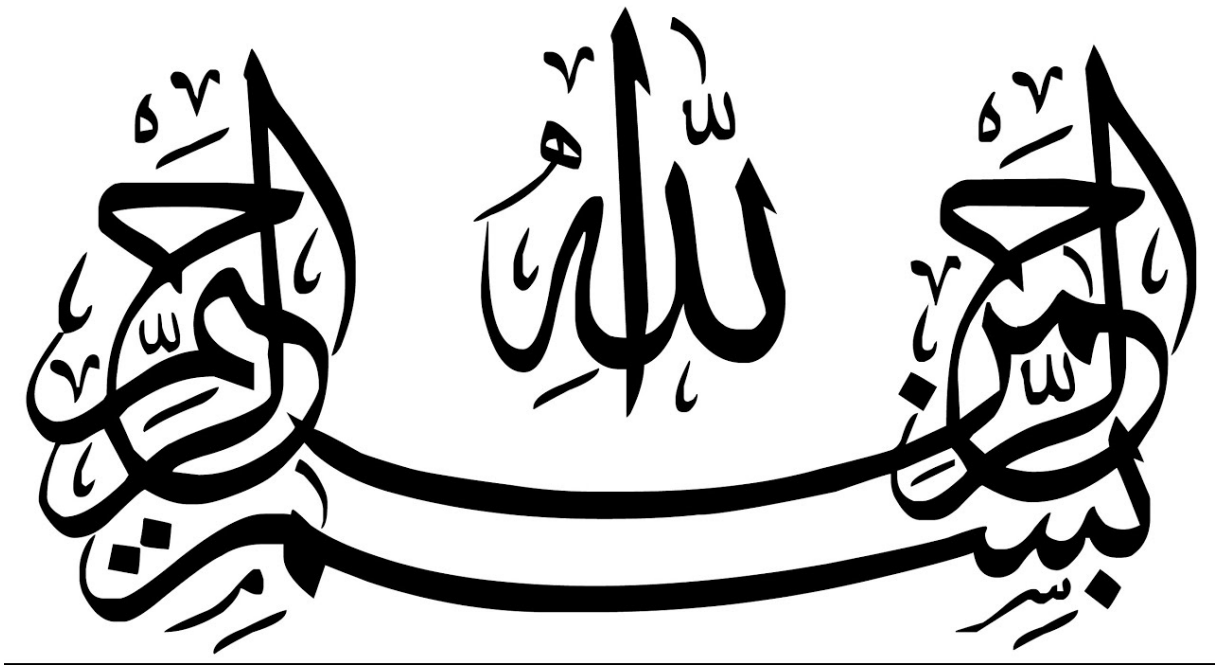
من اعداد :

- زكور فرحات مروان
- طريلي علي
- طريلي نور الدين
- معتوقي حمزة

لجنة المناقشة :

د. عطيه عبد المالك	جامعة الشهيد حمه لخضر	رئيس اللجنة
د.محمد الطاهر غربي	جامعة الشهيد حمه لخضر	مؤطر
د.بوصبيع سيف الدين	جامعة الشهيد حمه لخضر	مناقش

السنة الجامعية :2023/2022


بسم الله الرحمن الرحيم

الشكر و العرفان :

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم:

"من لم يشكر الناس لم يشكر الله "

صدق رسول الله صلى الله عليه وسلم

الحمد لله على احسانه والشكر له على توفيقه وامتنانه ونشهد ان لا إله إلا الله وحده لا شريك له تعظيما لشأنه ونشهد ان محمد عبده ورسوله الداعي الى رضوانه

صلى الله عليه وعلى أصحابه وأتباعه وسلم

بعد شكر الله سبحانه وتعالى على توفيقه لنا لإتمام هذا البحث العلمي المتواضع

نتقدم بجزيل الشكر إلى أبائنا وأمهاتنا الذين أعانونا وشجعونا على الاستمرار في مسيرة العلم والنجاح ، وإكمال الدراسة الجامعية والبحث العلمي .

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى من شرفنا بإشرافه على المذكرة بحثنا

الأستاذ و الدكتور "**غربي محمد الطاهر**" الذي لن تكفي حروف هذي المذكرة لإيفائه حقه ، بصبره الكبير علينا ولتوجيهاته العلمية التي لا تقدر بثمن

والتي ساهمت بشكل كبير في إتمام هذا العمل

كما نتوجه بخالص شكرنا وتقديرنا إلى كل من ساعدنا من قريب أومن بعيد على إنجاز و إتمام هذا العمل

إهداء

نحمد الله عزوجل على منه وعونه لاتمام هذا البحث.

إلى الذين وهبونا كل ما يملكون حتى نحقق لهم أمالهم ، إلى من كانوا يدفعوننا قدما نحو الامام لنيل المبتغى، إلى الذين سهروعلى تعليمنا بتضحيات في سبيل العلم وتقديسهم له . إلى مدرستنا الأولى والثانية في الحياة. أبائنا وأمهاتنا

جزاهم الله عنا خير الجزاء في الدارين؛

وإليهم نهدي هذا العمل المتواضع حتى ندخل على قلوبهم شيئا من السعادة

إلى إخوتنا وأخواتنا وأصدقائنا الذين تقاسموا معنا أعباء الحياة كما نهدي ثمارجهودنا الأستاذنا الكريم الدكتور: غربي محمد الطاهر الذي كلما أظلمت الطريق أمامنا نلجأ إليه فأنارها لنا وكلما دب اليأس في أنفسنا زرع فينا الأمل لنسير قدما وكلما سألنا عن معرفة زودنا بها وكلما طلبنا كمية من وقته الثمين وفره لنا بالرغم من مسؤولياته المتعددة

و إلى كل من يؤمن بأن بذور النجاح التغيير هي في ذاتنا وفي أنفسنا قبل أن تكون في أشياء أخرى .....

قال الله تعالى **"إن الله لا يغيرما بقوم حتى يغيرو ما بأنفسهم"**

سورة الرعد الآية 11

إلى كل هؤلاء نهدي هذا العمل .

ملخص

للتأكد من مساهمة معالجة الالياف بالبلازما الباردة في تقوية المادة المركبة قمنا بإجراء تجربة علمية على مستوى مخبر الجامعة وذلك من خلال معالجة الالياف النباتية والحيوانية بالبلازما الباردة أولا ثم تعريضها بعد ذلك لعدت اختبارات ميكانيكية وفزيائية لتظهر النتائج بعد ذلك بأن العينات التي تمت معالجتها بالبلازما الباردة قد تم تحسين خصائصها الميكانيكية .

الكلمات المفتاحية : الألياف ، المواد المركبة ، البلازمة الباردة.

résumé

Pour s'assurer de l'apport du traitement des fibres par plasma froid dans le renforcement du matériau composite, nous avons mené une expérience scientifique au niveau du laboratoire universitaire, en traitant d'abord des fibres végétales et animales par plasma froid, puis en les exposant ensuite à plusieurs sollicitations mécaniques et des tests physiques, de sorte que les résultats montrent ensuite que les échantillons qui ont été traités au plasma froid ont amélioré ses propriétés mécaniques.

Mot clé : materiaux composite , plasma froid , fibres

Abstract

To ensure the contribution of fiber treatment with cold plasma in strengthening the composite material, we conducted a scientific experiment at the level of the university laboratory, by first treating plant and animal fibers with cold plasma, and then exposing them after that to several mechanical and physical tests, so that the results then show that the samples that were treated with cold plasma have been improve its mechanical properties.

Keyword:composite material , cold plasma , fibre

قائمة الرموز

PMC: مركبات مصفوفة البوليمر

HDPE: بولي ايثيلين عالي الكثافة

SEM: المسح المجهري الالكتروني

FTIR: التحليل الطيفي بالاشعة تحت الحمراء

XPS: التحلي الطيفي الهروضوئي للاشعة السينية

IGC: كهروماتو جرافيا الغاز العكسي

E(MPu): معامل المرونة او Eمعامل يونغ

RM (MPa) : قوة الشد

ET(%): الاستطالة عن الكسر

(N): نيوتن

Fm(N): القوة القصوى

Fp(N): القوة المقاسة عند الحد النسبي

Lo(pp):الطول الاولي (مم)

b: عرض العينة (مم)

e : سمك العينة (مم)

Δ : استطالة (مم)

ε: معامل الانحناء

$\boldsymbol{\sigma}$: شدة التشوه

P : الحامل المطبق على العينة في (N)

L: المسافة بين الدعامات بـ (مم)

h: سمك العينة (مم)

Ef: معامل يونج للانحاء

p: اقصى حمل للثني في (N)

f: الانحراف بـ(مم)

$bh^{\frac{a}{12}}$: أول لحضة للقصور الذاتي

hc: قوة الانضغاط

F: اقصى قوة في (N)

S: قسم العينة بـ($مم^2$)

a_{iu} : مقاومة تاثير العينات الملساء بوحدة KN/m

Ec: الطاقة التي تمتصها الصدمات

Dsc: قياس المسعر التفاضلي للمسح التفاضلي

Xc: معدل التبلور

DHf: المحتوى الحرار المحدد لانصهار البوليمر المستخدم

DH^G_f: المحتوى الحراري لانصهار البلوربي بنسبة 100 % عند درجة حرارة التوازن الديناميكا الحرارية

ω : الكسر الكتلي لـ HDPE في المركب

TPS: معدل طاقة ثابت الجهد

λ_t: معامل التوصيل الحراري عند متوسط درجة الحرارة

p : التدفق الحراري (w)

e: متوسط سمك العينة (p)

s: مساحة منطقة التدفئة المركزية (P^2)

TD: فرق درجة الحرارة بين السطح الساخن والبارد (K)

W : الوبر

JZ : جريد نخيل الزينة

فهرس الاشكال

الشكل1 :مادة مركبة 5
الشكل2 :الألياف الزجاجية 7
الشكل3 :ألياف الكربون 8
الشكل4 :ألياف الأراميد 8
الشكل 5:ألياف نباتية طبيعية 9
الشكل6 :ألياف البذور 9
الشكل7 :ألياف حيوانية طبيعية 11
الشكل8 :المعالجة السطحية للركائز بواسطة بلازما الهواء ، عند الضغط الجوي [4]. 15
الشكل 9: آلة اختبار الشد العالمية Zwick / Roell Z020 20
الشكل 10: آلة اختبار الانحناء 20
الشكل 11: مبدأ اختبار الانحناء ثلاثي النقاط 21
الشكل 12: جهاز اختبار الصلابة العامةو Brinell - Buehler 23
الشكل 13: آلة اختبار الضغط 23
الشكل 14: اختبار تأثير IZOD 24
الشكل 15: مولد بلازماRF 26
الشكل 16 :الصورة التخطيطية لنظام الة البلازما 27
الشكل 17: فرن 28
الشكل 18: شجرة نخيل الزينة 31
الشكل 19: الجمل 32
الشكل 20: الوبر 32
الشكل 21: الراتنج السائل و المتصلب 32
الشكل 22: القالب 33
الشكل 23: المضخة 34
الشكل 24: مرحلة التجفيف 34
الشكل 25: استخلاص الالياف النباتية 35
الشكل 26: مرحلة تجهيز خيوط الوبر 35
الشكل 27: معالجة الالياف الحيوانية بالبلازما الباردة 36
الشكل 28: معالجة الالياف نباتية بالبلازما الباردة 36
الشكل 29: البلازما الباردة 37
الشكل 30: عملية وضع الالياف الطبيعية (الحيوانية و نباتية) داخل القالب 37
الشكل 31:يوضح عملية وزن الراتنج 38
الشكل 32:مخطط تجهيز العينة 38
الشكل 33:صفيحتين الالياف بعد صب الراتنج للوبر و نخيل الزينة 39
الشكل 34: مراحل تثبيت الصفيحتين 39

الشكل 35:عملية حرق وطحن 40
الشكل 36:تجهيز العينة لاختبار الاشعة تحت الحمراء 41
الشكل 37: جهاز اختبار الاشعة تحت الحمراء..... 41
الشكل 38:(أ)و(ب) منحنى بياني للاشعة تحت الحمراء لعينة الياف نخيل الزينة والوبر فبل المعالجة 42
الشكل 39:(ت) و(ح) منحنى بياني للاشعة تحت الحمراء لعينة الياف نخيل الزينة والوبر بعد المعالجة 43
الشكل 40: جهاز قياس الاشعة سينية..... 44
الشكل 41:أنماط حيود الأشعة السينية قبل المعالجة..... 44
الشكل 42:انماط حيود الأشعة السينية بعد المعالجة 45
الشكل 43: جهاز المسح الضوئي الالكتروني..... 46
الشكل 44: صور العينات بعد الماسح الضوئي الالكتروني قبل المعالجة لي أوراق نخيل الزينة و الوبر 46
الشكل 45:(أ) (ب) صور العينات بعد الماسح الضوئي الالكتروني بعد المعالجة لي أوراق نخيل الزينة و الوبر..... 47
الشكل 46: آلة اختبار Z250 / SN5A..... 48
الشكل 47:تطور الضغط حسب التشوه الطولي للشعر الهجين المصنوع من الالياف 49
الشكل 48:تطور الاجهاد كدالة لتشوه الطولي لالياف نخيل الزينة الهجينة 50
الشكل 49: جهاز ثني 3 نقاط..... 51
الشكل 50: تطور القوة كدالة لازاحة شعر الإبل المركب من الالياف 52
الشكل 51:تطور القوة بدلالة إزاحة الياف نخيل الزينة المركبة 53

فهرس الجداول

الجدول 1: متوسط ابعاد العينات 47

الجدول 2: الخصائص الميكانيكية لشعر الإبل (تحميل الشد)..... 48

الجدول 3: الخصائص الميكانيكية لالياف نخيل الزينة (تحميل الشد) 49

الجدول 4: الخصائص الميكانيكية لمركب الياف شعر الإبل (تحميل في الانحناء 3نقاط) 51

الجدول 5: الخصائص الميكانيكية لتخيل الزينة من الالياف المركبة (تحميل في الانحناء 3 نقاط 51

فهرس المحتويات

ملخص ..... **I**

قائمة الرموز..... II

فهرس الاشكال ..... **IV**

فهرس الجداول ..... **VI**

فهرس المحتويات **1**

المقدمة العامة..... **1**

الفصل الاول:تعريفات عامة حول المواد المركبة

I–1.مقدمة: **3**

I–2 الدراسات الببليوجرافية:..... **3**

I–3تعريف المادة المركبة **5**

I–4تكوين المواد المركبة:..... **5**

- **I–4 –1 مصفوفة:** **5**
- **I–4–2التعزيزات:**..... **6**

I–5الألياف **6**

- **I–5–1 أنواع مختلفة من الألياف:**..... **6**
  - **الألياف الزجاجية:**..... **6**
  - **ألياف الكربون:** **7**
- **I–5–2الألياف الطبيعية الرئيسية** **8**
  - **ألياف نباتية طبيعية:** **9**
  - **ألياف البذور**..... **9**
  - **الألياف الأخرى**..... **9**
  - **ألياف حيوانية طبيعية:** **11**
  - **ألياف من أصل معدني:** **12**

I–6العلاجات الفيزيائية للألياف الطبيعية 12
I–7المعالجة بالبلازما 13
I–8 تصنيف البلازما 14
- I–8–1 البلازما الحرارية 14
- I–8–2البلازما غير الحرارية (الباردة) 14
- I–8–3 البلازما الدافئة 14
I–9 مبدأ المعالجة بالبلازما 14
I–10 معالجة سطح البلازما الباردة: 15
- I–10–1 مبدأ العمل 16
I–11.الخاتمة: 16

الفصل الثاني : الأساليب والمواد

II–1مقدمة 18
II–2التوصيف الميكانيكي 18
- II–2–1 اختبارات الشد 18
- II–2–2 اختبارات الانحناء 20
II–2–3القيد [1] : 21
II–2–4معامل يونج للانحناء [1] : 22
- II–2–5اختبار الصلابة [1 ، 2] 22
- II–2–6 اختبار الضغط 23
- II–2–7 اختبار تأثير IZOD 24
II–3الخصائص الحرارية 25
- II–3–1التوصيل الحراري 25
II–4 المعالجة بالبلازما: 26
- II–4–1 التجربة: 26
- II–4–2التجربة: 28

II–5الخاتمة 29

الفصل الثالث : الجانب التطبيقي ومناقشة النتائج

III–1مقدمة 31
III–2التحضير والإنتاج 31
- III–2–1تحضير المواد 31

III–2–1–1 الالياف الطبيعية النباتية 31
III–2–1–2الألياف الطبيعية الحيوانية: 32
III–2–1–3 تحضير الراتينج: 32
III–2–1–5تحضير القالب: 33
III–2–1–6المضخة 33
- III–2–2تحضير العينات 34
- III–3 المعالجة الفيزيائية بالبلازما الباردة 35
- III–3–1 نوع الة البلازما 35
- III–3–2معالجة الالياف الحيوانية (الوبر): 36
- III–3–3معالجة الالياف النباتية: 36

III–5 تحليل فورييه لتحويل الأشعة تحت الحمراء (FT–IR) 40
III–6 علم البلورات بالأشعة السينية 43
III–7 مسح الصور المجهرية الإلكترونية 45
III–8 عملية إنتاج عينة الاختبار 47
- III–8–1 الجهاز التجريبي 48

.III–9النتائج والمناقشة 48
- III–9–1 اختبار الشد 48
- III–9–2اختبار الانحناء من 3 نقاط 51

III–10خاتمة 53
خاتمة العامة 62

المقدمة العامة

المقدمة العامة

ازداد الاهتمام بالمواد المركبة بالسنوات الأخيرة كمادة هندسية وذلك لخواصها الفريدة وقد تجسد هذا الاهتمام بشكل بارز في حقل الاستعمالات الإنشائية التي تتطلب: خفة الوزن ومقاومة عالية

. وقد أثبتت هذه المواد نجاحاً في الاستخدامات (الفضائية، النقل، الصناعة المدنية والعسكرية، الصناعات الزراعية، الصناعات الطبية ...الخ.

على مدى العقود القليلة الماضية اكتسب استخدام الألياف الطبيعية بمعالجة البلازما الباردة ومدى تأثيرها لتقوية الياف وتحسين خصائصها ميكانيكية بدلا من الألياف الاصطناعية كمواد تقوية المركبات البوليمر اهتماما كبيرا بسبب خصائصها الفريدة مثل "قابلية التجدد والتحلل البيولوجي ومرونة المعالجة والكثافة المنخفضة والقوة النوعية العالية والتكلفة المنخفضة "بالإضافة الى ذلك للألياف الطبيعية تطبيقات في مجالات مختلفة مثل "صناعات الطاقة الحيوية والسيارات وتصنيع الورق والمنسوجات "بسبب خصائصها وتوافرها الواسع. ونتيجة لذلك تركز مواضيع العديد من الباحثين في جميع انحاء العالم في الوقت الحاضر على الحاجة الى استعمال الألياف النباتية كمصادر بديلة الا ان هناك مشكلة تواجه الباحثين في ذلك و هي عدم التوافق بين الألياف النباتية كمواد تقوية والراتنجات المستعملة كمصفوفة والسبب في ذلك هو ان الألياف بها نهايات لها خاصية محبة للرطوبة اما الراتنجات فلها خاصية كارهة للرطوبة وهذا ما يسبب ضعف التصاق بينهما ولهذا الغرض فإننا قمنا في هذا البحث بدراسة تجربية حول تاثير معالجة البلازما الباردة لتمدد الياف على المواد الطبعية لتحسين خصائصها المكانيكية ، تحضير مواد مركبة تتكون من مصفوفة وهي البولي استر غير مشبع، مقواة بألّياف نبات اليف.

في الفصل الأول تم تقديم تعريفات عامة حول المواد المركبة

اما الفصل الثاني فقد تناول التوصيف الميكانيكي مثل اختبارات الشد والانحانئ وغيرها من الاختبارات الميكانيكية وكذلك التوصيف الحراري باجراء تجارب تحدد الخصائص الحرارية للمواد كذلك تم ذكر المعالجة بالبلازما الباردة وذكر التجربة

بينما الفصل الثالث فقد تطرقنا إلى الجانب التطبيقي ومناقشة النتائج

الفصل الاول

تعريفات عامة حول المواد المركبة

I-1.مقدمة:

ينقسم هذا الفصل إلى ثلاثة أجزاء، الجزء الأول مخصص لعرض الدراسات الببليوغرافية.

الجزء الثاني المخصص لدراسة المواد المركبة،فيه تقديم او عرض للأنواع المختلفة من المصفوفات (المعالجة بالحرارة واللدائن الحرارية) وفي نفس الجزء نقدم التعزيزات وعائلاتهم المختلفة. كما أننا نمثل مختلف أنواع الألياف (زجاج ، كربون ، أراميد) وكذلك الألياف الطبيعية وأصلها (نباتي ، حيواني ، معدني) وأخيراً الجزء الثالث الذي يتناول تأثير المعالجات الفيزيائية على الخواص الميكانيكية للألياف.

I-2 الدراسات الببليوجرافية:

قام رشيد **hsisou** وآخرون بتطوير واستقصاء مراجعة شاملة للمواد المركبة المتقدمة بناءً على البوليمرات المتلدنة بالحرارة والبوليمرات المرنة والبوليمرات المصلدة بالحرارة. أظهرت النتائج أن ميزة صياغة المواد المركبة تتمثل في الأداء الميكانيكي الممتاز ، والمقاومة الحرارية العالية ، والسلوك الجيد للنار ، ومقاومة الصدمات العالية ، وأفضل مقاومة للتآكل ، والعزل الكهربائي الاستثنائي ، والصلابة الجيدة . بعد ذلك ، تم فحص صياغة المواد المركبة ومناقشتها بالتفصيل. [1]

آرون كومار شارما وآخرون درس مجالات التطبيق الأولية لمركبات مصفوفة البوليمر وقيمتها في تقدم الإنسان. وقاموا بمراجعة التطورات الحالية في مركبات مصفوفة البوليمر (**PMC**) مع تطبيقاتهم وجدوا أن المواد ذات الصفات الممتازة لمجموعة متنوعة من التطبيقات في مجموعة متنوعة من بيئة العمل يتم البحث عنها باستمرار من قبل الصناعات ، كما أن مواد البوليمر قد حلت محل المواد الأخرى بشكل متزايد في العديد من التطبيقات. لقد تغلبت المواد المركبة على معظم قيود البوليمرات. [2]

رازيتش وآخرون درس فعالية عملية البلازما ذات الضغط المنخفض لتحسين عملية ترسيب البوليمر على سطح الأقمشة القطنية المنشطة كيميائياً. تم إخضاع الأقمشة القطنية للمعاملات المسبقة ببلازما الأكسجين لمدة 5 دقائق.

بعد ذلك ، تم تنفيذ عملية بلمرة البلازما باستخدام بخار حمض الأكريليك كمقدمة (مونومر). تم إدخال أبخرة مونومر حمض الأكريليك النقي في غرفة التفريغ عند ضغط 0.3 ملي بار. وأظهرت ملاحظات **SEM** أن سطح الألياف المعالجة مسبقًا أنظف وأكثر سلاسة مقارنة بألياف القطن غير المعالجة [3] .

سيفر وآخرون. معالجة سطح أقمشة الجوت ببلازما الأكسجين باستخدام أنظمة بلازما باردة منخفضة التردد وترددات الراديو ، بقدرات تفريغ مختلفة (30 و 60 و 90 وات) ، لمدة 15 دقيقة ، لتحسين الخواص الميكانيكية للجوت / HDPE (عالية بولي إيثيلين الكثافة). تظهر الاختبارات الميكانيكية (الجر ، الانحناء ثلاثي النقاط ، القص) تحسنًا في الخواص الميكانيكية للمركبات مقارنة بالجوت غير المعالج. [4]

كبير إم إم وآخرون نظرة عامة شاملة على المعالجات السطحية المختلفة المطبقة على الألياف الطبيعية لتطبيقات المركبات المتقدمة . من الناحية العملية ، تتمثل العوائق الرئيسية لاستخدام الألياف الطبيعية في الدرجة العالية لامتصاص الرطوبة وضعف ثبات الأبعاد. أظهرت النتائج أن أهمية الألياف الطبيعية المعالجة كيميائيا تظهر من خلال تحسين القوة الميكانيكية وثبات الأبعاد للمركبات الناتجة مقارنة بالعينة الأصلية. [5]

مايا جاكوب جون وآخرون. أجرى مراجعة نقدية للأدبيات المتعلقة بالجوانب المختلفة للألياف الطبيعية والمركبات الحيوية مع إشارة خاصة إلى التعديلات الكيميائية المقدمة في هذه الورقة. العيب الملحوظ للألياف الطبيعية هو قطبيتها مما يجعلها غير متوافقة مع مصفوفة كارهة للماء ، وأظهرت النتائج أنه تمت مناقشة بنية وخصائص الألياف الطبيعية. التحقيقات الأخيرة التي تتناول التعديلات الكيميائية للمركبات المقواة بالألياف الطبيعية [5 ، 6]

قام لاميس أومكلثوم غشا بدراسة شملت بحثًا مكثفًا حول الوصف الفيزيائي والميكانيكي لهذه النفايات الخام (السعف الجاف) وتصنيع أنواع مختلفة من المواد المركبة المقواة بألياف مستخرجة من هذه المواد النباتية. من ناحية أخرى ، تم إجراء التوصيف الميكانيكي للمواد المركبة من هذه الألياف باستخدام مصفوفة إيبوكسي. تكشف اختبارات الانحناء للمواد المركبة عن نسب مختلفة (4٪ ، 10٪ ، 16٪). أظهرت النتائج أن هناك فجوة في الخواص الميكانيكية. [7]

يعقوب ، م. درس جدوى استخدام الألياف المعاد تدويرها من النفايات الصناعية من صناعة الصوف الصلب كقوى. كما أنها تتميز بخصائصها الميكانيكية باستخدام سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية ، وقوة الانضغاط ، وقوة الشد الانثناء ، وقوة القص. أظهرت النتائج أن الألياف المموجة المعاد تدويرها هي الخيار الأمثل لزيادة الأداء الميكانيكي للمركب المقوى الذي يمكنه استبدال الألياف الصناعية جزئيًا أو كليًا وتحسين سلوك الثني والقص. [8]

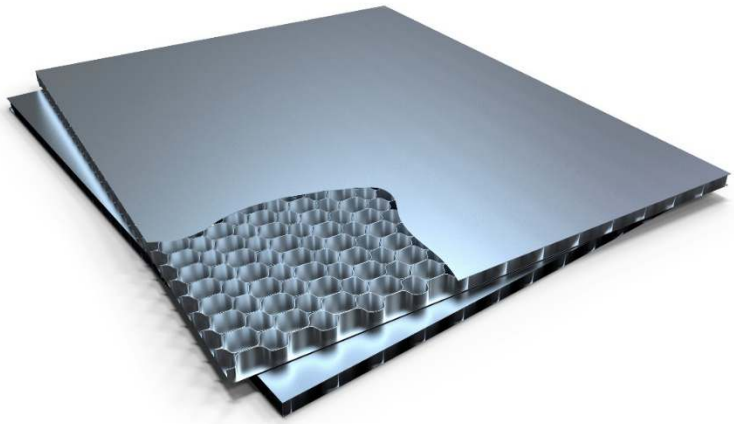
TOUAM، L لقد قيموا نباتات Diss و Luffa على شكل ألياف قصيرة كتعزيز في مصفوفة بوليستر. أولاً ، تمت معالجة الألياف باستخدام هيدروكسيد الصوديوم ، ثم تم تطوير قطع اختبار الشد والانحناء وصلابة برينل للمركبات بناءً على الألياف الخام والمعالجة. ووجدوا أن تأثيرات العلاج على مكونات الألياف تميزت بالملاحظة باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح وبواسطة التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR). [9]

ABIR، C. تم اختبار سلسلة من الأمثلة على تأثير القوى من الصفائح المتناحية والطبقية ، وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها عدديًا ومقارنتها مع تلك المتوفرة تحليليًا سرعة التقارب والأداء الجيد والدقة للعنصر المستخدم. في هذا السياق ، سنحاول تحديد الرطوبة ودرجة الحرارة الحرجة التي تسبب تمزق هذه الصفائح. من ناحية أخرى ، هناك العديد من المعلمات ، مثل اتجاه الألياف والتقسيم الطبقي للطبقات [10]

I–3 تعريف المادة المركبة

المادة المركبة عبارة عن تجميع لما لا يقل عن مادتين غير قابلتين للامتزاج (ولكن لها قدرة التصاق قوية). هذا يشكل مادة جديدة بخصائص إضافية لا يمتلكها كل عنصر بمفرده. وبالتالي، فإن الظاهرة التي تحدث تجعل من الممكن زيادة جودة المواد لاستخدامات معينة.

وبالتالي تصبح المادة أخف وزنا وأكثر صلابة وما إلى ذلك ، ويستخدم المركب بشكل متزايد وللتطبيقات المختلفة [11].



الشكل1 :مادة مركبة

المركبات المقواة بالجسيمات والمركبات المقواة بالألياف والمركبات الهيكلية.

كل فئة من هذه الفئات مقسمة إلى فئتين فرعيتين على الأقل.

I–4 تكوين المواد المركبة:

I-4 -1 مصفوفة:

بشكل عام ، في مادة مركبة ، المصفوفة (بلاستيك ، معدن ، سيراميك أو توليفاتها) هي مادة تستخدم كمواد رابطة لنقل القوى إلى التعزيز (الألياف ، والخرز ، والكريات الدقيقة ، وما إلى ذلك) ، والتي تكون أكثر صلابة و أكثر مقاومة.

في مركبات المصفوفة العضوية (البلاستيك المقوى) ، يطلق عليه الراتنج [12].

تتكون المصفوفة من راتينج ومواد مالئة تهدف إلى تحسين خصائص الراتينج مع تقليل تكلفة الإنتاج.

I-4-2 التعزيزات:

تعطي مواد التعزيز للمركبات خصائصها الميكانيكية: الصلابة ، وقوة الكسر ، والصلابة ، إلخ.

تعمل هذه التعزيزات أيضًا على تحسين بعض الخصائص الفيزيائية: السلوك الحراري ، مقاومة درجة الحرارة ، مقاومة الحريق ، مقاومة التآكل ، الخواص الكهربائية ، إلخ.

اعتمادًا على الاستخدامات ، يمكن أن تكون التعزيزات من أصول مختلفة: نباتية ، معدنية ، صناعية ، تركيبية ، إلخ. تأتي التعزيزات المصنوعة من الألياف في أشكال تجارية مختلفة:

- في شكل خطي (خيوط ، فتائل ، إلخ).
- على شكل أقمشة سطحية (أقمشة سادة ، حصائر ، إلخ)
- في شكل متعدد الاتجاهات (ضفائر ، أقمشة معقدة ، إلخ.)

I–5 الألياف

الألياف عبارة عن مواد رفيعة جدًا وطويلة ، مثل الخيوط ، يمكن أن تكون متصلة أو مقطوعة ، ويكون طولها أكبر بثلاث مرات على الأقل من المقطع العرضي. يمكن تمييز الألياف إلى ألياف طبيعية (نباتية أو حيوانية) وتركيبية [13].

I-5-1 أنواع مختلفة من الألياف:

➢ الألياف الزجاجية:

يشير مصطلح الألياف الزجاجية إلى كل من الألياف المستخدمة كعزل حراري وتلك المستخدمة كتعزيزات مرتبطة بالمصفوفات العضوية لإعطاء المركبات. التطبيق الرئيسي للألياف الزجاجية هو تقوية البلاستيك.

ومع ذلك ، فقد امتد مجال تطبيقها ليشمل المصفوفات الأخرى (الأسمنت ، والجبس ، والقار ، وما إلى ذلك) وإلى استخدامات أخرى [1 4].

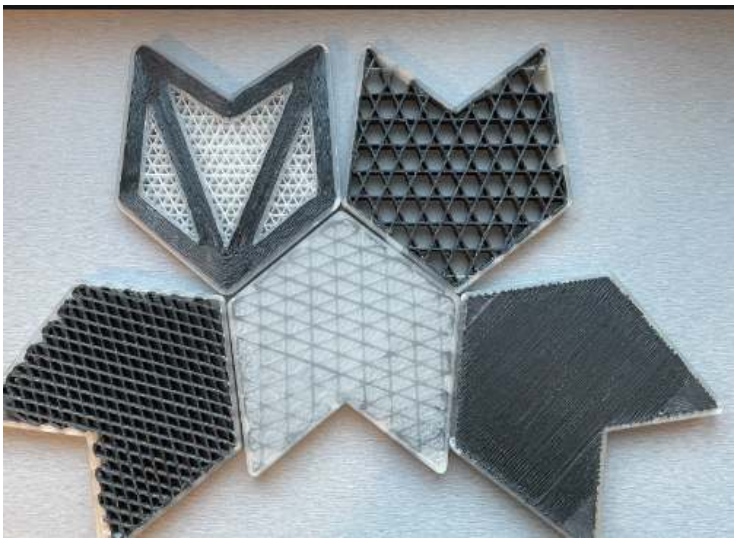
الشكل2 :الألياف الزجاجية

في الممارسة العملية ، تشكل الزجاجات من النوع **E** تقريبًا كل حمولة زجاج النسيج المنتج حاليًا. الزجاجات الأخرى ، التي تمثل عمومًا كمية صغيرة تبلغ حوالي 1٪) محجوزة لتطبيقات محددة [15]:

- زجاج **D** ، ذو خصائص عازلة عالية ، لبناء معدات الاتصالات الإلكترونية.
- زجاج **C** ، مقاوم للعوامل الكيميائية للطبقات السطحية من الهياكل المعرضة بشكل خاص على المستوى الكيميائي.
- زجاج **R** و **S** يتميز بخصائص ميكانيكية عالية لإنتاج الهياكل ذات الأداء الميكانيكي العالي.

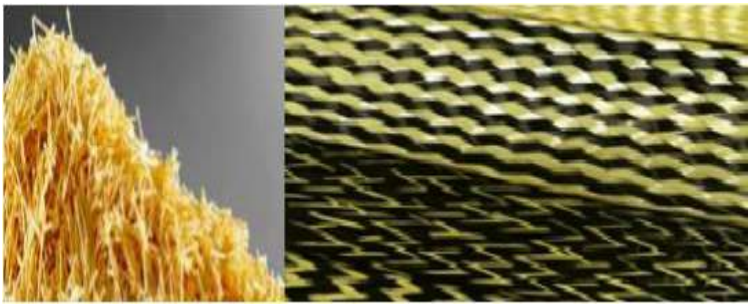
➢ ألياف الكربون:

- يتم الحصول على ألياف الكربون من الانحلال الحراري لألياف عضوية تسمى السلائف.
- يتم تمييز ألياف الكربون عن طريق محتوى الكربون الأعلى أو المنخفض.
- تُستخدم هذه الألياف ككربون لخصائص هذا العنصر وكألياف مرنة مناسبة لجميع أشكال المنتجات النهائية [16].



الشكل3 :ألياف الكربون

- ألياف الأراميد : تُعرف ألياف الأراميد ذات الخصائص الميكانيكية العالية عمومًا باسم " الكيفلار" ، وهي متوفرة على شكل ضفائر وشرائط ، نظرًا لخفتها ومقاومتها الجيدة للتأثير ، تُستخدم ألياف الأراميد في تصنيع بعض المواد الرياضية ، وتصنيع الحماية من المقذوفات ولتعزيز الكابلات. [17]



الشكل4 :ألياف الأراميد

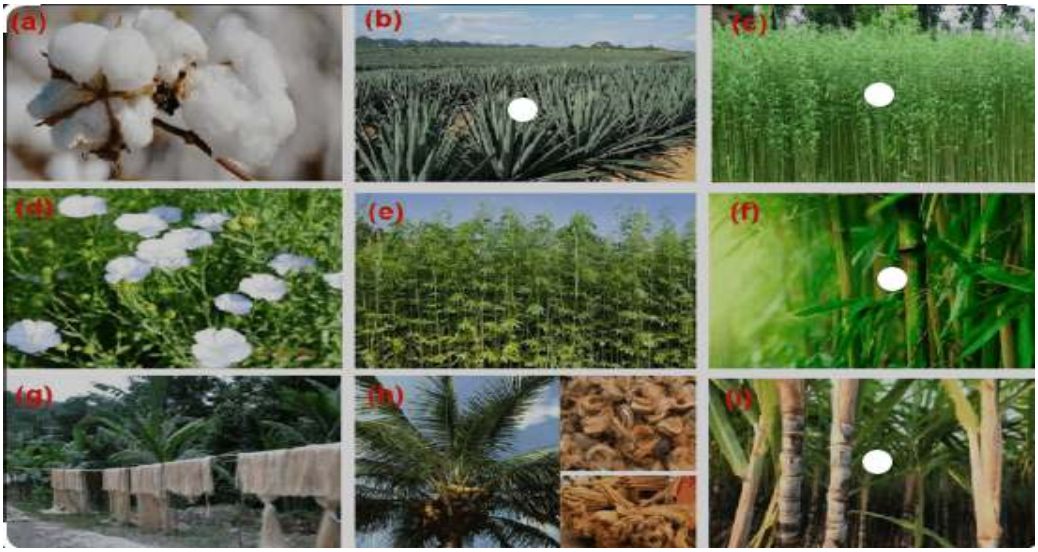
- ألياف البورون: ألياف ذات معامل عالي غير حساسة للأكسدة في درجات حرارة عالية ، يتم الحصول عليها عن طريق ترسب الطور الغازي على ركيزة من التنجستن.

ألياف السيليكا: يتم إنتاجها مثل الزجاج ، عن طريق الاندماج ، وتستخدم أساسًا لمقاومتها الكيميائية والحرارية العالية في فوهات محركات الصواريخ [18].

I-5-2 الألياف الطبيعية الرئيسية

لكي يتم اعتباره طبيعيًا حقًا ، من الضروري أن تكون سلسلة التوريد بأكملها متوافقة مع المعايير البيئية والأخلاقية التي تحترم البيئة والعمل البشري والأرض والمستهلك النهائي.

➢ **ألياف نباتية طبيعية:**



الشكل 5:ألياف نباتية طبيعية

➢ **ألياف البذور**

القطن. تحول القطن إلى سليلوز ، وهو أكثر الألياف الطبيعية استخدامًا في العالم والبطل بلا منازع في صناعة النسيج العالمية.

صفاته (النعومة ، التهوية ، المقاومة) تجعله الألياف الطبيعية بامتياز لجميع أنواع الملابس والمنسوجات.

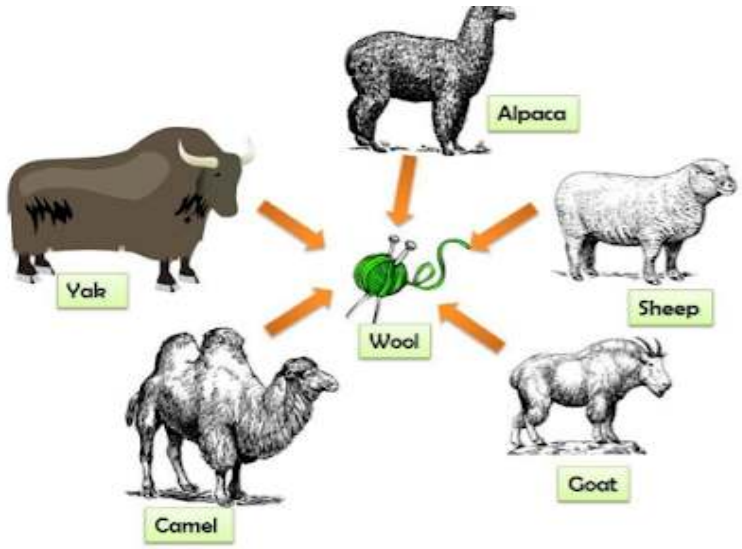
الشكل6 :ألياف البذور

➢ **الألياف الأخرى**

- **الكتان: ألياف نباتية تشتهر بمقاومتها ، وكانت من أوائل المواد التي تم حصادها وغزلها ونسجها. يستخدم الكتان في صناعة الأوراق النقدية والسجائر ، كما يستخدم في عزل المباني وكمواد تكسية أرضية للحماية من التآكل.**

- القنب: هذه الألياف شديدة المقاومة ، وهذا هو سبب استخدامها لإنتاج مواد البناء واللدائن الحيوية في صناعة السيارات. يُعامل القنب ، مثل القطن ، بشكل متزايد في الملابس عالية الجودة. يأتي من ثقافة ذات تأثير ضئيل للغاية على البيئة ، بدون مبيدات حشرية وبدون إضافات كيميائية.
- الجوت: يتم الحصول عليها بمعالجة سيقان نباتات جنس الكوركور **capsularis** و **colitorius** ، الجوت هو ألياف طبيعية شديدة المقاومة . بعد القطن ، هو الأكثر استخدامًا. يستخدم الجوت بشكل أساسي لصنع الأكياس.
- الرامي. موطنها شرق آسيا ، يتم الحصول عليها من لحاء **Boehmeria** نيفيا ، نبات مشابه لنبات القراص الصيني حيث تم استخدامه لآلاف السنين في صناعة الخيوط والغزل ونسيج يسمى الكتان الصيني. رامي هو خيوط بيضاء ذات مظهر حريري وقوي للغاية مع امتصاص وكثافة مماثلة للكتان.
- ألياف السيزال أو الصبار. السيزال غير مناسب لتصنيع الملابس ، ولكنه يحل محل الأسبستوس والألياف الزجاجية في العديد من المواد المركبة ، ولكن أيضًا في صناعة البناء ، حيث يتم استخدامه كمادة عازلة للحريق. كما أنها تحظى بتقدير كبير في إنتاج السجاد.
- الرافية. الرافيا هي ألياف قوية ومقاومة للغاية ، وتستخدم للحبال وصناعة الملحقات مثل الأحزمة والكراسي والمزهريات. نظرًا لمقاومته العالية للحريق ، فإنه يستخدم أيضًا في قطاع البناء كطلاء عازل ومقاوم للحريق.
- ألياف الموز . في القرن الثالث عشر ، تم غلي قشور الموز ومعالجتها للحصول على ألياف ناعمة جدًا ومطلوبة للغاية. في اليابان ، تم استخدام هذه الألياف لإنتاج الكيمونو التقليدي.
- الأباكا. مقاومة شديدة للكسر ، تم استخدام ألياف الأباكا لصنع الحبال للقوارب.
- اليوم ، يتم استخدامه في أكياس الشاي ، ولكن أيضًا لصنع ورق ملاحظات عالي الجودة وورق سجائر وورق ذي رأسية.
- زهرة اللوتس. تشبه ألياف اللوتس الحرير الخام. النسيج الناتج هو لون ذو صفات فريدة (مقاوم للتجاعيد تقريبًا ، ومضاد للعرق ، ومقاوم للماء وناعم جدًا).
- الجوز . يتم الحصول على ألياف جوز الهند من المواد المحيطة بقشرة جوز الهند. وهي ألياف صلبة بسبب محتواها العالي من اللجنين ، وهو بوليمر طبيعي ، وهي أقوى ولكن أقل مرونة من القطن ، وتستخدم هذه الألياف في صناعة المفروشات والأقمشة الأخرى مثل الحبال ، والفرش ، والمنسوجات الأرضية ، ومقاعد السيارات.

➢ **ألياف حيوانية طبيعية:**



الشكل7 :ألياف حيوانية طبيعية

الصوف هو أحد أكثر الألياف شيوعًا. يحتوي على بنية بروتينية تمنحه صفات فريدة (المرونة والمرونة ، الامتصاص ، يسمح للجلد بالتنفس ، يمنع انتشار البكتيريا ، يعزل ضد الحرارة والبرودة) التي لا يمكن للألياف الاصطناعية أن تنافسها. نظرًا لتوافره المحدود وصفاته الاستثنائية ، يعد الصوف أحد أكثر الألياف قيمة في العالم. هذه الألياف المثالية قابلة للتحلل الحيوي بنسبة 100٪ [16].

- **الحرير. مثل الصوف ، هو ألياف من أصل حيواني تم الحصول عليها من ديدان القز ، قبل أن تتحول إلى فراشة. إنه نسيج ذو قوة انعكاس وامتصاص قوية. الحرير الناعم والخفيف والناعم ممتع للارتداء وخلافًا للاعتقاد السائد ، فهو يعزل جيدًا ضد الحرارة والبرودة. نظرًا لصفاتها العديدة ، تحظى بشعبية كبيرة في عالم تصميم الأزياء الراقية وفي إنتاج ورق الحائط والسجاد [17].**

- **الألبكة. مصنوع من الصوف للحيوان الذي يحمل نفس الاسم ، وهناك نوعان من الألبكة ومجموعة واسعة من الألوان الطبيعية. Huacayos alpacas قصير وناعم ووفير ، في حين أن Suris حريري ولامع وقاس. يستخدم الألبكة في صناعة الأقمشة الفاخرة عالية الجودة.**

- **الأنجورا. يحظى الصوف الأبيض والحريري ، المصنوع من شعر أرانب الأنجورا ، بتقدير بسبب نعومته ومرونته. لم يتم استخدام الأنجورا بمفردها مطلقًا ، حيث يتم مزجها مع ألياف طبيعية أخرى لصنع أقمشة ملابس عالية الجودة [18].**

- **وبر الإبل. رقيقة وناعمة ، وتبقى من لونها البني المحمر ، مع اختلافات تتراوح من البندق إلى الرمادي.**

- الكشمير. يتم الحصول على الصوف من شعر ماعز الكشمير الناعم جدًا (كابرا هيركوس **laniger**) ناعم الملمس وخفيف جدًا ودافئ جدًا. كونها نادرة ، فهي تعتبر من الألياف الفاخرة.

➢ **ألياف من أصل معدني:**

هناك نوعان من الألياف المعدنية: تلك التي تأتي مباشرة من الصخور (أمثلة: الأسبستوس ، والولاستونيت ، والسيبيولايت) وتلك التي يتم إنتاجها صناعياً من المعادن (نتحدث بعد ذلك عن الألياف المعدنية الاصطناعية (أمثلة: الألياف الزجاجية أو الصوف الزجاجي المصنوع من السيليكا ، الصوف الصخري وألياف السيراميك المقاومة للحرارة وألياف الألومينا).

يتم البحث عن المعادن التي تهدف إلى إنتاج الألياف لصفاتها الكيميائية و / أو القصور الذاتي الحراري ، أحيانًا لخصائصها الضوئية أو الكهروضغطية ولكن بشكل أساسي لخصائصها المزججة **[19]**.

I-6 العلاجات الفيزيائية للألياف الطبيعية

تحسن العلاجات المسبقة والمعالجات اللاحقة خصائص معينة من الألياف. تعتبر المعالجات الكيميائية مثل البنزويل والأستلة أمثلة على العلاجات التي تهدف إلى تقليل الألفة المائية للألياف عن طريق تفعيل السطح. ومع ذلك ، فإنها تتطلب تنظيف الأسطح لتكون فعالة تمامًا.

على الرغم من فعاليتها ، تتطلب هذه العلاجات استخدام منتجات خطرة على البيئة ، في حين أن الطرق الفيزيائية مثل التقويم والتمدد والمعالجة الحرارية وغيرها من التقنيات لا تؤدي إلى أي تعديل كيميائي

ومع ذلك ، فإن العلاجات الفيزيائية تؤدي إلى تغيير في الخصائص الهيكلية والسطحية للألياف السليلوزية أو مصفوفة البوليمر **[16]**. تستخدم هذه الطرق بشكل رئيسي لتنقية ألياف اللجنوسليلوز ، وهي إزالة شظايا اللجنين والشوائب المتبقية من سطحه.

كما تستخدم المضافات الأخرى مثل اللدائن والملدنات. تعمل هذه المنتجات على خصائص محددة تؤدي إلى تعديلات السطح التي تحسن بشكل مباشر من البوليمر المقوى ، أو من خلال تسهيل تصنيعه (التغييرات في معلمات العملية: انخفاض درجة الحرارة ، تجانس الخليط ، تقليل الضغوط الميكانيكية أثناء العملية **[18]**.

الطريقة التي طورها فريق سيمون سين **[20]** تتكون من تحريض طبقة من البوليسترين على مسحوق ألياف التنوب. وبهذا ، أظهروا من خلال دراسة الواجهة عن طريق التحليل الطيفي الكهروضوئي للأشعة السينية (**XPS**) وكروماتوجرافيا الغاز العكسي (**IGC**) أن السطح قد تم تغييره.

بشكل غير متوقع ، يزداد ثابت التشتت لطاقة السطح عندما لا يجب أن يتغير لأن البوليسترين والألياف لهما ثوابت تشتت مماثلة [21].

تتم دائمًا معالجة ألياف السليلوز المعدلة فيزيائيًا على التوالي بوسائل كيميائية تتيح الاستفادة الكاملة من النتيجة التي تم الحصول عليها. يشار إلى هذا بالتعديل الكيميائي الفيزيائي [21].

I-7 المعالجة بالبلازما

في العصور القديمة ، اعتبر الإغريق أن مقومات العالم مشتقة من أربعة عناصر أساسية: الأرض ، والماء ، والهواء ، والنار [22].

من الممكن أن نرى في الثلاثة الأولى ما يعادل حالتنا الصلبة والسائلة والغازية. لكن الحالة الفيزيائية المقابلة لنار القدماء لم تظهر إلا مؤخرًا. باختيار النار كأحد العناصر الأربعة المكونة للمادة ، كان اليونانيون بعيدين عن تخيل أن هذا يشكل الحالة الأكثر انتشارًا للمادة في الكون ، والتي تسمى "البلازما". [23].

كيف تكون حالة البلازما هي الأقل شهرة من بين الأربعة وهي الأكثر انتشارًا؟ في الواقع ، توجد البلازما في حالتها الطبيعية في كل مكان في الكون (تمثل 99٪ من الكون) ولكن ليس على الأرض ، لأننا نعيش على جسم بارد محمي من تدفق البلازما بواسطة مجال مغناطيسي ، ومع ذلك ، يتم أحيانًا ملاحظة البلازما الطبيعية على الأرض ، مثل البرق أو الشفق القطبي.

في أكثر أشكالها استقرارًا ، تكون المادة في حالة صلبة. إذا زادت الطاقة الداخلية لهذه المادة الصلبة ، فإنها تنتقل إلى شكل سائل ، ثم إذا استمرت الطاقة المضافة ، فإنها تنتقل إلى شكل غازي. هذا الغاز ، إذا قمنا بإثارته بشكل مفرط ، أي إذا جلبنا له طاقة قوية ، فإنه ينتقل إلى شكل بلازما.

على الرغم من الطاقة العالية اللازمة لإنشائها ، فإن البلازما ليست موجودة فقط في حالتها الطبيعية في الفضاء بين النجوم والنجوم ، ولكنها موجودة أيضًا على الأرض. توجد على شكل نار أو برق أو الشفق القطبي. لذلك يمكن اعتبار النار أول بلازما صنعها الإنسان. يمكن تصنيف البلازما إلى ثلاث عائلات رئيسية حسب درجة حرارتها وكثافة شحنتها.

- ✓ البلازما الساخنة (أ)
- ✓ البلازما الحرارية (ب)
- ✓ البلازما الباردة (ج)

I-8 تصنيف البلازما

داخل البلازما ، لا يوجد دائمًا توازن ديناميكي حراري بين الأنواع ولكن هناك حالة ثابتة يكون فيها لكل نوع من الجسيمات طاقة تتميز بدرجة حرارة T. يتم تحديدها من خلال متوسط الطاقة الحركية [24].

I-8-1 البلازما الحرارية

يتم الحصول على البلازما الحرارية عند ضغوط عالية (P= 1 atm) وعند درجات حرارة عالية فهي غنية بالأيونات وتتميز بتوازن ديناميكي حراري محلي (LTE) يتحقق بين الإلكترونات والأنواع الثقيلة. تبلغ درجة حرارتها حوالي 10000 كلفن وتتطلب هذه البلازما طاقة كبيرة ، وغالبًا ما تتولد عن طريق مشاعل البلازما والأقواس الكهربائية [24].

I-8-2 البلازما غير الحرارية (الباردة)

هذه هي البلازما التي يتم الحصول عليها تحت ضغط منخفض (10-1 ضغط جوي) ، والتي تكون خارج التوازن الديناميكي الحراري. درجة حرارة الإلكترون أعلى بكثير من درجة حرارة الغاز التي لا تتجاوز 1000 كلفن ؛ يتم إنتاج هذه البلازما عن طريق التفريغ المتوهج ، وتصريفات الترددات الراديوية وتصريفات الميكروويف [25].

I-8-3 البلازما الدافئة

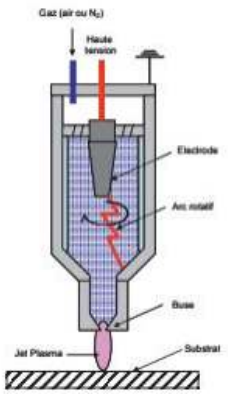
هناك فئة ثالثة من البلازما حيث لا يتم تنفيذ ETL بشكل صارم ، وهذا النوع من البلازما له خصوصية تتولد عند الضغط الجوي مع درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة ، ويطلق عليها بعض المؤلفين البلازما الفاترة. يتم الحصول عليها عن طريق التفريغ الهالي الكهربائي ، والذي يتضمن العديد من التقنيات المثيرة للاهتمام: تفريغ الحاجز العازل (DBD) ، تفريغ الهالة والتفريغ المنزلق [26].

I-9 مبدأ المعالجة بالبلازما

تعتبر معالجة البلازما منخفضة الطاقة أحد المعالجات السطحية المطبقة على الألياف عند الطاقة العالية ، يمكن أن تصل عملية البلازما إلى لب الألياف ولكنها تؤدي إلى تدهورها [4].

يمكن تطبيق البلازما تحت جو الأكسجين ، المعروف باسم بلازما الأكسجين. هذا الأخير يغير تكوين سطح الألياف الطبيعية عن طريق إثرائه –C = O ، –COOH و –CO2 وظائف [4].

يتم استخدامه للتطهير وسهولة الوصول إلى تعديل الجزيئات. في أوقات أطول ، تسبب هذه العملية تشققات في سطح الألياف.



الشكل8 :المعالجة السطحية للركائز بواسطة بلازما الهواء ، عند الضغط الجوي [4].

I-10 معالجة سطح البلازما الباردة:

تم تقديم مصطلح "البلازما" في عام 1928 من قبل الفيزيائي الأمريكي إيرفينج لانجمويير للإشارة إلى غاز مؤين متعادل كهربائيًا. تستخدم البلازما على نطاق واسع في معالجة الأسطح لأنها تجعل من الممكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية عن طريق فصل الجزيئات الغازية إلى جذور [13].

يستخدم هذا النوع من العمليات في العديد من القطاعات الصناعية مثل الإلكترونيات الدقيقة والطب الحيوي والأغذية والمنسوجات والسيارات [14].

في صناعة الإلكترونيات الدقيقة ، تُستخدم البلازما بشكل أساسي لتنظيف أسطح السيليكون ، ونقش الأنماط متباين الخواص (حفر بوابات الترانزستور أو ثقوب التلامس) وترسيب طبقات عازلة رقيقة لتخميل السطح ، أو العزل بين المعادن أو كقناع في عمليات الطباعة الحجرية الضوئية.

- في صناعة النسيج ، تستخدم البلازما لتعديل قابلية الملابس للبلل.
- في الصناعة الطبية الحيوية ، تستخدم البلازما لتعديل خصائص الأسطح مثل صلابة المواد أو قابليتها للبلل أو لصنع مواد متوافقة حيوياً.
- زرع الأطراف الاصطناعية في جسم الإنسان وكذلك لتعقيم المعدات الطبية [15].
- في صناعة تغليف المواد الغذائية ، تُستخدم البلازما في ترسيب طبقات حاجزة على بوليمرات غير منفذة لبخار الماء والأكسجين.

في الصناعة المعدنية ، تستخدم البلازما لترسيب طبقات لحماية المواد (المعادن على سبيل المثال) من الرطوبة أو التآكل.

I-10-1 مبدأ العمل

البلازما عبارة عن وسط غازي متأين جزئيًا أو كليًا يمكن الحصول عليه عن طريق تفتيت الغاز تحت ضغط منخفض عن طريق تطبيق تفريغ كهربائي بين قطبين. لذلك فهي مكونة من [4]. :

- الجسيمات المحايدة: الذرات و / أو الجزيئات.
- الأيونات الموجبة و / أو السالبة.
- الإلكترونات
- تسمى الجذور الحرة شظايا جزيئية.
- الفوتونات الناتجة عن إزالة إثارة الجزيئات المثارة.

تحدد قيمة α سلوك الجزيئات في البلازما. يمكن تصنيف الغازات المتأينة إلى عائلتين رئيسيتين:

– غازات متأينة ضعيفة تسمى البلازما الباردة أو البلازما غير المتأينة أو البلازما غير الحرارية التي تكون فيها ألفا أقل من 10^{-4}.

في هذه البلازما ، ستكون التفاعلات بين الجسيمات في الغالبية العظمى من تصادمات الإلكترون المحايد (بدون نقل طاقة ملحوظة بخلاف الانحراف عن المسار).

الإلكترونات هي الجسيمات الأساسية للبلازما بفضل حركتها (متوسط الطاقة الحركية) وهي أعلى بكثير من الجسيمات الثقيلة (الأيونات أو الجزيئات أو الذرات).

I-11.الخاتمة:

في هذا الفصل تم تقديم تعريفات لكل من المواد المركبة الألياف وانواعها وكذالك طرق المعالجة وأخذ بعض من الدراسات السابقة ليسهل علينا إنجاز الفصل الثاني

الفصل الثاني

الاساليب والمواد

II-1 مقدمة

تعتبر الخصائص الميكانيكية والحرارية للمادة المركبة من أهم القواعد التي يعتمد عليها في اختبارها لذلك تخضع المادة المادة المركب لعدة اختبارات ميكانيكية اختبار الانحناء والشد والصلابة والضغط والحرارية كاختبار التوصيل الحراري كذلك ندرس تأثير التنميش او المعالجة بالبلازما على هذه المواد وهذا نا سنتطرق اليه في هذا الفصل

II-2 التوصيف الميكانيكي

تم إجراء العديد من الاختبارات الميكانيكية من أجل دراسة تأثير المعالجة الحرارية للخشب على الخواص الميكانيكية لل **CBP** وعلى الالتصاق بين الألياف ومصفوفة البوليمر. أجريت الاختبارات في ظروف محيطة تبلغ **30٪** رطوبة نسبية ومتوسط درجة حرارة**20** درجة مئوية.

أدوات قياس أبعاد العينات عبارة عن فرجار بدقة ± 0.0 1 مم وميكرومتر بدقة ± 0.00 1 مم.

II-2-1 اختبارات الشد

يتكون اختبار الشد من تحديد تشوه العينة عند تطبيق الحمل بسرعة محددة. يستخدم هذا الاختبار بشكل متكرر لتحديد خصائص ميكانيكية معينة وسلوكيات معينة للمواد. وهو يتألف من وضع عينة من المادة المراد اختبارها بين فكين لآلة الجر والسحب حتى تنكسر. يجعل من الممكن الحصول على إجهاد بسيط للضغط أحادي المحور على عينة معيارية بسرعة ثابتة [27] .

يتم الحصول على هذه العينة مباشرة من المادة المراد اختبارها وتمثل عينة جماعية من المادة الأخيرة. يجعل هذا الاختبار من الممكن تحديد معامل المرونة (**MPa**) **E** أو معامل يونغ ، وهو ليس سوى الثابت الذي يربط إجهاد الشد والتشوه في مجال التشوه المرن ، مما يعطينا فكرة عن صلابة المادة ، ثم قوة الشد (**MPa**) **Rm** وكذلك الاستطالة عند الكسر **ET** (٪). المعادلات المستخدمة لتحديد هذه المعلمات هي كما يلي (**Baïllon and Doriot** 2000) [28] :

$$E = \frac{Fp}{b.h} \qquad 1$$

$$Rm = \frac{Fm}{b.h} \qquad 2$$

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta L}{L_0} x\ 100 \qquad 3$$

حيث :

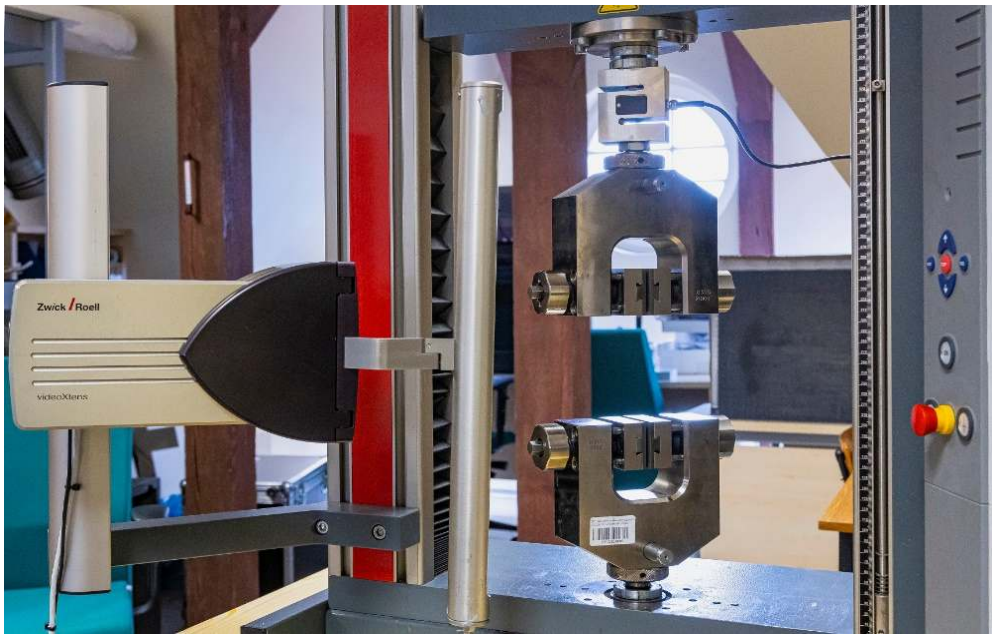
- Fm : القوة القصوى (N) ؛
- F_p : القوة المقاسة عند الحد النسبي (N) ؛
- L_0 : الطول الأولي (مم) ؛
- b: عرض العينة (مم) ؛
- e; سمك العينة (مم) ؛
- ΔL: استطالة (مم).

يتمثل مبدأ اختبار الشد في إخضاع عينة من المادة المراد دراستها للجر وقياس الاستطالة ΔL المقابلة للقوة F. يتم تثبيت العينة في فكي الشد، ويتم تثبيت أحد الطرفين، على الطرف الآخر، تمارس قوة الشد التدريجي على طول محور العينة حتى التفكك. مقياس الضغط (مقياس التمدد) يقيس الاستطالة [28] .

الضغط الذي يتم الحصول عليه بأعلى قوة مطبقة هو قوة الشد. إجهاد الخضوع هو الضغط الذي ينتج عنده جزء معين من السلالة البلاستيكية (عادة 0.2٪). يتم تعريف الاستطالة من خلال نسبة التمدد للعينة قبل التمزق.

تم إجراء اختبارات الشد وفقًا لمعيارين: ASTM D 638 type IV للعينات المصنعة في CTMP بسرعة اختبار تساوي 5 مم / دقيقة و ISO 527 type SA للعينات المصنعة باستخدام MiniJet بسرعة تساوي 1 مم / دقيقة [27] .

آلة الاختبار المستخدمة هي آلة اختبار عالمية Zwick / Roell Z020 بسعة 20 كيلو نيوتن. تم اختبار 10 عينات لكل خليط. يوضح الشكل جهاز الجر المستخدم



الشكل 9: آلة اختبار الشد العالمية Zwick / Roell Z020

II-2-2 اختبارات الانحناء

يستخدم اختبار الانحناء لتحديد معامل المرونة (Ef) والمقاومة (Rmf) وكذلك أقصى تشوه في الانحناء [28]. يتكون هذا الاختبار من تطبيق حمل في منتصف العينة الموجودة على دعامتين ، كما هو موضح في الشكل 2

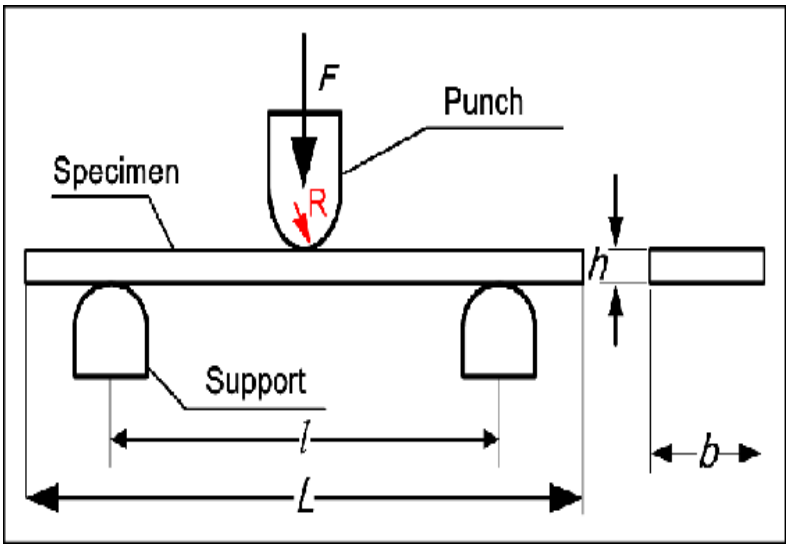
الشكل 10: آلة اختبار الانحناء

مبدأ هذا الاختبار هو قياس الإزاحة (السهم "y") من القوة (F) الموضوعة في منتصف دعامتين. تتيح العلاقات الناتجة عن مقاومة المواد إمكانية الربط بين هاتين الكميتين (y و F) وهندسة الجزء (L ، h و b) وخصائص المادة (ε

و σ و E. [29]العينة متوازية السطوح ، المدعومة مثل شعاع ، تتعرض للانحناء ، في منتصف الامتداد (3 ثني ثلاث نقاط) ، بسرعة ثابتة تبلغ 5 كيلو نيوتن ، حتى تنكسر العينة.

دعامات العدادات المرنة نصف كروية الشكل بقطر 36 مم للدعمين السفليين و 11 مم للثقب.

يتم إجراء الاختبارات في درجة حرارة الغرفة على آلة من نوع Zwick مزودة بمستشعر قوة 2 كيلو نيوتن ويتم التحكم فيها من قبل الخبير برنامج اختبار [1 ، 2]



الشكل 11: مبدأ اختبار الانحناء ثلاثي النقاط

II-2-3 القيد [27] :

$$\sigma_f = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \qquad 4$$

مع

- P: الحمل المطبق على العينة في (N)
- L: المسافة بين الدعامات بـ (مم).
- b: عرض العينة بـ (مم).
- h : سمك العينة بـ (مم).

II–2–4 معامل يونج للانحناء [27] :

$$E_F = \frac{P.L^3}{6.f.I} \qquad 5$$

مع

- **P**: أقصى حمل للشي في (**N**).
- **L**: المسافة بين الدعامات بـ (مم).
- f : الانحراف بـ (مم).
- **الأول: لحظة القصور الذاتي =** $bh^{3/12}$.

II–2–5 اختبار الصلابة [1 ، 2]

صلابة المادة هي خاصية ميكانيكية تمثل المقاومة لاختراق المسافة البادئة، والتي يعتمد شكلها على طريقة المسافة البادئة المختارة.

أثناء اختبار الصلابة، يتم تشكيل مسافة بادئة محاطة بمنطقة مشوهة بالبلاستيك.

كلما زادت الصلابة، كانت المسافة البادئة والمساحة المشوهة أصغر. ينتج تشوه البلاستيك عن التشوهات الدقيقة المتداخلة على مقياس الشبكة البلورية من عيوب البنية المجهرية مثل الرواسب والذرات في الإدخال أو الاستبدال والخلع.

يستخدم هذا الاختبار لقياس صلابة المعدن من خلال مراعاة العمق الذي تخترق فيه نقطة المعدن عند تطبيق حمولة معينة [28] .

يمكن إجراء اختبار الصلابة باستخدام عدة أجهزة قياس ، ويكمن الاختلاف الرئيسي بين الاختبارات المختلفة في شكل الطرف

تم إجراء اختبارات الصلابة باستخدام اختبار صلابة Brinell و Rockwell و Vickers Universal Indent.

الشكل 12: جهاز اختبار الصلابة العامةو Brinell – Buehler

II–2–6 اختبار الضغط

تخضع المادة المركبة لنظام ضغط بسيط إذا تم تطبيق قوتين محوريتين متساويتين ومعاكستين مباشرة على نهاياتها ، والتي تميل إلى تقصيرها بسرعة ثابتة [30] .

الشكل 13: آلة اختبار الضغط

قوة الانضغاط التي تحددها العلاقة

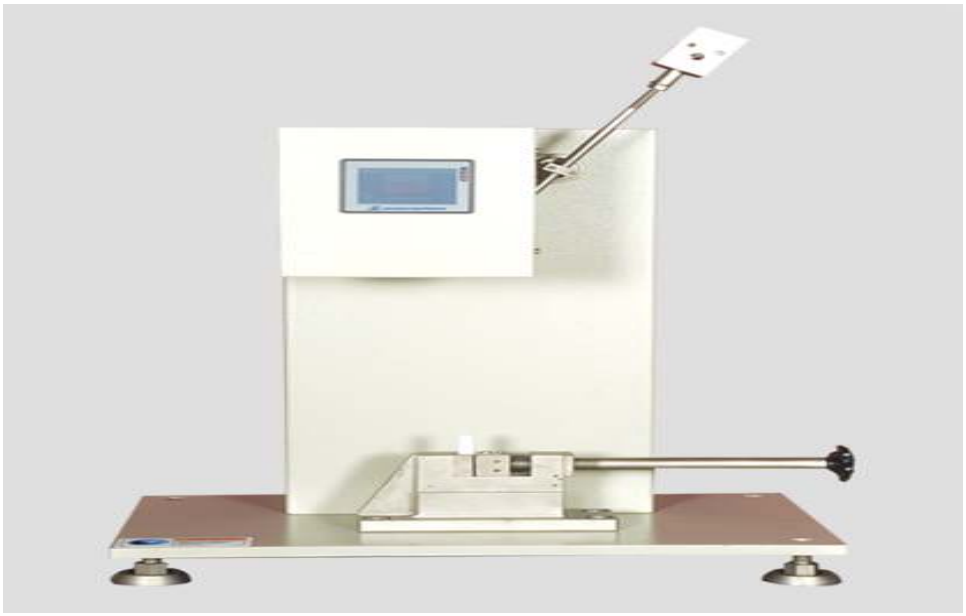
$$R_C = \frac{F}{S} \qquad 6$$

حيث:

- $R_{ج}$: قوة الانضغاط.
- F : أقصى قوة في (N).
- S: قسم العينة بـ (مم^2) [30] .

II-2-7 اختبار تأثير IZOD

يتيح اختبار التأثير قياس مقاومة تأثير مادة ما وبالتالي تقدير متانتها.



الشكل 14: اختبار تأثير IZOD

الجهاز المستخدم يسمى "بندول الضأن" بسعة قصوى 5 جول. يتم إطلاق البندول من ارتفاع معين ، ويتم استخدامه لكسر قطعة الاختبار مع الاستمرار في حركتها حتى الوصول إلى ارتفاع أقل من الارتفاع الأولي. وبالتالي يتم قياس مرونة المادة (معبرًا عنها بالكيلو جول / متر مربع) ، من العلاقة التالية [28] :

$$a_{iu} = \frac{E_C}{b.h} x1000 \qquad 7$$

- a_{iu} : مقاومة تأثير العينات الملساء بوحدة kN / m ؛
- b: عرض العينة (مم) ؛
- h: سماكة العينة بـ (مم) ؛
- $E_{ج}$: الطاقة التي تمتصها الصدمات. [28]

3-II الخصائص الحرارية

تم استخدام مسعر المسح التفاضلي، المعروف أيضًا باسم **DSC** (قياس المسعر التفاضلي للمسح التفاضلي) ، لتحديد الخصائص الحرارية لـ **CBPs** المصنعة ، مثل درجة حرارة الانصهار أو درجة حرارة التزجج.

مبدأ هذا الجهاز هو قياس الفروق في التبادل الحراري بين العينة المراد تحليلها والمرجع. تتيح هذه التقنية إمكانية تسجيل التأثيرات الطاردة للحرارة أو الماصة للحرارة الناتجة عن التعديلات الفيزيائية أو الكيميائية للمواد ، مما يسمح لنا أيضًا بتحديد معدل التبلور **Xc** للمركب باستخدام العلاقة التالية

$$X_C = \frac{\Delta H_f}{\Delta H^\circ_f} . \frac{1}{\omega} 100 \qquad 8$$

حيث،

- ΔH_f: المحتوى الحراري المحدد لانصهار البوليمر المستخدم ،
- ΔH°_f: المحتوى الحراري لانصهار البوليمر البلوري بنسبة 100٪ عند درجة حرارة التوازن الديناميكا الحرارية
- ω : الكسر الكتلي لـ **HDPE** في المركب.

1-3-II التوصيل الحراري

يتم قياسه بشكل عام في حالة مستقرة مع مجال درجة حرارة أحادي الاتجاه. بالنسبة للوحة التي تحتوي على مقاومات تسخين، بحيث تتكون هذه اللوحة من جزء قياس مركزي وجانبين محميين آخرين لإلغاء تسربات الحرارة الجانبية، يتم إحضار الحرارة إلى عينات اختبار المادة الموجودة على كلا عجانبي اللوحة المركزية. يتم تبديد الطاقة التي تمر عبر العينات بواسطة صفيحتين باردتين مرتبة على هاتين العينتين.

يتم قياس الطاقة الكهربائية الموفرة للوحة الساخنة بالطرق الكهربائية التقليدية ويتم قياس تدرج درجة الحرارة على جانبي العينات بواسطة ازدواج حراري للجهاز التجريبي المستخدم لقياس التوصيل الحراري ، ويُعطى بالشكل الذي يتضمن عنصر **TPS** ، مصدر طاقة ثابت الجهد ، جسر **Wheatstone** ، وحدة اكتساب من نوع **FLUKE HYDRA** وحاسوب دقيق للتحكم ومعالجة البيانات [31] .

يتم استنتاج معامل التوصيل الحراري عند متوسط درجة الحرارة من خلال العلاقة:

$$\lambda_t = \frac{\varphi . e}{S \Delta T} \qquad 9$$

φ: التدفق الحراري ، يساوي نصف الطاقة الكهربائية المشتتة في لوحة دافئة (**W**) ؛

e: متوسط سمك العينتين (م) ؛

S: مساحة منطقة التدفئة المركزية ($م^2$) ؛

ΔT: فرق درجة الحرارة بين السطح الساخن والسطح البارد (**K**) **[31]**

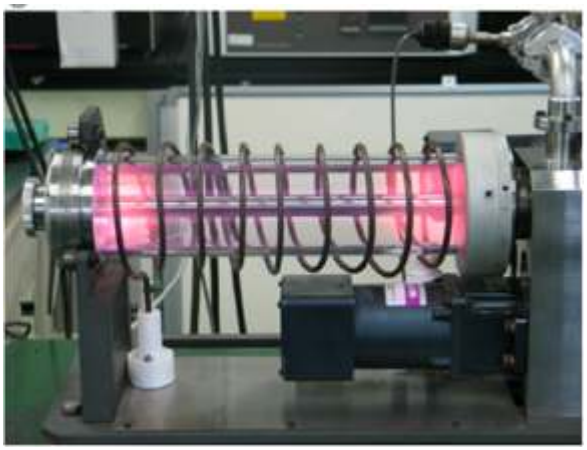
II-4 المعالجة بالبلازما:

تم اقتراح تقنيات المعاجة بالبلازما االباردة كواحدة من أكثر التقنيات فعالية ونظافة لحل المشكلات البينية لتقوية الحشوات بما في ذلك الجسيمات المحبة للماء مثل السيليكا والألياف الطبيعية مثل ألياف الجوت.

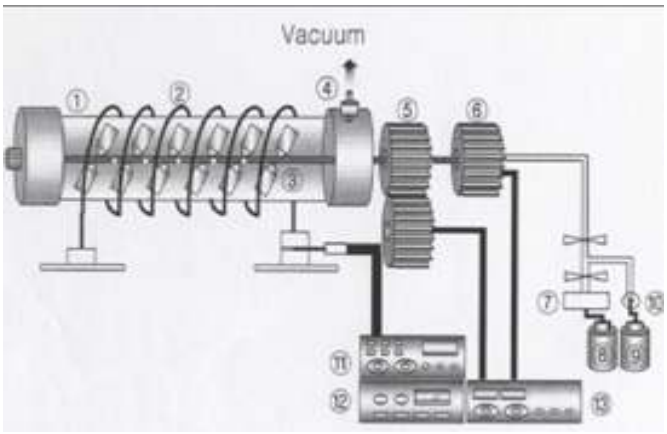
تم الإبلاغ عن أن معالجة البلازما فعالة في تعديل الطبيعة المحبة للماء للألياف الطبيعية إلى الطبيعة الكارهة للماء، والتي تشبه تلك الموجودة في راتنجات البوليمر

II-4-1 التجربة:

تم إجراء الحفر بالبلازما باستخدام مولد بلازما **RF** من النوع الأسطواني (**HPPS-300**، **Hanatek Co.** يوضح الشكل 8 الصورة التخطيطية والحقيقية لنظام آلة البلازما الذي يتكون من مفاعل من النوع الأنبوبي ، ومحرك من نوع الشفرة ، ونظام مطابقة المعاوقة اليدوية ، وجهاز التحكم في تدفق الكتلة.



الشكل 15: مولد بلازماRF



الشكل 16 :الصورة التخطيطية لنظام الة البلازما

1) مفاعل أنبوبي
2) لفائف RF
3) قضيب شفرة
4) منقي
5) ترس تعلق على مفاعل أنبوبي
6) تعلق العتاد على قضيب الشفرة
7) تحكم التدفق الشامل
8) فوار
9) ثقب الابرة
10) وحدة مطابقة المعاوقة
11) وحدة امدادات الطاقة RF
12)تحكم مفاعل أنبوبي

• يتم توريد ألياف الجوت الطبيعية من بنغلاديش والبولي بروبيلين (PP، J–170 درجة ، كثافة 0.9 جم / سم 3 ، مؤشر تدفق الذوبان 28.0 جم / 10 دقيقة ، شركة هومان للبتروكيماويات كوريا).

• في البداية يتم تنظيف الغرفة بمسحها بالأسيتون لتجنب التلوث المحتمل.

• يتم اختيار ألياف الجوت التي يزيد طولها عن 6 سم

• يتم شحنها في غرفة المفاعل ، وبعد ذلك يتم وضع مكنسة كهربائية في الغرفة.

• لمعرفة الظروف المثلى للمعلمات الرئيسية لمعالجة البلازما ووقت المعالجة والطاقة الكهربائية وضغط الغاز متباينة: 30–120 ثانية ، 40–100 واط ، 30–90 ميللي تور ، على التوالي.

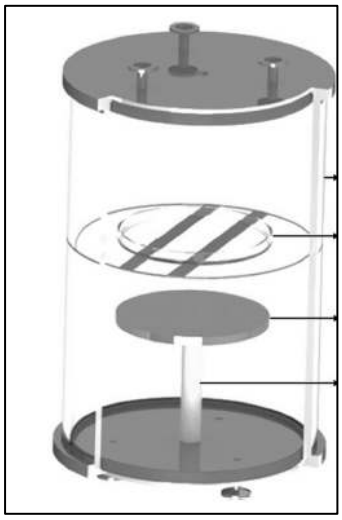
• تم استخدام غاز الأرجون كغاز ناقل

* يمكن ستخدام المعالجة بالبلازم لتعديل البوليمرات والألياف الطبيعية عن طريق تغيير طاقة سطح الألياف. تتسبب العملية في تشابك السطح ويمكن أن تقدم مجموعات تفاعلية

• بالإضافة إلى ذلك، أفادت الأعمال السابقة أن التشابك على سطح الألياف يؤدي إلى التقوية، وتعديل السطح عن طريق معالجة البلازما هو نتيجة لتأثير القطع على سطح الألياف أثناء قصف البلازما للمادة ، مما ينتج عنه تعديلات كيميائية وهذا ما سنتطرق اليه في التجربة 2 .

II-4-2 التجربة:

- يتم الحصول على الألياف عن طريق فتح الثمار وعزلها من البذور والقشر، ثم تجفيفها في فرن عند 60 درجة مئوية لمدة 24 ساعة. لم يتم استخدام أي من العمليات الكيميائية ولا عمليات الغسيل.
- يتم حفظ الألياف في فراغ في فرن عند 30 درجة مئوية حتى معالجة البلازما.
- تفاصيل أجهزة البلازما المستخدمة



الشكل 17: فرن

- تم التحكم في التيار الكهربائي على مدى A0.12–0.09
- الجهد من 400 إلى 500 فولت.
- كانت درجة حرارة العينات 72 درجة مئوية
- كان معدل التدفق 10 سم 3. دقيقة –1 من الغاز
- تم ضبط مسافة العمل على 4.0 سم.
- كان الضغط داخل المفاعل 1.5 ملي بار.
- تم استخدام غاز الأكسجين
- تم ضبط أوقات التعرض على 30 و45 و 60 دقيقة على التوالي
- تم تفريغ الغرفة حتى 7 × 10 – 3 مبار باستخدام مضخة تفريغ قبل إعادة ملئها بغاز الأكسجين.

• تم وضع ما يقرب من 5 جم من الألياف لكل تحليل في حامل العينة قبل بدء العلاج

II-5 الخاتمة

في هذا الفصل تم التطرق الى الوصف الميكانيكي للألياف ومعالجتها كذلك اختبارات الشد والانحاء والضغط وايضا التوصيل الحراري والمعالجة بالبلازما الباردة

الفصل الثالث

الجانب التطبيقي ومناقشة النتائج

III-1 مقدمة

تعتبر دراسة الخصائص الميكانيكية لألياف المواد المركبة ضرورية لفهم وتحسين أداء هذه المواد. يؤكد الفصل على الجانب التجريبي للبحث، حيث سنقوم بإجراء تجارب لتحليل ووصف الخصائص الميكانيكية للألياف الموجودة في المادة المركبة المدروسة.

سنقوم بتقييم الخصائص الميكانيكية للألياف المدروسة وفهم كيفية تأثيرها على أداء المادة المركبة في ظل ظروف مختلفة في هذا الفصل ستتم معالجة الالياف الطبيعية فيزيائيا وكيميائيا من اجل تقوية المادة المركبة

III-2 التحضير والإنتاج

III-2-1 تحضير المواد

دراستنا تتضمن دراسة عينتين من الالياف الطبيعية (الياف نباتية و حيوانية) و تتضمن الالياف الطبيعية أشجار نخيل زينة اما الالياف الحيوانية (الوبر) من الجمل

III-2-1-1 الالياف الطبيعية النباتية

قمنا بجمع سعف نخيل زينة الطازج مع الحرص على اختيار الأوراق التي كانت بحالة جيدة بدون تلف أو بقع. ثم جففنا أوراق نخيل. تم الحصول على أوراق نخيل زينة من أشجار النخيل المحلية.

الشكل 18: شجرة نخيل الزينة

III-2-1-2 الألياف الطبيعية الحيوانية:

بالنسبة للألياف الحيوانية تم استعمال وبر الجمال كمادة أولية

الشكل 19: الجمل

الشكل 20: الوبر

III-2-1-3 تحضير الراتينج:

يستخرج الراتنج من بعض الأشجار مثل الصنوبر ويحتوي على مكونات كيميائية والراتنجات من أنواع اللدائن وهي المواد التي يحدث لها تصلب اما عن طريق الحرارة او تفاعل بين مكونين اساسين هما الريزن والمصلب ويتم خلطهما معا بمقدار معين ليتم التفاعل الكيميائي بينهم ويبدا التصلب تدريجيا ليكون بشكل زجاجي لامع شفاف ويستخدم لتطبيقات كثيرة مثل (الدهانات، الديكورات و اعمال العزل) ويكون ملمسه مثل البلاستيك. والنوع الذي قمنا باستخدامه هو الراتنج الايبوكسي ، واتبعنا تعليمات الشركة المصنعة بعناية لتحضير الراتنج. لموضح في الشكل 21

الشكل 21: الراتنج السائل و المتصلب

III-2-1-4 خصائص الراتنج المستعمل

اسم المنتج	DURACLEAR EPOXY	
نوع الراتنج	Urethane/Acrylic	
خصائص		
الغرض		
كثافة المكون (كثافة محددة @ 25 درجة مئوية)	1.12 epoxy ,0.97 مصلب	1.12 epoxy ,0.95 مصلب
نسبة الخلط بالحجم	2:1	2:1
نسبة الخلط بالوزن	100:43	100:43
اللزوجة (أ / ب / مختلط عند 25 درجة مئوية)	1850/35/280	1850/25/195
كثافة مختلطة (كثافة محددة @ 25 درجة مئوية)	1.07	1.07
وعاء الحياة (@ 25 درجة مئوية)	90 min	360 min
Tack Free Time (@ 35ºC)	24 hrs	72 hrs
اللون	ابيض	ابيض
درجة الحموضة	7-9	7-9
العلاج الكامل الموصى به	7 days @ 25°C	7 days @ 25°C,
وقت الهلام @ 22 درجة مئوية في كتلة 150 جرام	5.5 hrs	5.5 hrs
أقصى عمق الصب	1.27-2.54 cm	1.27-2.54 cm
قوة الشد ، MPa	56.1	54.5
استطالة ،٪	6	6.5
معامل يونغ ، GPa	3.10	3.00

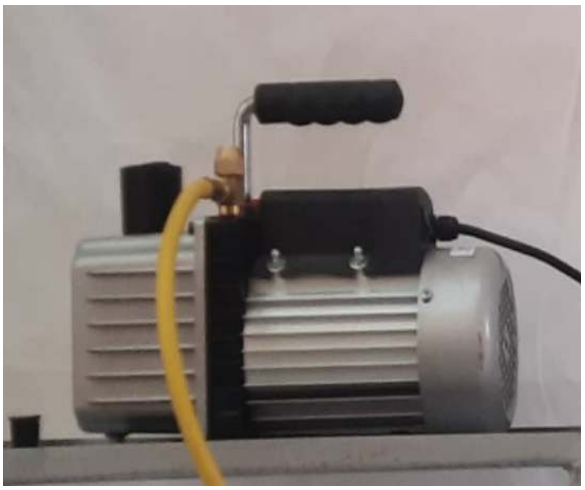
III-2-1-5 تحضير القالب:

القالب الذي استخدمناه، مصنوع من الفولاذ. أبعاده كالتالي: طوله [30سم] وعرضه [20سم] وسمكه [4مم] يتكون من 3 قطع وله فتحتان لدخول وخروج المزيج

الشكل 22: القالب

III-2-1-6 المضخة

تستخدم لإزالة الهواء من المخطط...كما تقوم بامتصاص الراتنج لوضعه في القالب



الشكل 23: المضخة

III-2-2 تحضير العينات

بالنسبة للمعالجة الكيميائية للألياف النباتية تمثلت في ترك سعف نخيل الزينة لتجف لمدة شهر ونصف بدرجة حرارة الغرفة (20–25) درجة لتصبح كما هو موضح في الشكل السابع ثم نقوم باستخلاص الالياف وكذلك يتم نزعها من أوراق نخيل الزينة مباشرة لكونها جافة للحصول على الالياف المراد معالجتها كما يبينه الشكل24

الشكل 24: مرحلة التجفيف

وللحصول على الالياف المراد استعمالها في التجربة

الشكل 25: استخلاص الالياف النباتية

اما بالنسبة للألياف الحيوانية تم استعمال المغزل اليدوي للحصول على النتيجة الموالية كما يوضحه الشكل الموالي

الشكل 26: مرحلة تجهيز خيوط الوبر

III-3 المعالجة الفيزيائية بالبلازما الباردة

III-3-1 نوع الة البلازما

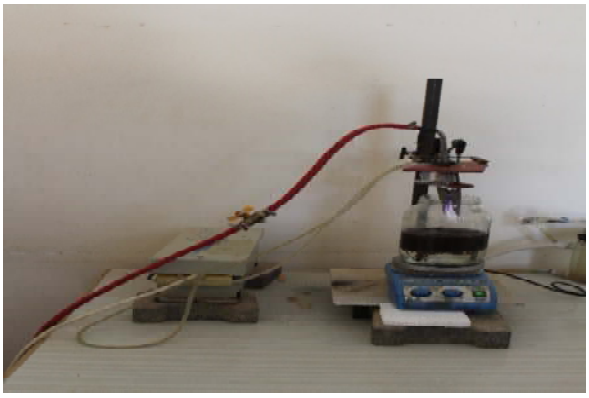
نوع آلة البلازما: تفريغ القوس الانزلاقي

- تردد البلازما [60 هرتز]
- جهد بلازما [9000 فولت]
- نوع الفوهة وحجم 1مم
- يستخدم غاز البلازما هواء الغلاف الجوي
- تدفق الغاز [8000لتر / دقيقة]

– المسافة بين فوهة البلازما والالياف 5 سم

III-3-2 معالجة الالياف الحيوانية (الوبر):

تم نقع (200غرام) من الوبر في2لتر من الماء مقطر لمدة مقدرة بنصف ساعة الي 45 دقيقة في البلازما الباردة ثم نتركها منقوعة في الماء الذي كانت به مدة 4 الى5ساعات ثم نقوم بغسلها بالماء المقطر 3 مرات على توالي لنزع الغبار والشوائب ونتركها تجف لمدة 48 ساعة في درجة حرارة الغرفة

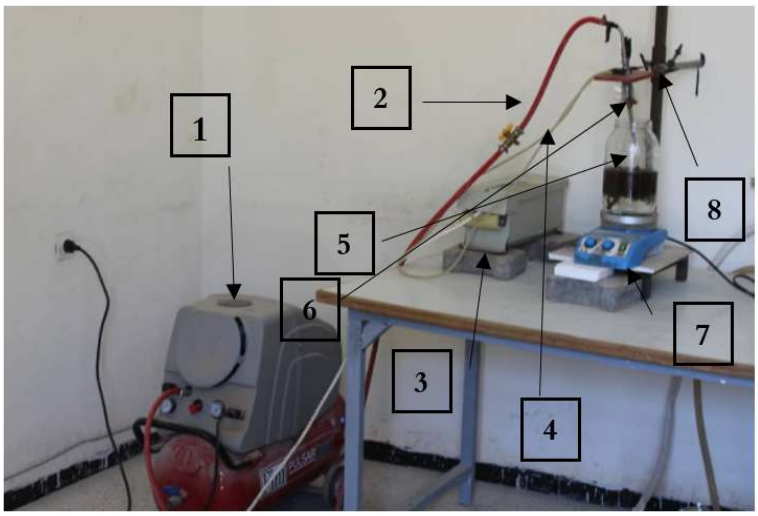


الشكل 27: معالجة الالياف الحيوانية بالبلازما الباردة

III-3-3 معالجة الالياف النباتية:

توضع كمية تقدر ب (400غرام) من الالياف النباتية في 3 لتر من ماء المقطر في البلازما الباردة لمدة 45 دقيقة ثم نتركها منقوعة في الماء الذي كانت به مدة 4 الى 5 ساعات ثم نقوم بغسلها بالماء المقطر 3 مرات على توالي لنزع الغبار والشوائب ونتركها تجف لمدة 48ساعة في درجة حرارة الغرفة

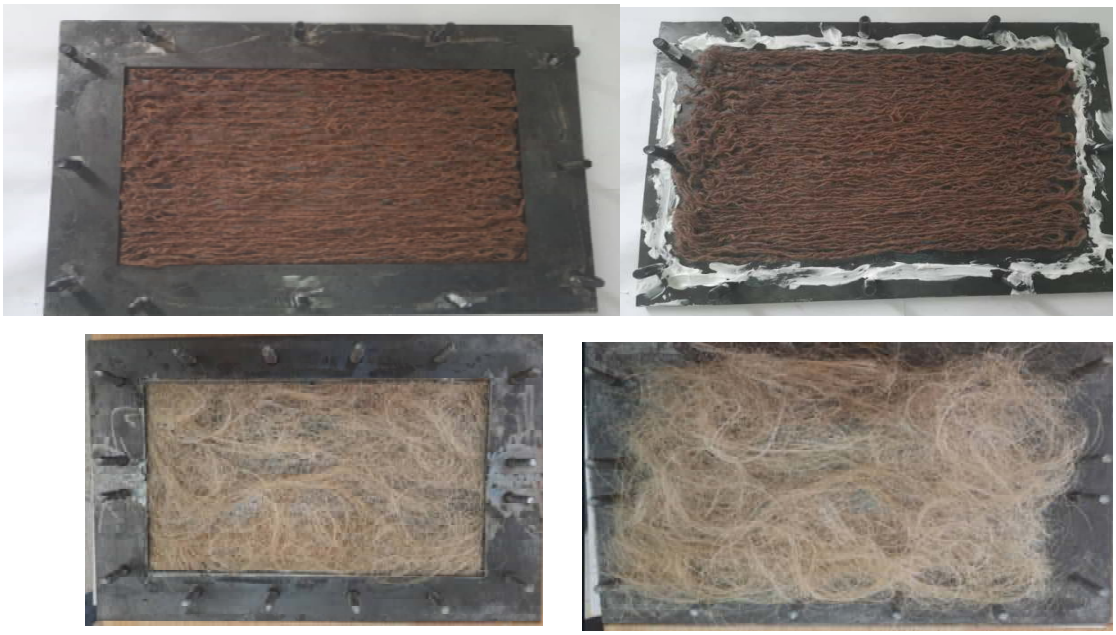
الشكل 28: معالجة الالياف نباتية بالبلازما الباردة



1. جهاز ضغط الهواء
2. انبوب الضغط
3. محول كهربائي
4. ناقل كهربائي
5. وعاء
6. شفرتين
7. الة تسخين وتدور
8. الحامل

الشكل 29: البلازما الباردة

III-4تحضير التجربة: **يعتبر التسريب بالفراغ إحدى عمليات التصنيع الحديثة المركبة التي يمكن أن تحل محل الطريقة التقليدية. تتمثل الفكرة وراء التسريب بالشفط في الضغط السلبي لسحب الهواء داخل القالب أثناء سحب الراتنج إلى القالب ، وبالتالي غرس التعزيز في الراتنج. بعد إنتاج طبقة الراتنج والمصفوفة ، مع بنية ليفية ثنائية الأبعاد ، يكون احتكاك حجم الألياف 30٪. لتقليل خطر الفراغات والمسامات في المادة ،في البداية نقوم بتنظيف القالب جيدا ثم نقوم باخذ جزء من الألياف (الياف نباتية و الوبر) ثم نقوم بوضعها في القالب .وقمنا بوضع مادة (السيليكون) من اجل منع خروج الراتنج ودخول الهواء**



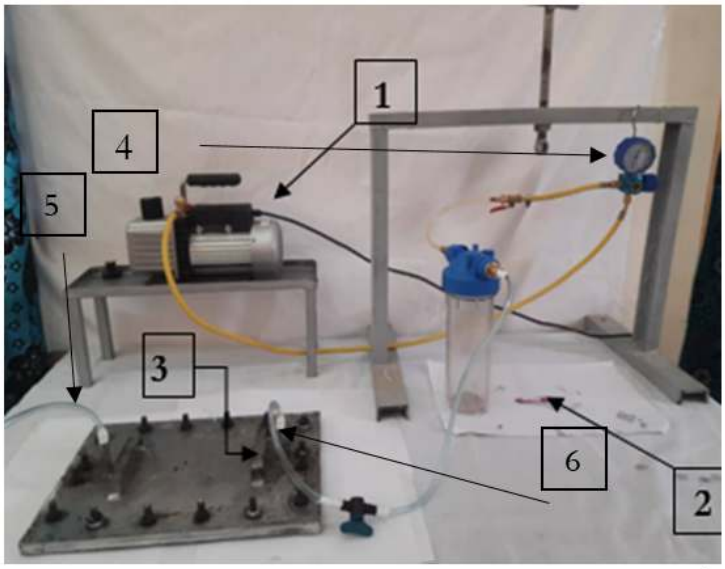
الشكل 30: عملية وضع الالياف الطبيعية (الحيوانية و نباتية) داخل القالب

بمجرد تحضيرها. تمت تغطية القالب بقطعة أخرى من القالب. يتم توصيل أنبوب المدخل لامتصاص الراتنج ، بينما يتم توصيل أنبوب المخرج عند مخرج الراتنج. بعد توصيل وإكمال تركيب مضخة التفريغ الدائرية .ونقوم بعملية وزن الراتنج الابوكسي حيثة استهلكنا [188غرام] من الراتنج السائل و [81غرام] من المتصلب وقمنا بخلطهم وضعهم في الماء تكون درجة حرارتة 50 درجة مدة 5دقائق لإزالة فقعات الهواء ولكي يكتسب بعض الصلابة .

الشكل 31:يوضح عملية وزن الراتنج

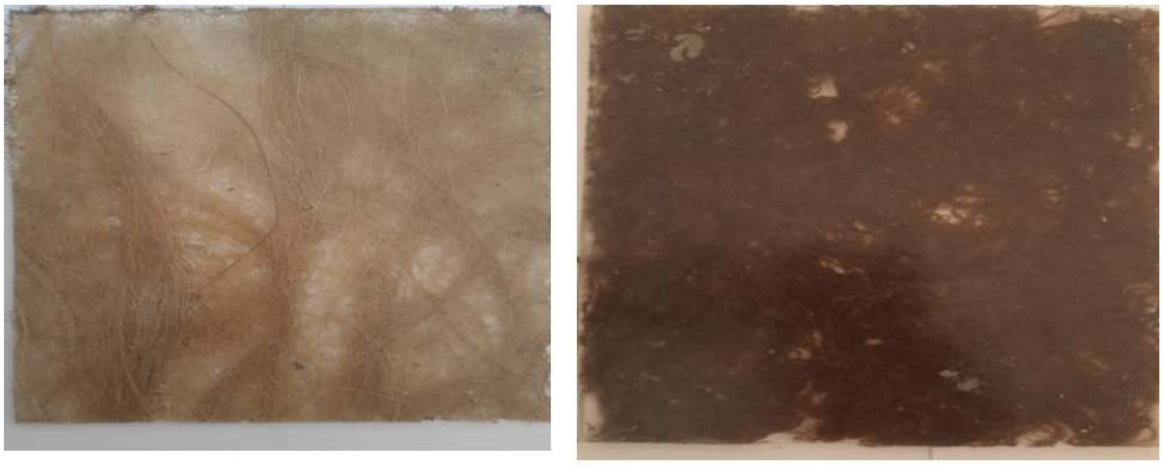
ثم بدانا في العمل ، ومر الراتنج عبر قسم المدخل ودخل القالب بسبب الضغط التفاضلي حتى تصل إلى قسم الخروج. تم ترك القالب ليجف لمدة 48–72 ساعة في درجة حرارة الغرفة قبل إزالة العينة برفق من القالب حسب الشكل 32

1) – المضخة
2)– مرشح
3)– القالب
4)– مرشد الضغط
5)– أنبوب دخول المزيج
6)– أنبوب خروج المزيج



الشكل 32:مخطط تجهيز العينة

فنتحصل على النتائج التالية

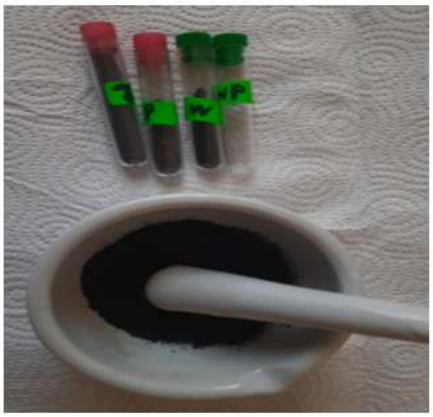


الشكل 33:صفيحتين الالياف بعد صب الراتنج للوبر و نخيل الزينة

تم بعد ذلك نضع الصفيحتين في المجفف(غرفة بخار ،le tuve) عند 60 درجة مئوية لمدة 24 ساعة. من اجل تثبيت الراتنج تم تقطيع المواد المعالجة إلى قطع اختبار قياسية لفحوصات خصائص المواد

الشكل 34: مراحل تثبيت الصفيحتين

III-4-1 تحضير العينات للتحليل: قمنا بحرق العينات في فرن على درجة حرارة (300درجة) مدة 2ساعة من مزايا حرق الألياف إزالة أهم المواد العضوية والمعادن من العينة حيث تم حرق العينات قبل وبعد المعالجة بالبلازما ثم قمنا بطحمها جيدا



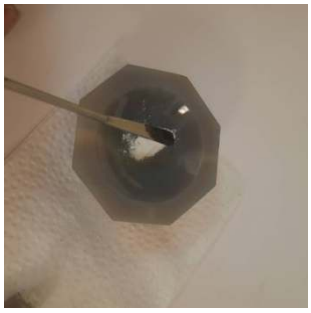
الشكل 35:عملية حرق وطحن

III-5 تحليل فورييه لتحويل الأشعة تحت الحمراء (FT-IR)

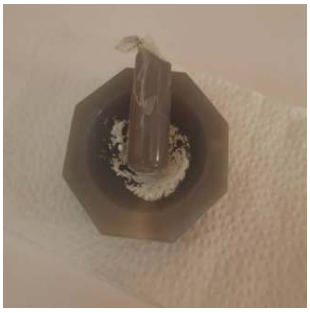
جرب الباحثون مجموعة متنوعة من العلاجات الكيميائية لتحسين محتوى السليلوز ، والخصائص الميكانيكية ، وخشونة السطح ، وما إلى ذلك ، ويمكن استخدام هذه الطريقة لتحديد التغيرات الكيميائية التي تحدث في المجموعات الوظيفية. التحليل باستخدام (FT–IR **Fourier Transform Infrared**).

العينات 1 ، 2 تمثل ألياف جريد النخيل الزينة والوبر بالمعالجة وبدون معالجة تم فحصها بواسطة **FTIR**. لدراسة التغيرات في التركيب الكيميائي ، تم طحن 0.02 جم من كل عينة وخلطها مع 0.198 جم من مسحوق **KBr** قبل طحنها على قرص **KBr** وضغطها عند ضغط 70 كيلو نيوتن لمدة دقيقتين.

1



2



3

4

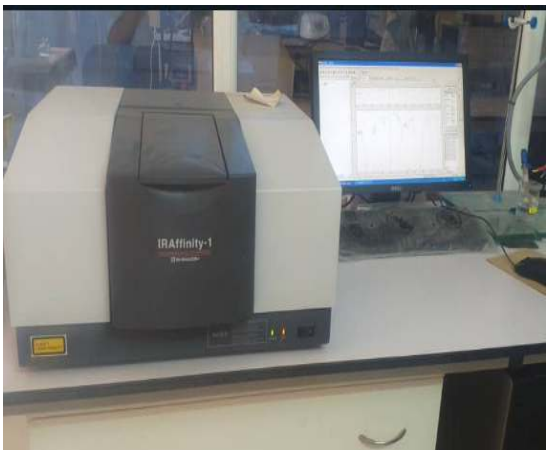
5

6

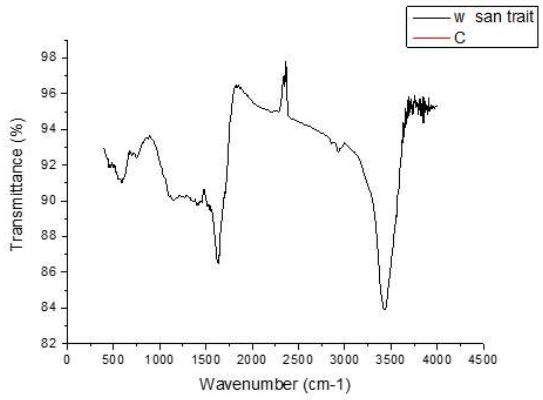
7

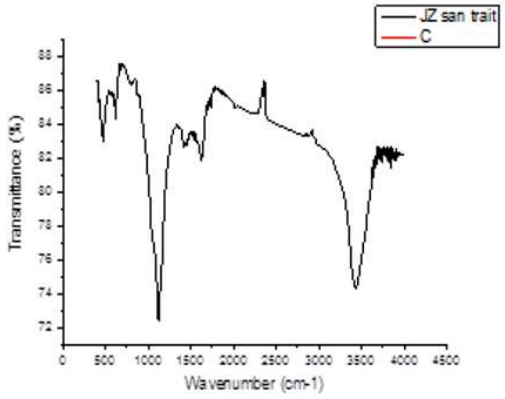
الشكل 36:تجهيز العينة لاختبار الاشعة تحت الحمراء

يستخدم FTIR نطاقًا موجيًا من 400إلى 4000سم –1 ، وتم إجراء 20 عملية مسح في كل حالة



الشكل 37: جهاز اختبار الاشعة تحت الحمراء

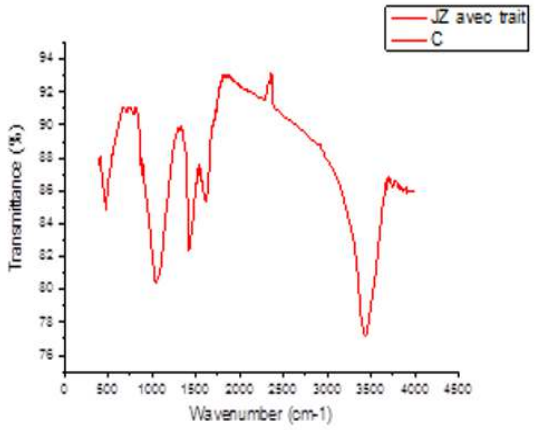




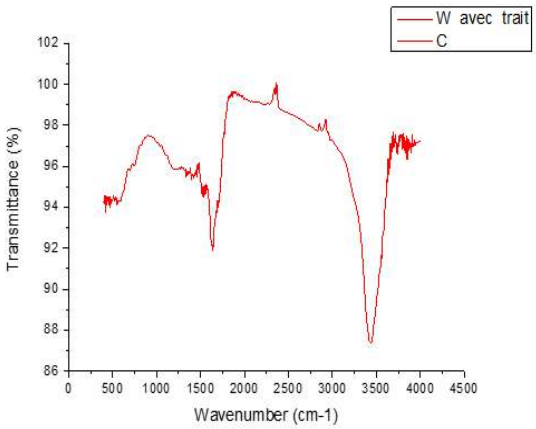
(أ).مطيافية **FTIR** لألياف جريد النخيل الزينة غير المعالجة (ب) .مطيافية **FTIR** لألياف وبر الجمل غير المعالجة

الشكل 38:(أ)و(ب) منحنى بياني للاشعة تحت الحمراء لعينة الياف نخيل الزينة والوبر قبل المعالجة

- **تحليل البيان:** يمثل المنحنى تغيرات الموجة بدلالة النفاذية قبل المعالجة حيث نلاحظ بداية ظهور المنحنى الخاص بالوبر عند النفاذية (**93%**) عند الموجة **500** سم ،حيث بلغت القيمة العظمى لنفاذية(**97%**) عند الموجة **2500**سم والقيمة السفلى لنفاذية (**84%**) عند الموجة **3450**سم .اما بنسبة لمنحنى الخاص بأوراق نخيل الزينة حيث نلاحظ بداية ظهور المنحنى عند النفاذية (**86%**) وعند الموجة **500**سم حيث بلغت القيمة العظمى لنفاذية (**88%**) عند الموجة **800**سم والقيمة السفلى لنفاذية(**72%**) عند الموجة **1100** سم.



(ت) .مطيافية FTIR لألياف جريد النخيل الزينة المعالجة



(ح) .مطيافية FTIR لألياف وبر الجمل المعالجة

الشكل 39:(ت) و(ح) منحنى بياني للاشعة تحت الحمراء لعينة الياف نخيل الزينة والوبر بعد المعالجة

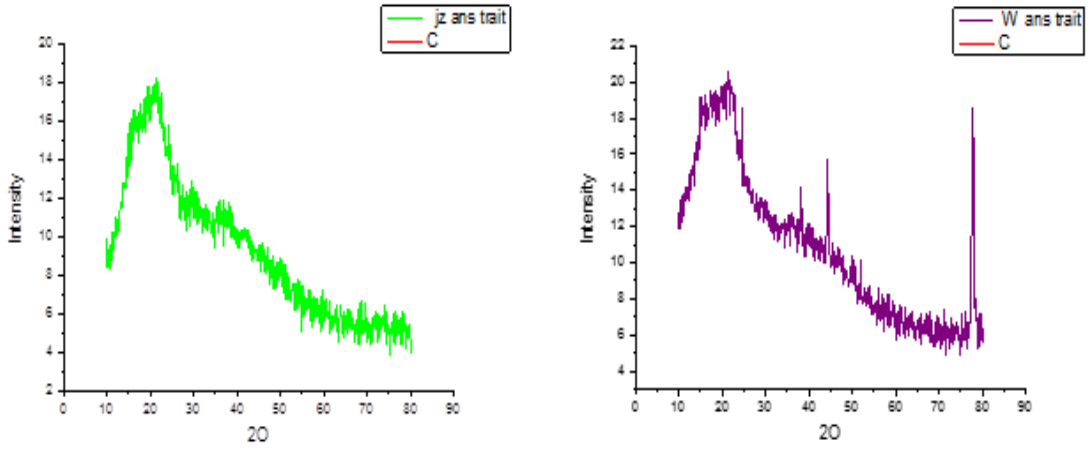
تحليل البياني : يمثل المنحنى تغيرات الموجة بدلالة النفاذية بعد المعالجة حيث نلاحظ بداية ظهور المنحنى الخاص بالوبر عند النفاذية (94%) عند الموجة 500 سم ،حيث بلغت القيمة العظمى لنفاذية(100%) عند الموجة 2400سم والقيمة السفلى لنفاذية (87%) عند الموجة 3400سم .اما بنسبة لمنحنى الخاص بأوراق نخيل الزينة حيث نلاحظ بداية ظهور المنحنى عند النفاذية (88%) وعند الموجة 500سم حيث بلغت القيمة العظمى لنفاذية (93%) عند الموجة 2500سم والقيمة السفلى لنفاذية(77%) عند الموجة 3400 سم.

III-6 علم البلورات بالأشعة السينية

هو الأسلوب الأكثر استخدامًا لتحديد الهياكل الجزيئية والبلورية لأي مادة بلورية ، سواء كانت طبيعية أو صناعية.

الشكل 40: جهاز قياس الاشعة سينية

يعتمد نمط التسجيل على قياس شدة خط الحيود عن طريق إرسال مراحل المصدر والكاشف. تمكنا من تسجيل نمط الحيود على المادة المدروسة باستخدام أداة حيود الأشعة السينية الرسم البياني الموضح في الشكل24و25 تم إنشاؤه باستخدام OriginLab 9.1

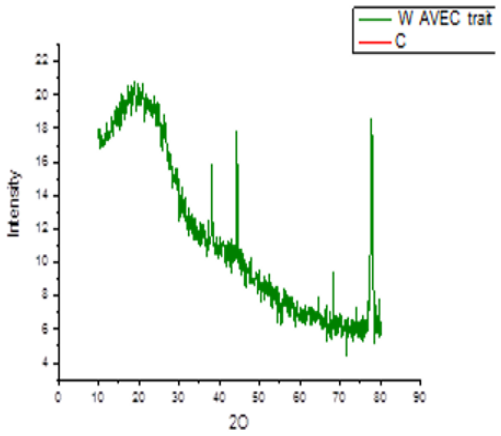


أ : انماط حيود الاشعة السينية للوبر قبل المعالجة **ب: انماط حيود الاشعة السينية لاوراق نخيل الزينه قبل المعالجة**

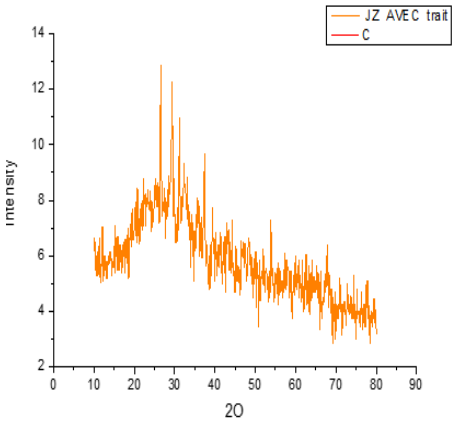
الشكل 41:أنماط حيود الأشعة السينية للوبر واوراق نخيل الزينه قبل المعالجة

ملاحظة : w الوبر ، jz : اورق نخيل الزينة

*التحليل البياني: يمثل المنحنى تغيرات الكثافة بدلالة الزاوية (θ) قبل المعالجة حيث نلاحظ ظهور المنحنى الخاص بالوبر عند الكثافة 12في الزاوية 10ثم زيادة مستمرة إلى أن يصل لذروة عند الكثافة 21في الزاوية22وبعدهاسقوط مستمر إلى أن يصل عند النهاية إلى الكثافة0عند الزاوية (θ)80 .اما بالنسبة للمنحنى البياني لنخيل الزينة حيث نلاحظ بداية المنحنى عند الكثافة 8عند الزاوية10 ثم نلاحظ زيادة مستمرة الى أن تصل لذروة عند الكثافة 19في الزاوية(θ)21وبعدها نلاحظ سقوط مستمر إلى النهاية في الكثافة 2عند الزاوية (θ)80 .



أ : انماط حيود الاشعة السينية للوبر بعد المعالجة



ب: انماط حيود الاشعة السينية لاوراق نخيل الزينه بعد المعالجة

الشكل 42:انماط حيود الأشعة السينية للوبر واوراق الزينه بعد المعالجة

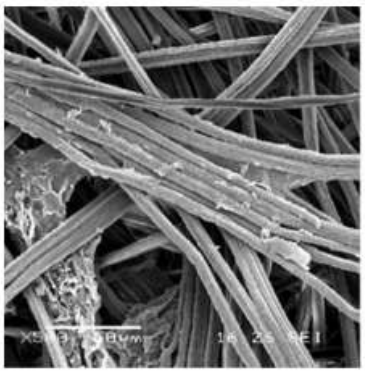
*التحليل البياني: يمثل المنحنى تغيرات الكثافة بدلالة الزاوية θ بعد المعالجة حيث نلاحظ ظهور المنحنى الخاص بالوبر عند الكثافة 17في الزاوية10ثم زيادة مستمرة إلى أن يصل لذروة عند الكثافة 21في الزاوية 19وبعدهاسقوط مستمر إلى أن يصل عند النهاية إلى الكثافة4عند الزاوي (θ)80.اما بالنسبة للمنحنى البياني لنخيل الزينة حيث نلاحظ بداية المنحنى عند الكثافة 6عند الزاوية9 ثم نلاحظ زيادة مستمرة الى أن تصل لذروة عند الكثافة 13في الزاوية(θ)28 وبعدها نلاحظ سقوط مستمر إلى النهاية في الكثافة 3عند الزاوية (θ) 80.

III-7 مسح الصور المجهرية الإلكترونية

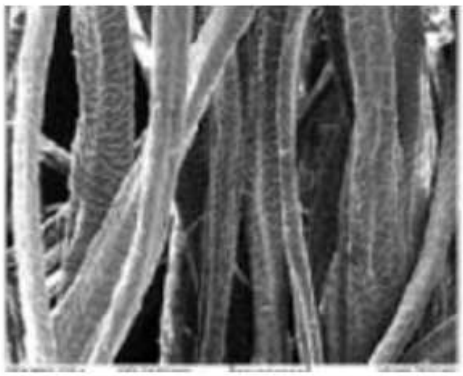
تم مسح صور العينات بواسطة الجهاز الموالي

الشكل 43: جهاز المسح الضوئي الالكتروني

صور العينات قبل المعالجة



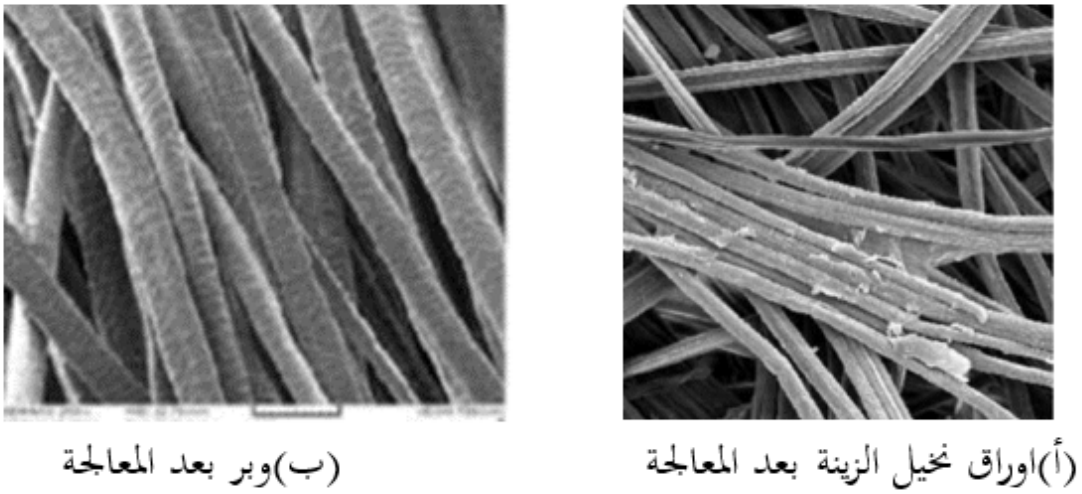
(أ)اوراق نخيل الزينة قبل المعالجة



(ب)وبر قبل المعالجة

الشكل 44: صور العينات بعد الماسح الضوئي الالكتروني قبل المعالجة لي أوراق نخيل الزينة و الوبر

صور العينات بعد المعالجة



(أ)اوراق نخيل الزينة بعد المعالجة (ب)وبر بعد المعالجة

الشكل 45:(أ) (ب) صور العينات بعد الماسح الضوئي الالكتروني بعد المعالجة لي أوراق نخيل الزينة و الوبر

III-8 عملية إنتاج عينة الاختبار

يتم تنفيذ الصفائح عن طريق القولبة تحت ضغط في درجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة بين القالب وضد العفن بعد توسط نوعي التعزيز.

يتم تقطيع الألواح التي تم الحصول عليها بأبعاد 300مم 300 مم إلى قطع اختبار بعد 30 يومًا من الراحة وفقًا لمعيار ASTM D 790–84a للثني ثلاثي النقاط ووفقًا لمعيار ISO 527–4 من النوع 3 للشد القوة باستخدام منشار شفرة الماس مشحم. [أ] [ب] [ج]

يرد متوسط أبعاد العينات في الجدول

الجدول 1: متوسط ابعاد العينات

الجدول 1: متوسط ابعاد العينات

السمك	العرض	طول المرجع	الطول بين الأدوات	الطول الإجمالي	
5 ± 0.3	25 ± 0.5	50 ± 1	136 ± 1	250 ± 1	الجذب
5 ± 0.3	16 ± 1	--	70 ± 1	90 ± 1	انثناء 3 نقاط

III-8-1 الجهاز التجريبي

يتم إجراء اختبارات الشد والانحناء على آلة عالمية يتم التحكم فيها بواسطة الكمبيوتر **Zwick Z250 / SN5A** ومجهزة ببرنامج **TestXpert V9.0** ؛ ومجهز بمستشعر قوة **2.5** كيلو نيوتن. هذا مرتبط بسلسلة اكتساب تسمح بالتسجيل المتزامن للضغوط والتشوهات أثناء الجر ، للقوة والإزاحة أثناء الانشاء يتم اختبار خمس عينات على الأقل لكل نوع من أنواع الضغط بسرعة اختبار تبلغ 2 مم

الشكل 46: آلة اختبار Z250 / SN5A

III-9. النتائج والمناقشة

III-9-1 اختبار الشد

يمثل الشكل ... تطور الإجهاد وفقًا للتشوه الطولي الذي يظهر تقلبًا ضعيفًا بين العينات المختلفة والذي يترجم تجانس المادة المفصلة. من شكل المنحنى المتوسط ، نجد أن الإجهاد يختلف خطيًا (المنطقة المرنة) إلى قيمة قريبة من 60 نيوتن لكل مم^2 قبل تغيير الشكل (شكل مكافئ ، منطقة بلاستيكية) حتى يصل إلى أقصى قيمته وهي حوالي 80 نيوتن لكل مم^2

يتم سرد الخصائص الميكانيكية للمادة المركبة أوراق نخيل الزينة وشعر الإبل في الجدول

الجدول 2: الخصائص الميكانيكية لشعر الإبل (تحميل الشد)

الجدول 2: الخصائص الميكانيكية لشعر الإبل (تحميل الشد)

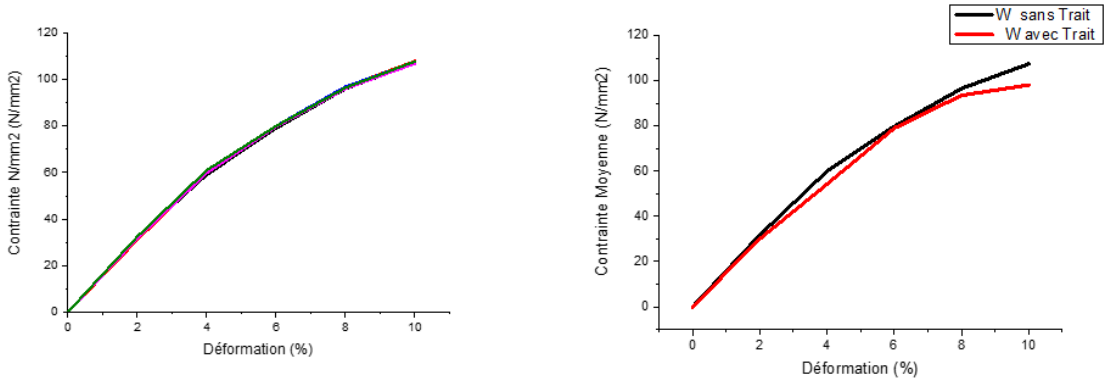
εrup [%]	σrup [MPa]	εmax [%]	σmax [MPa]	E [GPa]
4.235	90.982	3.232	88.585	38.203

الجدول 3: الخصائص الميكانيكية لالياف نخيل الزينة (تحميل الشد)

εrup [%]	σrup [MPa]	εmax [%]	σmax [MPa]	E [GPa]
5.397	70.572	4.932	78.775	8.434

التشوه%	0	2	4	6	8	10
الاجهاد N/mm^2	0	32	59	79	96	107
الاجهاد N/mm^2	0	31	60	80	96.9	108
الاجهاد N/mm^2	0	32	60.2	80.1	97	107.5
الاجهاد N/mm^2	0	32.5	61	80.05	96.5	107.8
الاجهاد N/mm^2	0	31.7	59.7	79.7	96.1	106.9

التشوه%	0	2	4	6	8	10
الاجهاد المتوسط N/mm^2 غير معالج W	0	31.8	59.98	79.77	96.5	107.44
الاجهاد المتوسط N/mm^2 معالج بالبلازمةW	0	30.01	54.22	79.01	93.51	98.08

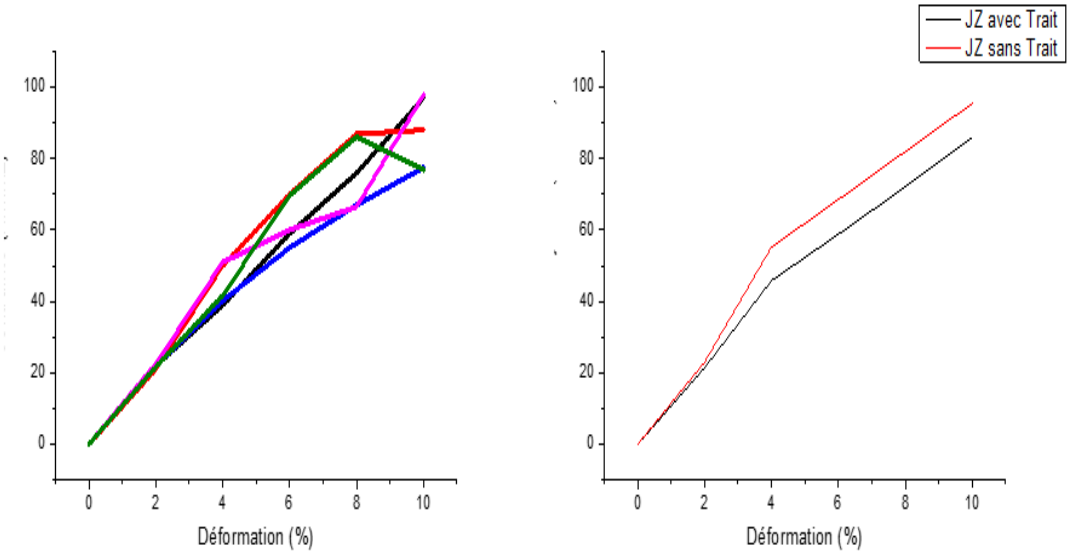


أ: متوسط تشوه الوبر قبل وبعد المعالجة ب: تشوه الوبر قبل وبعد المعالجة

الشكل 47:تطور الضغط حسب التشوه الطولي الوبر

التشوه%	0	2	4	6	8	10
الاجهاد N/mm^2	0	22	39	59	76	97
الاجهاد N/mm^2	0	21	50	70	86.9	88
الاجهاد N/mm^2	0	22	40.2	55.1	67	77.5
الاجهاد N/mm^2	0	22.5	51	60.05	66.5	97.8
الاجهاد N/mm^2	0	21.7	41.7	69.7	86.1	76.9

التشوه%	0	2	4	6	8	10
الاجهاد المتوسط N/mm^2 JZالمعلج بالبلازمة	0	21.45	45.86	58.86	72.11	85.83
الاجهاد المتوسط N/mm^2 غير معالج JZ	0	23.02	55.23	68.55	82.03	95.44



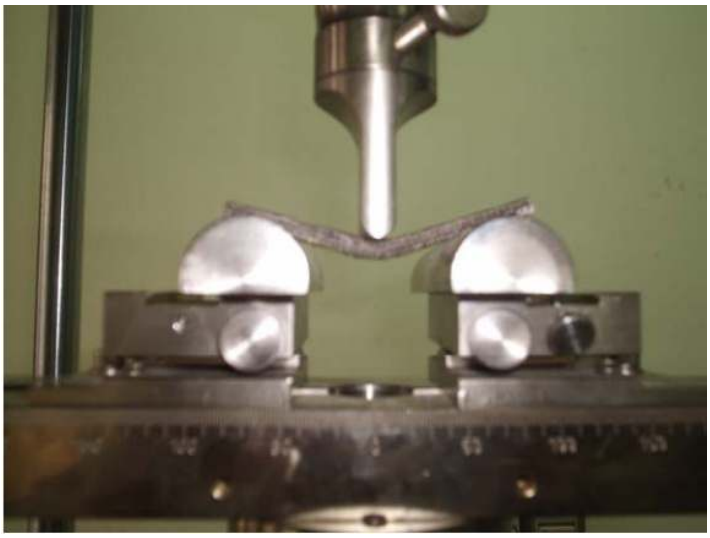
أ: متوسط تشوه لاوراق نخيل الزينه قبل وبعد المعالجة

ب: تشوه لاوراق نخيل الزينه قبل وبعد المعالجة

الشكل 48:تطور الاجهاد كدالة لتشوه الطولي لالياف نخيل الزينة الهجينة

III-9-2 اختبار الانحناء من 3 نقاط

بعد تمييز مادتنا تحت ضغط الشد ، نحن مهتمون بتوصيفها من خلال تحميل الانحناء من 3 نقاط. يتم تمثيل نتائج هذا التوصيف بالشكل 49 حيث ، من شكل منحنى القوة والإزاحة ، نستنتج أن القوة تختلف في المقام الأول بطريقة خطية (السلوك المرن) حتى قيمة قريبة من 600 نيوتن ، قبل تغيير السرعة (السلوك البلاستيكي) إلى حد أقصى قريب من 870 نيوتن متبوعًا بقطع نظيف.



الشكل 49: جهاز ثني 3 نقاط

فيما يتعلق بالخصائص الميكانيكية للمركب المفصل، نقدمها في الجدول

الجدول 4: الخصائص الميكانيكية لمركب الياف شعر الإبل (تحميل في الانحناء 3نقاط)

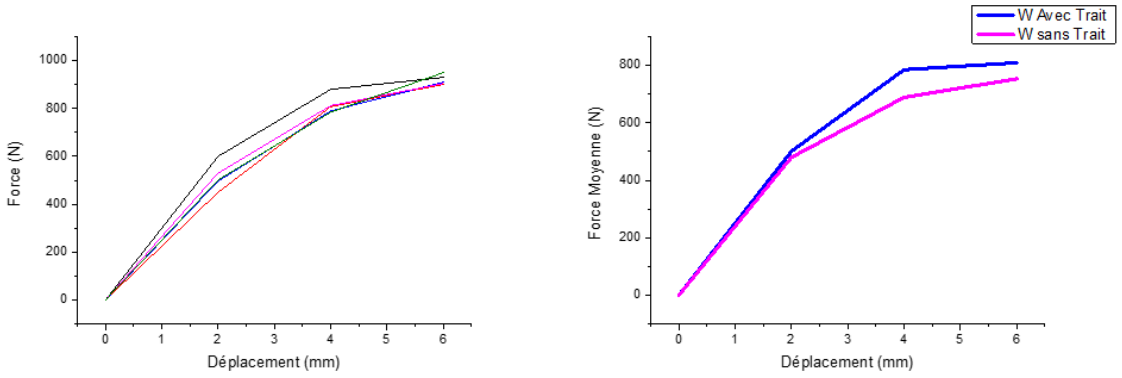
δ_{rup} [mm]	$\sigma_{f\ rup}$ [MPa]	δ_{max} [mm]	$\sigma_{f\ max}$ [MPa]	E_f [GPa]
4.811	91.928	4.217	156.168	32.0856

الجدول 5: الخصائص الميكانيكية لتخيل الزينة من الالياف المركبة (تحميل في الانحناء 3 نقاط

δ_{rup} [mm]	$\sigma_{f\ rup}$ [MPa]	δ_{max} [mm]	$\sigma_{f\ max}$ [MPa]	E_f [GPa]
5.264	99.159	5.234	183.253	3.0856

الازاحةmm	0	2	4	6
القوة N	0	600	880	930
القوةN	0	450	808	901
القوةN	0	496	790	910
القوةN	0	502	785	950
القوةN	0	530	812	905

الازاحة mm	0	2	4	6
القوة المتوسطة مع المعالجة N	0	501.2	785	809.4
القوة المتوسطة دون معالجةN	0	480	689	753.2

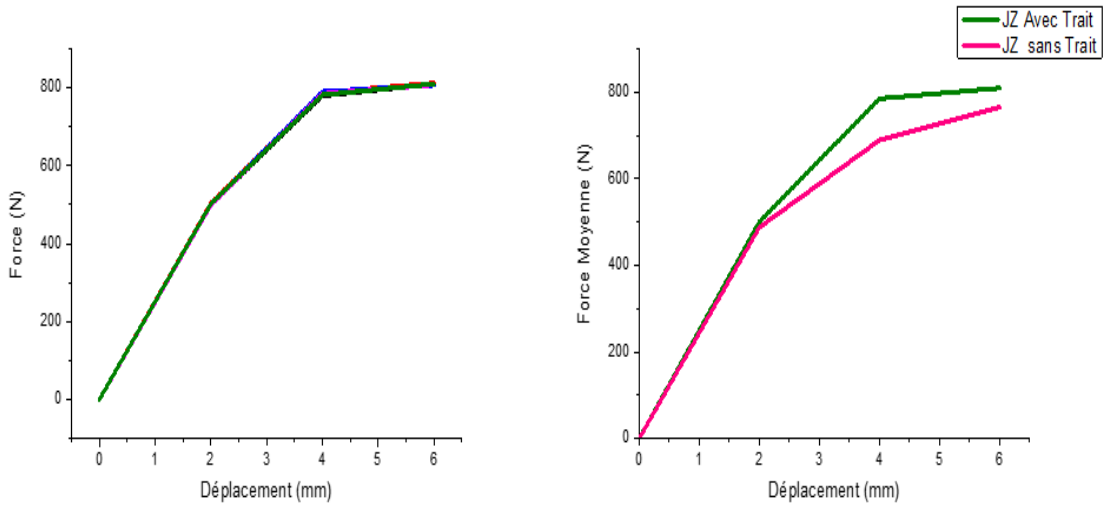


أ: متوسط القوة للوبر قبل وبعد المعالجة ب:القوة للوبر قبل وبعد المعالجة

الشكل 50: تطور القوة كدالة لازاحة شعر الإبل المركب من الالياف

الازاحةmm	0	2	4	6
القوةN	0	500	780	810
القوةN	0	504	788	812
القوةN	0	501	790	807
القوةN	0	499	785	808
القوةN	0	502	782	810

الازاحة mm	0	2	4	6
القوة المتوسطة مع المعالجة N	0	501.2	785	809.4
القوة المتوسطة دون معالجة N	0	488	689	765.2



أ: متوسط القوة لاوراق نخيل الزنية قبل وبعد المعالجة ب:القوة لاوراق نخيل الزنية قبل وبعد المعالجة

الشكل 51:تطور القوة بدلالة إزاحة الياف نخيل الزينة المركبة

10-III خاتمة

تركز دراستنا على التوصيف الميكانيكي التجريبي لمادة مركبة جديدة هجينة من الفولاذ الزجاجي / الإيبوكسي مع نوعين من التحميل: الجر والثني ثلاثي النقاط.

من النتائج التي تم الحصول عليها، يمكننا أن نستنتج أن تباين الإجهاد وفقًا للتشوه الطولي يتم وفقًا لخطوتين (خطي ومكافئ) أثناء اختبار الشد ، وبالمثل ، تباين القوة وفقًا للانحراف عند نقطة التحميل ، لاختبار الانحناء

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة :

إن معرفة التركيب الكيميائي للألياف النباتية ونسبة المكونات الموجودة فيها، يلعب دورا كبيرا في معرفة نوع ومدة المعالجة التي نقوم بها على هذه الألياف قصد الوصول إلى نتائج جيدة في عملية تحضير المواد المركبة. في هذا العمل كنا بصدد إجراء استخلاص و تشخيص الألياف المكونة لنبات النخيل والياف الوبر ولا تمام هذه الدراسة قمنا بصدد معالجة هذه الألياف بتقنية البلازما الباردة. وقمنا بحرق عينات لها قبل وبعد المعالجة لمعرفة خصائصها الميكانيكية والتركيب الكيميائي لها حيث طبقنا عليها بعض الاختبارات مثل اختبار الشد و الانحناء في 3 نقاط حيث نلاحظ ان الخصائص الميكانيكية المتمثلة في معامل الانحناء وشدة التشوه ومعامل المرونة حيث انها اكتسبة قوة ضد معامل الانحناء وشدة التشوه كما هو موضح اعلاه في الفصل الثالث.ونستنتج ان المعالجة الألياف بالبلازما الباردة تكسبها قوى لتصمد ضد معامل الانحناء وشدة التشوه ومعامل المرونة.

تؤثر المعالجة على البنية السطحية لليف النباتي حيث أنها تحول النهايات المحبة للماء إلى نهايات كارهة للماء و محبة للراتنج، وهذا ما يزيد في نسبة الالتصاق بينها و بين الراتنج وبالتالي نحصل على مواد مركبة ذات جودة عالية و مميزات فريدة.

المراجع

[1]. Hsissou, R., et al., Polymer composite materials: A comprehensive review. Composite Structures, 2021. 262: p. 113640.

[2]. Kumar Sharma, A., et al., Polymer matrix composites: A state of art review. Materials Today: Proceedings, 2022. 57: p. 2330-2333.

[3]. Ražić, S.E., et al., Plasma effect on the chemical structure of cellulose fabric for modification of some functional properties. Procedia engineering, 2017. 200: p. 333-340.

[4]. Sever, K., et al., Oxygen plasma treatments of jute fibers in improving the mechanical properties of jute/HDPE composites. Materials Chemistry and Physics, 2011. 129(1-2): p. 275-280.

[5]. Kabir, M., et al., Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. Composites Part B: Engineering, 2012. 43(7): p. 2883-2892.

[6]. John, M.J. and R.D. Anandjiwala, Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. Polymer composites, 2008. 29(2): p. 187-207.

[7]. LAMISE OUMKELTHOUM GHACHA, C.E., Impact de la composition d'un matériau composite à base de fibres naturelles sur les caractéristiques mécaniques.

[8]. YAGOUB, M., Caractérisation expérimentale d'un matériau composite Cas d'une matrice cimentaire et des renforts hybrides. 2022, Faculté des Sciences et de la technologie.

[9]. TOUAM, L., EFFET DE LA FIBRE BIO SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DES MATERIAUX COMPOSITES. 2022, Faculté des Sciences et de la technologie.

[10]. ABIR, C., Effet de l'humidité de la températeur sur l'endommagement des plaques en matériaux composites.

[11]. L. Y. Mwaikambo, N. Tucker, and A. J. Clark, "Mechanical properties of hemp-fibrereinforced euphorbia composites," Macromolecular Materials and Engineering, vol. 292, no. 9, pp. 993–1000, 2007.

[12]. D. Ray, B. K. Sarkar, A. K. Rana, and N. R. Bose, "Effect of alkali treated jute fibers on composite properties," Bulletin of Materials Science, vol. 24, no. 2, p. 129, 2001.

[13]. S. A. Paul, K. Joseph, G. D. G. Mathew, L. A. Pothen, and S. Thomas, "Influence of polarity parameters on the mechanical properties of composites from polypropylene fiber and short banana fiber," Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, vol. 41, no. 10, pp. 1380–1387, 2010.

[14]. C. H. Xue, S. T. Jia, J. Zhang, and L. Q. Tian, "Superhydrophobic surfaces on cotton textiles by complex coating of silica nanoparticles and hydrophobization," Thin Solid Films, vol. 517, no. 16, pp. 4593–4598, 2009.

[15]. C. H. Xue, S. T. Jia, H. Z. Chen, and M. Wang, "Superhydrophobic cotton fabrics prepared by sol-gel coating of TiO 2 and surface hydrophobization," Science and Technology of Advanced Materials, vol. 9, no. 3, 2008.

[16]. S. A. Paul, C. Oommen, K. Joseph, G. Mathew, and S. Thomas, "The role of interface modification on thermal degradation and crystallization behavior of composites from commingled polypropylene fiber and banana fiber," Polymer Composites, vol. 16, no. 2, p. NA-NA, 2009.

[17] . A. K. Bledzki et J. Gassan. «Composite reinforced with cellulose based fibers. », Progress in Polymer Science., Vol.24, 1999,pp. 221-274.

[18]. F. Michaud, « Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique ». Thèse de Doctorat, Université Bordeaux1, France, 2003, 256 p. [En ligne], disponible sur http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/21360/21360.html.

[19]. A. Fadelet H. Hazam, « Etude des propriétés d'agromatériaux compositesPEBD/farine de Genêt d'Espagne avant et après mercerisation.

»,Mémoire d'Ingéniorat d'Etat, Département de Génie des Procédés Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 2010, 74p

[20]. J. Simonsen, Z. Hong et T.G. Rials. «The Properties of the Wood-Polystyrene Interphase Determined by Inverse Gas Chromatography. », Wood and Fiber Science.,Vol. 29, 1997, pp. 75-84.

[21]. M.N. Belgacem et A. Gandini. « The Surface Modification of Cellulose Fibres for Use as Reinforcing Elements in Composite Materials. », Composite Interface., Vol. 12, 2005, pp. 41-75.

[22] . T. Lehner « L'état de plasma le feu de l'univers », Ed,Vuibert, 2004.

[23]. S. Yesodharann, « Supercritical water oxidation: An environmentally safe method for the disposal of organic wastes », Current Science, 82, (9), 2002, pp.1112- 1122.

[24]. A. Czernichowski « Traitement des effluent gazeux ».

[25]. K. Sever, S. Erden, H. A. Gülec, Y. Seki, and M. Sarikanat, "Oxygen plasma treatments of jute fibers in improving the mechanical properties of jute/HDPE Composites,"Materials Chemistry and Physics, vol. 129, no. 1–2, pp. 275–280,Sep.2011.

[26]. J. Jang and H. Yang, "The effect of surface treatment on the performance improvement of carbon fiber/polybenzoxazine composites," Journal of MaterialsScience,vol. 35, no. 9, pp. 2297–2303, May 2000.

[27]. Fathi, E.-r. and H. Boudjellal, Élaboration et caractérisation d'un matériau composite à base d'une résine thermodurcissables renforcé par la sciure de bois. 2020, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.

[28]. Benali, M., Effet du traitement thermique des fibres sur les propriétés des composites bois-polymère. 2016, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

[29]. Bounadja, A., Etude expérimentale du comportement mécaniques des stratifiés à renfort métallique sollicités en flexion 3 points. 2006, Boumerdès.

[30]. Bouznad, M. and M. Karou, Influence du vieillissement et du recyclé sur les caractéristiques mécaniques d'un matériau composite. 2014, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

[31]. Kherbouche, L., Introduction aux modélisations et aux méthodes de calcul des matériaux composites. .Université Mouloud Mammeri ,2010