الفلّين، مادة إيكولوجية ذات خصائص تكنولوجية متميزة

يونس سعد الله
أستاذ بكلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة جيجل
y.saadallah@univ-jijel.dz

مقدمة

تكتسب المواد ذات المصدر الحيوي من يوم لآخر في الوقت الراهن، المزيد من الاهتمام في عالم الصناعة والبناء بفضل خصائصها التكنولوجية والبيئية. في الواقع، غالبًا ما تُقدِّم هذه المواد حلولًا صديقة للبيئة تساهم في التقليل من الاستهلاك المفرط للطاقة ومحاربة المشكلات المتعلقة بالبيئة مثل ظاهرة الاحتباس الحراري والتلوث بجميع أنواعه.

ويُعتبر الفلين أحدَ هذه المواد ذات المصادر الحيوية، فهو عبارة عن مادة خلوية طبيعية ومتجددة ومستدامة. لِهذه المادةِ الصديقةِ للطبيعة خصائصُ تكنولوجية متميزة للغاية؛ فهي مادة خفيفة، مرنة، عازلة للكهرباء والحرارة والصوت، غير منفذة للغازات والسوائل وممتصة جيدة للصدمات. هذه الخصائص تجعل من الفلين خيارًا ممتازًا لتطبيقات كثيرة ومتنوعة.

أغلب كميات الفلين المنتجَة تُستخدم في صناعة السدادات، فيما يحتل مجال البناء والأشغال العمومية المرتبة الثانية من حيث الاستعمال. يُستخدم الفلين كذلك في التطبيقات الصناعية المختلفة، سواء كعنصر منفرد أو كعنصر في الهياكل المركبة. ويُستخدم أيضا على وجه الخصوص، في ميدان بناء السفن وتطبيقات الملاحة الجوية.

مما سبق ذكره من خصائص ومجالات استعمال الفلين، يتبين أنّ هذه المادة توفر ثروة اقتصادية كبيرة. وتُعتبر البرتغال الدولةَ الرائدة في إنتاج وتصدير الفلين في العالم. فإذا كان الإنتاج العالمي السنوي من الفلين يُقدّر بحوالي 200 ألف طن، فإنّ حصّة البرتغال منه تبلغ 46٪ من إجمالي الإنتاج أي ما يوافق 85 ألف طن سنويًا. وقد جلبت صادراتها من الفلين، على سبيل المثال، أكثر من 1.635 مليار يورو في عام 2020.

سنحاول من خلال هذا المقال إعطاء وصف علمي لمادة الفلين؛ بدءًا من تعريف المادة ومصدرها، ثم شرح البنيتين المجهرية والظاهرية للفلين حتى يتسنى لنا التطرق إلى الخصائص الفيزيائية والميكانيكية التي تجعله مادة ممتازة تستخدم في مختلف التطبيقات التي سيتم استعراضها.

1. الفلين

1.1. تعريف مادة الفلين

الفلين هو لحاء نوع من الأشجار يسمّى بلوط الفلين، يتم إزالته بشكل دوري كل 9 إلى 12 سنة حسب الخصائص الزراعية للمنطقة (الشكل 1). وهو مادة طبيعية ومتجددة ومستدامة استُغلت منذ عدة قرون في تطبيقات مختلفة بفضل خصائصها التكنولوجية والبيئية البالغة الاهتمام.

(أ) الوجه الداخلي

(ب) الوجه الخارجي

الشكل 1. لوح الفلين

2.1. البلوط الفليني (Quercus suber L.)

تنمو غابات البلوط الفليني في حوض البحر الأبيض المتوسط حيث تلعب دورًا بيئيًا هامًا يساهم في مكافحة التصحر ويحافظ على التنوع البيولوجي، الحيواني والنباتي.

البلوط الفليني هو شجرة ذات أوراق دائمة الخضرة تتميز بوجود لحاء سميك مع طبقة مستمرة من الفلين في الجزء الخارجي منها (الشكل 2 (أ)). تتميز هذه الشجرة بجذع قصير وأغصان سميكة حيث لا يتجاوز ارتفاعها 14إلى 16 مترًا، لكن يمكن لها أن تغطي مساحة ظل كبيرة جدًا تصل إلى 500 م^2 في بعض الأشجار الناضجة التي يتراوح عمرها من 150 إلى 200 عام مع محيط جذع كبير. وهي شجرة ذات أوراق خضراء داكنة، مع زغب أبيض كثيف على الجانب السفلي (الشكل 2 (ب)). شكل الورقة بيضاوي إلى مستطيل، وهامشها مجعد أو مموج. كما تتراوح أبعادها بين 4 إلى 7 سم طولًا و2 إلى 3 سم عرضًا [5].

(أ) جذع البلوط الفليني لشجرة صغيرة

(ب) أوراق البلوط الفليني

الشكل 2. البلوط الفليني

2. إنتاج الفلين

1.2. التوزيع الجغرافي لغابات البلوط الفليني في العالم

تكتسي غابات بلوط الفلين أهمية اقتصادية وبيئية معتبرة حيث تغطي مساحةً إجمالية تبلغ حوالي 2.123 مليون هكتار في جميع أنحاء العالم. تمتلك البرتغال 34% من هذه المساحة، أي ما يعادل 720 ألف هكتار. وتأتي إسبانيا

في المركز الثاني بنسبة 27%، ثم المغرب والجزائر بنسبتي 18% و11% على التوالي. وأخيراً، تتربع تونس على 4%، فرنسا وإيطاليا على 3% لكل منهما [2].

2.2. الإنتاج العالمي للفلين

يبلغ الإنتاج السنوي العالمي من الفلين حوالي 200 ألف طن، حيث يُنتج البرتغال وإسبانيا 46% و33% على التوالي من إجمالي الإنتاج السنوي العالمي. أما إنتاج المغرب والجزائر وتونس فيُقدّر بـ 6% و5% و4% على التوالي. بينما يبلغ إنتاج إيطاليا وفرنسا 3% سنويا لكل منهما [2].

3.2. استغلال الفلين

يتم استخراج الفلين من جذع وأغصان البلوط الفليني، بشكل شبه أنبوبي، خلال فصل الصيف وعلى فترات محددة لا تقل عن 9 سنوات. يمكن استخلاصه عندما يصل محيط الشجرة إلى 0.7 متر وقطرها إلى 0.22 متر، والموافق لعمر يتراوح بين 30 و40 سنة. كما يتم الاستخلاص على ارتفاع 1.3 متر من سطح الأرض. وتُستخدم في ذلك أدوات بسيطة ومحددة مثل: البلطة، المنشار اليدوي، السكين والحبال. يتم التحكم في جودة الفلين بعناية بدءًا من الاستغلال الميداني حتى المعالجة الصناعية، وهي إجراءات ضرورية من أجل تحديد مدى ملاءمة القيمة الاقتصادية لألواح الفلين والمنتجات النهائية.

3. أنواع الفلين

بشكل عام، توجد ثلاثة أنواع من الفلين: الفلين الأول (الفلين البكر)، الفلين الثاني والفلين الإنتاجي.

يُنتج الحصادُ الأول للفلين مادةً ذات بنية وسمك وكثافة غير منتظمة، تتميز بصلابة وخشونة كبيرة. ويسمّى الفلين الأول أو الفلين البكر. وهو عبارة عن فلين ذي نوعية رديئة، ويُستخدم بشكل أساسي على شكل طحين حبيبات لإنتاج ألواح الفلين والتي تستعمل لأغراض العزل أو الديكور.

يَنتج عن الحصاد الثاني فلين ذو بنية أكثر انتظامًا من الفلين البكر لكن دون أن يتمتع بصفات مُرضية، ويسمّى بالفلين الثاني.

بدءًا من الحصاد الثالث نحصل على الفلين الإنتاجي، حيث تخضع طبقة الفلين في هذه المرحلة لإجهادات نمو عرضية أقل بكثير لأن قطر الشجرة يكون أكبر. يتمتع هذا الفلين ببنية وسمك وكثافة منتظمة. ويعتبر الفلين الإنتاجي أجود أنواع الفلين ويستعمل أساسًا لإنتاج الصمامات.

(أ) الإنتاج

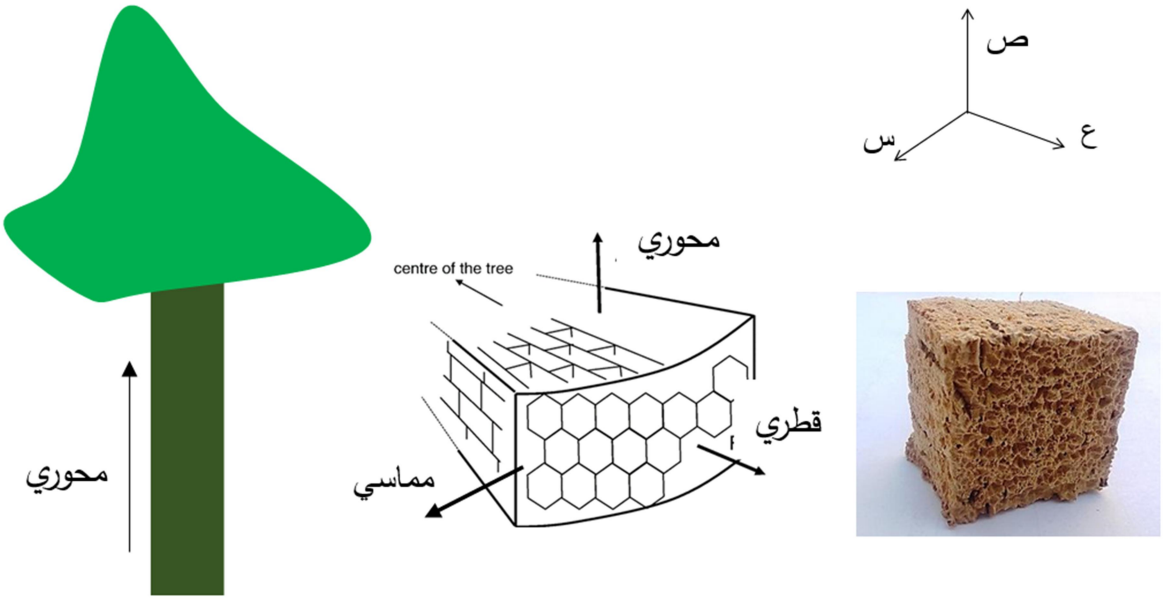
(ب) الثاني (ج) الأول

الشكل 3. أنواع الفلين

4. بنية الفلين

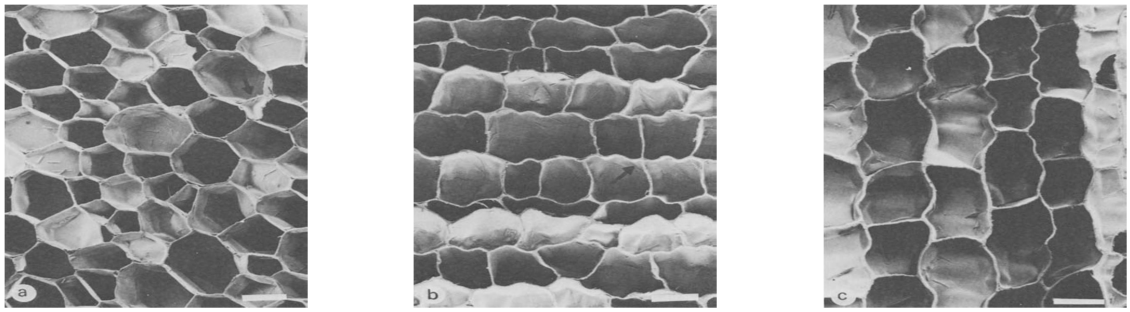
يعتبر الفلين مادة خلوية ذات خلايا مغلقة. حسب علم المواد، تُعرف المادة الخلوية بأنها مادة تتكون من عناصر خلوية فارغة، مفتوحة أو مغلقة، مع نسبة صلبة أقل من 30% من الحجم الإجمالي للمادة. في المواد ذات الخلايا المغلقة، تتكون المادة من أحجام متعددة السطوح ذات وجوه صلبة تكون على اتصال بالخلايا المجاورة [1].

يتطلب وصف بنية الفلين موقعه في الفضاء بالنسبة لموقعه الأصلي في الشجرة. تسمح التسميات المستخدمة في علم النبات بتحديد الاتجاهات والأسطح المختلفة. يتم تمثيل الاتجاه المحوري (المحور ص) بخط تطور الجذع، وفي الحالات المعتادة للسيقان المستقيمة، حيث يتوافق مع الاتجاه الرأسي. الاتجاه في المستوى المتعامد مع الاتجاه المحوري هو الاتجاه القطري (المحور ع) ويتوافق مع اتجاه سماكة الجذع (النمو القطري) للشجرة. أما الاتجاه المماسي (المحور س) فيحدد بزوايا قائمة على الاتجاهين الآخرين ويكون مماسًا لمحيط سطح الجذع.



الشكل رقم 4. الاتجاهات المتعامدة للفلين

يعرض الشكل 5 صورًا ملتقطة بالمجهر الإلكتروني الماسح لعيّنة من الفلين الإنتاجي في الاتجاهات الثلاثة المتعامدة. حيث يمكن وصف البنية ثلاثية الأبعاد للفلين بأنها مجموعة من الخلايا المنشورية المغلقة سداسية الشكل، مصفوفة وموجهة في الاتجاه القطري للشجرة حيث يتم تجميعها جنبًا إلى جنب، لتشكل هيكلًا يشبه "خلية النحل". يبلغ الحجم الذي تشغله جدران الخلايا الصلبة حوالي 10٪ فقط، أما الباقي فعبارة عن هواء.



(أ) الاتجاه المماسي (ب) الاتجاه المحوري (ج) الاتجاه القطري

الشكل 5. مسح صور بالمجهر الإلكتروني الماسح لعينة من الفلين الإنتاجي [6]

ويوضح الشكل 6 صورًا فوتوغرافية لقطعة من الفلين الإنتاجي في الاتجاهات المتعامدة: القطري، المحوري والمماسي، حيث نلاحظ وجود تشابه نسبي بين الصور المجهرية والظاهرية.

(أ) الاتجاه المماسي

(ب) الاتجاه المحوري

(ج) الاتجاه القطري

الشكل 6. صور فوتوغرافية لقطعة من الفلين الإنتاجي

5. التركيبة الكيميائية للفلين

يختلف تركيب الفلين عن أنسجة النباتات الأخرى، ولا سيما الخشب، اعتمادًا على الدور الذي يلعبه هذا النسيج في الشجرة [5]. ويعتمد ذلك على عدة عوامل نذكر منها: الأصل الجغرافي، الظروف المناخية، الأصل الوراثي، أبعاد الشجرة وعمرها، وكذلك نوع الفلين.

يتضمن التركيب الكيميائي للفلين عدة مكونات تصنف إلى خمسة أنواع [3]. تتوزع الكميات بشكل عام كما يلي:

- السوبرين (45% المكون الرئيسي والمسؤول عن الانضغاط والمرونة)؛
- اللجنين (27% بنية جدار الخلية)؛
- السكريات: السليلوز والهيميسيلولوز (12%، مرتبط ببنية الفلين)؛
- الشمع (6%، يطرد الماء ويساعد في الحفاظ على العزل المائي)؛
- العفص (6%، حماية المواد) والرماد (4%).

6. الخصائص التكنولوجية

تعتمد الخصائص التكنولوجية للفلين بشكل أساسي على بنيته وتكوينه الكيميائي حيث يجعلان منه مادة ذات خصائص بالغة الأهمية تمنح للمستهلك خيارات كثيرة من أجل استعمالها في تطبيقات مختلفة. وتتلخص أهم هاته الخصائص فيما يلي.

1.6. خفة الوزن

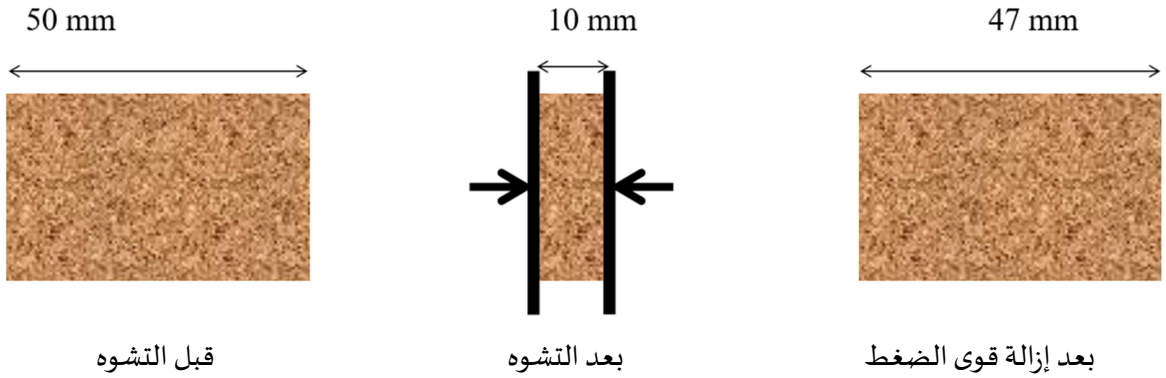
الفلين مادة خفيفة الوزن تتراوح كتلته الحجمية بشكل عام بين 110 و250 كغ\م^3. تعود هذه الخفة إلى بنيته الخلوية حيث تحتوي الخلايا على 85 إلى 90% من الهواء بداخلها [5]. نظرًا لكون الفلين مادة غير متجانسة، فإنّ تباين كتلته الحجمية يؤثر بشكل كبير على خواصه الميكانيكية.

2.6. المرونة

من الناحية الميكانيكية، المرونة هي قدرة المادة المشوّهة على العودة إلى أبعادها الأولية بعد إزالة القوى المؤثرة. يعتبر الفلين مادة مرنة للغاية؛ إذ أنه بعد تعرضه لضغط ينتج عنه تشوه بنسبة 80%، يستعيد الفلين تقريبًا أبعاده الأولية مع مرور الوقت بعد إزالة قوى الضغط [4]، والتشوه المتبقي لا يتجاوز 7.5٪. على سبيل المثال، إذا ضُغطت

قطعة فلين طولها 50 مم عن طريق تقليص طولها إلى 10 مم (الشكل 7)، تعود العينة إلى طول يصل إلى 47 ملم بعد إزالة قوى الضغط. أما بالنسبة للتشوهات الأقل من 30%، فتستعيد القطعة أبعادها الأولية كليا.

بالإضافة إلى ذلك، يتمتع الفلين بخصوصية وجود تقلص طولي دون زيادة في أبعاده العرضية. في الواقع، بما أنّ بنيته الخلوية تحتوي على حجم كبير من الهواء، فإن ضغط المادة يتسبب في خروج الهواء، مما يعطي تشوهًا عرضيًا مهملا.



الشكل 7. مرونة الفلين

من ناحية أخرى، يتميز الفلين بمعامل مرونة منخفض جدًا، مما يعني أنه من السهل أن يتشوه. ومع ذلك، يختلف هذا المعامل تبعًا لاتجاه التحميل، حيث يكون أكثر صلادة في الاتجاه القطري منه في الاتجاهين الآخرين، المحوري والمماسي. علاوة على ذلك، تمامًا مثل المواد الخلوية، فإنّ معامل المرونة حساس جدًا للكثافة أو الكتلة الحجمية. ويبين الجدول أدناه، لأغراض توضيحية فقط، معامل مرونة الفلين بدلالة الاتجاه والكتلة الحجمية.

الجدول 1. معامل مرونة الفلين بدلالة الاتجاه والكتلة الحجمية [1]

الكتلة الحجمية (كغ\م^3)	معامل المرونة (ن\مم^3)		
	الاتجاه القطري	الاتجاه المحوري	الاتجاه المماسي
150-110	17.39±4.53	16.61±3.28	14.39±4.79
190-150	22.57±5.07	16.26±2.57	16.75±3.88
250-190	16.12±4.5	18.53±5.19	19.07±4.47

3.6. العزل

يتمتع الفلين بخصائص عزل مثيرة للاهتمام. فهو عازل جيد للكهرباء والحرارة والصوت. وترجع أسباب تمتعه بهذه الخصائص إلى البنية الهيكلية للمادة، حيث تعتبر خلايا الفلين أصغر بكثير من خلايا المواد الخلوية العادية، مما يساعد على تفسير الخصائص العازلة الاستثنائية لهذه المادة. كما يعتمد انتقال الحرارة بالتوصيل على كمية المادة الصلبة في البنية الخلوية، إذ تتواجد بنسبة قليلة في الفلين. وبسبب التركيب الخلوي للفلين والفجوات الهيكلية الناتجة بأشكاله المختلفة، فهو يتميز بامتصاص صوتي جيد، إذ تصل نسبة امتصاصه إلى 70٪ من الصوت.

4.6. إخماد الصدمات

يعتبر الفلين مادة قادرة على امتصاص كمية كبيرة من الطاقة. وبالتالي فهو قادر على امتصاص الصدمات والاهتزازات، فسلوكه الميكانيكي الذي يتميز بلزوجة ومرونة عاليتين تجعلان منه مادة شبيهة بالموائع.

5.6. عدم نفاذية الغازات والسوائل

الفلين مادة غير منفذة للغازات والسوائل، تأتي هذه الخاصية من تركيبته الكيميائية التي تحتوي على مادة السوبرين وبنيتها الخلوية. بالإضافة إلى ذلك، يحتوي الفلين على عناصر طاردة للماء حيث تمنع امتصاصه وتخزينه داخل المادة وبالتالي عدم الاحتفاظ به إطلاقًا [5] [3].

6.6. الرسكلة

بعد انتهاء صلاحية التطبيق الذي يستخدم فيه الفلين، يمكن استعادته وإعادة استخدامه في تطبيقات مماثلة أو مختلفة. نظرًا لكونه مادة متينة، يمكن سحق الفلين مرة أخرى بعد استخدامه وإعادة إنتاجه في شكل مكتل أو موسع.

7. تطبيقات واستعمالات الفلين

إنّ طبيعة الفلين وتركيبته الكيميائية وبنيته تجعل منه مادة ممتازة مفضلة لتطبيقات مختلفة في مجالات متعددة، نذكر بعضا منها فيما يلي.

1.7. صنع السدادات

تظل سدادات القارورات من الفلين الطبيعي هي المعيار الأساسي لتطبيقات الفلين، حيث تتمتع بأعلى قيمة مضافة وأكبر سوق [7]. وقد استخدم الفلين لهذه الوظيفة منذ العصور القديمة، إذ أنه يمنع تسرب الغازات والسوائل من القارورات.

الشكل 8. صناعة سدادات الفلين [2]

2.7. البناء والأشغال العمومية

في السنوات الأخيرة، أبدى المهندسون المعماريون والمدنيون ومصممو الديكور اهتمامًا كبيرًا بالمواد الطبيعية، بما في ذلك الفلين [3]، لما لديه من مواصفات وخاصة الإيكولوجية منها. إذ توفر العديد من منتجات الفلين للمستهلك أشكالا وأنسجة وألوانا مختلفة، وخيارات جمالية واسعة في مجال الديكور والتصميم. أما من حيث العزل، فيمكن

استخدام الفلين على نطاق واسع في مجال البناء والأشغال العمومية حيث يوفر عزلًا حراريًا وصوتيًا جيدًا، يضمن إخمادًا كبيرًا للاهتزازات ومكافحة للرطوبة، كما يمنع تسربات المياه.

الشكل 9. استعمال الفلين في تطبيقات العزل [3]

3.7. بناء السفن وعناصر الطيران

إنّ خفة الفلين وخصائصه الحرارية وقدرته على امتصاص الصدمات تجعل منه مادة مفضلة في التطبيقات البحرية والفضائية، إذ يمكن استخدامه كعنصر مكون لبعض الهياكل مع الإيبوكسي أو شرائح الكربون والإيبوكسي مع حبيبات الفلين المدمجة [8].

4.7. تطبيقات صناعية

يستخدم الفلين في تطبيقات صناعية أخرى مختلفة، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر: المعدات العائمة، نعال الأحذية، معدات منع التسربات في السيارات وحاويات الزيوت، الخودات وحاملات الآلات الدوارة، بعض الألعاب وغيرها.

خاتمة

اعتمادًا على ما تم تناوله في هذا المقال، ولا سيما البنية والتركيبة الكيميائية وخصائص الفلين وتطبيقاته، يتبين أنّ هذه المادة الطبيعية المستدامة والمتجددة تُمثّل ثروة كبيرة على المستويين البيئي والاقتصادي. فالفلين يتمتع بمواصفات تكنولوجية متميزة جدا تجعل منه مادة تقدم خيارات ممتازة ومتعددة من أجل استعماله في تطبيقات مختلفة. عطفًا على ذلك فإنّ استغلاله وتصنيعه يخضع لأساليب خضراء صديقة للطبيعة.

في النهاية تجدر الإشارة إلى أنّ أبحاثًا كثيرة تجرى حول التوصيف الكيميائي وبعض الخصائص الفيزيائية التي تشكل تحديات كبيرة لتطوير تطبيقات جديدة للفلين والمنتجات التي تحتوي عليه.

المراجع

[1] Anjos, O., et al., Effect of density on the compression behaviour of cork, Materials & Design, 53, 2014, 1089-1096.

[2] APCOR, APCOR's Cork Yearbook 2020. https://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2021/08/Cork_BoletimEstatistico_APCOR_2020.pdf

[3] Gil, L., Cork, in Materials for construction and civil engineering, Springer, 2015, 585-627.

[4] Jardin, R., et al., Static and dynamic mechanical response of different cork agglomerates. Materials & Design, 68, 2015, 121-126.

[5] Pereira, H., Cork: Biology, Production and Uses, Elsevier, 2011.

[6] Pereira, H., Rosa, M.E. and Fortes, M.A., The cellular structure of cork from Quercus suber L, IAWA Journal, 8(3), 1987, 213-218.

[7] Silva, S.P., et al., Cork: properties, capabilities and applications, International Materials Reviews, 50(6), 2005, 345-365.

[8] Silva, J.M., et al., Cork: Is it a good material for aerospace structures? in 52nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 19th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 13t., 2011.

******