Determination of Some Mechanical wood Properties of (*Pinus brutia Ten*.) and (*Cupressus sempervirens* L.) Used in Local wood industries .

Dr.Amin Saleh*

(Received 18 / 2 / 2025. Accepted 26 / 5 /2025)

□ ABSTRACT □

The aim of this research is to study some mechanical wood properties of *(Pinus brutia* Ten.) and (*Cupressus sempervirens* L.) related to their uses in local factories for traditional and structural industries, as well as furniture manufacturing. Wood samples were taken from a local wood mill in Latakkia.

The results indicated that *Pinus brutia* wood is considered as a good quality wood(timber) with a wide range of applications, being classified among the medium-resistant woods to axial compressive (46.15N/mm²) and medium-resistant to static bending (74.81N/mm²). *Cupressus sempervirens* wood is also regarded as good quality in the field of pallets, furniture production, and traditional industries. classified as a low-resistant wood for axial compressive(35.71 N/mm²)and medium-resistant for static bending (69.05N/mm²).

The results showed that *Pinus brutia* wood has a medium-hardness, while *Cupressus sempervirens* wood is classified as hard wood based on the indicators of static and specialized properties. Both species were found to have low bending and cohesion according to the bending and cohesion indicators.

A significant correlation ($p<0.05$) was observed between 15% density and both compression resistance and static bending resistance at 15% density for both species. Analysis of mechanical property interrelationships showed significant species-dependent variation in correlation patterns and significance levels.

Keywords: Wood Density, Mechanical Properties(Compression, bending, Shear), *Pinus brutia , Cupressus sempervirens*

Copyright **:**Latakia University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering , Latakia University , Latakia , Syria.** amenmamonsaleh@gmail.com

تحديد بعض الخصائص الميكانيكية لأخشاب الصنوبر البروتي(*Pinus brutia* Ten.) والسرو دائم الاخضرار(*Cupressus sempervirens* L.) المستخدمة في الصناعات الخشبية المحلية.

د. أمين صالح*

(تاريخ الإيداع 18 / 2 / 2025. قبل للنشر في 26 / 5 / 2025)

□ ملخّص □

هدف البحث إلى دراسة بعض الخصائص الميكانيكية لخشب الصنوبر البروتي (*Pinus brutia* Ten.) والسرو دائم الاخضرار(*Cupressus sempervirens* L.) والمتعلقة باستعمالاتها في المعامل المحلية للصناعات التقليدية والإنشائية وصناعة الأثاث، لعينات خشبية مأخوذة من معمل محلي للصناعات الخشبية في اللاذقية.

أظهرت النتائج أن خشب الصنوبر البروتي من الأخشاب الجيدة وله مجال واسع في استعمالات متعددة، حيث يصنف ضمن الاخشاب المتوسطة المقاومة للضغط المحوري(46.15) نيوتن/ مم^2 والمتوسطة المقاومة للانحناء الساكن(74.81) نيوتن/مم^2 ، ويصنف خشب السرو دائم الاخضرار ضمن الأخشاب منخفضة المقاومة للضغط المحوري (35.71) نيوتن/ مم^2 ، والمتوسطة المقاومة للانحناء الساكن(69.05) نيوتن/مم^2 ، وهو من الأخشاب الجيدة في مجال صناعة الطبليات والأثاث والصناعات التقليدية .

كما أظهرت النتائج أن خشب الصنوبر البروتي متوسط القساوة وخشب السرو من الأخشاب القاسية حسب مؤشري الصفة الساكنة والصفة المتخصصة، وأن خشب النوعين خفيف الانحناء وخفيف التماسك حسب مؤشر الانحناء ومؤشر التماسك.

كشفت الدراسة عن علاقة معنوية بين الكثافة 15% وكل من مقاومة الضغط المحوري ومقاومة الانحناء الساكن عند كثافة 15%، في كلا النوعين، وفيما يخص علاقة الارتباط بين الخصائص الميكانيكية ببعضها، أظهرت النتائج تأثير النوع النباتي على نوع العلاقة ومعنويتها.

الكلمات المفتاحية: كثافة الخشب، الخواص الميكانيكية(ضغط – انحناء– قص)، الصنوبر البروتي ، السرو دائم الاخضرار.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* **مدرس – كلية الهندسة الزراعية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سوريا.**

مقدمة:

إن المادة الأساسية الناتجة عن الأشجار الحراجية هي الخشب، وهو متنوع الخصائص والاستعمالات تبعاً لنوع الأشجار، وتعتبر الأخشاب من أهم الموارد الموجودة في الطبيعة ومن المكونات الأساسية للغابة والتي نحتاج إليها في حياتنا اليومية فهي تستخدم بشكل ملحوظ في البيوت والأثاث الخشبي.

يعد الخشب مادة أساسية أولية في كثير من الصناعات، لا يمكن الاستغناء عنه رغم تزايد المواد الأولية الصناعية وتطورها كالمشتقات البتروكيميائية، إلا أنّ هذه المادة هي أكثر تعقيداً من تلك المواد كونها مادة طبيعية من أصل حي، ومحصلة التفاعل بين الشجرة وظروفها الأرضية والبيئية، فلا يمكننا أن نجد قطعتين خشبيتين متشابهتين بشكل كلي، لهذا تميز الخشب بخواص تجعله مختلفاً عن بقية المواد الصناعية، التي تكون غالباً متجانسة ومتساوية الصفات[8] .

إن الخشب مادة عضوية ماصة للرطوبة ومسامية وقابلة للتشكل، يتميز بكونه مادة غير متجانسة وذات تركيب متغير بحسب الأصناف والأنواع وبحسب العوامل البيئية المسيطرة أثناء النمو، وبالتالي فإنَّ خواصه ستتغير سواء الفيزيائية أو الكيميائية أو الميكانيكية لأنّها مرتبطة بشكل مباشر بتركيب تشريحي للعناصر المكونة له[10].

يعتبر المحتوي الرطوبي للخشب من أهم العوامل المؤثرة على خصائص وسلوك الأخشاب، وهو لا يؤثر فقط على قوة ومتانة الأخشاب وطرق انهيارها بل يمتد أثره ليشمل أبعاد الأخشاب وقابليتها للإصابة بالعفن الفطري وسهولة شغلها وقابليتها للارتباط بالمواد اللاصقة ودهانات التشطيب، ولكي يكون أداء الأخشاب على مستوى جيد لابد من تجفيفها إلى المحتوى الرطوبي المتوازن مع البيئة المحيطة به[1] .

تعد علاقة الخشب بالرطوبة وما يتبعها من تغيرات في أبعاد الخشب (الانكماش والانتباج) وكذلك كثافة الخشب أو الوزن النوعي لتلك المادة من أهم الصفات الفيزيائية التي تستوجب الدراسة فهي تؤثر في الكثير من صفات الأخشاب وخواصها والتي أهمها الخواص الميكانيكية للخشب والتي تحدد بدرجة كبيرة التطبيقات الصحيحة المختلفة لها، ومدى صلاحية النوع الخشبي للصناعة المطلوبة[11]، وبينت نتائج دراسة[16] إلى أن محتوى الرطوبة يؤثر بشكل كبير على الخواص الميكانيكية لعينات الخشب من الصنوبر البروتي.

تهتم دراسة ميكانيكية الخشب بتحديد الخواص التقنية للخشب، وإظهار أثر القوى الخارجية فيه، وردة فعل الخشب عليها، بخاصة مقاومته لتغير شكله وانفصال أنسجته[7] . كما أشار[5] أن تأثير القوى الخارجية يتعلق بحجم عينة الخشب ونوعها ومدة ممارسة الإجهاد عليها، لظهور التشوه على العينة، وإن القوى الخارجية المطبقة على قطعة الخشب تمارس بشكل حمولات(ضغوطات وأثقال)، قوى سحب وشد، وقوى انحناء وفتل. ويمكن لهذه الحمولات أن تمارس بشكل فجائي فيظهر الأثر سريعاً أو تمارس القوى ببطء، فيطول الزمن لظهور أثرها على شكل تشوهات او عيوب.

تُعتبر الكثافة من أبسط وأفضل الأدلة للتعبير عن المقاومة في الأخشاب وكذلك التنبؤ بها للخشب الخالي من العيوب، والعلاقة بين الكثافة والخواص الميكانيكية علاقة طردية أي أن الخواص الميكانيكية تزداد مع زيادة كثافة النوع الخشبي[21]. فيما أوضح[19]بأن كثافة الخشب هي الخاصية الأكثر أهمية التي تتحكم في قيم MoE معامل المرونة وMoR معامل الانحناء الساكن، وأن تحديد MoE وMoR مع كثافة الخشب أمر مهم لفهم علاقاتهما.

أشار[13] بأنه يمكن نشر خشب الصنوبر بسهولة، وهذه الخاصية التي يتسم بها تجعله صالحاً في صناعة الطبليات والبراميل وبناء السفن.

هناك العديد من الدراسات عن الخواص الفيزيائية والميكانيكية لأنواع خشبية عدة، منها دراسة[14] لخشب لسرو دائم الاخضرار النامي في منطقة كهرمان بتركيا، ودراسة[20] لخشب الصنوبر البروتي في منطقة دينزلي في تركيا. وكما يوجد العديد من الدراسات في سورية، منها دراسة[4] للخواص الفيزيائية والميكانيكية لخشب نوعي الدردار السوري والدردار التزييني، ودراسة]2[لخشب الصنوبر الثمري والصنوبر الكناري في مدينة حلب، ودراسة الخواص الميكانيكية لخشب الاوكاليبتوس في طريق دمشق– درعا[6]، دراسة بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية لخشب الصنوبر الكناري المشجر في مدينة حلب[3]، ودراسة أهم الخواص الفيزيائية والميكانيكية لخشب زهر العنقود[9] .

يمكن الحصول علي الثوابت الخاصة بالخواص الميكانيكية بإجراء اختبارات مدمرة للخشب في المختبر وتتم من خلال تجهيز عينات صغيرة قياسية من حيث الشكل والأبعاد خالية من العيوب وتدميرها أثناء الاختبار[7].

هناك العديد من المعامل التي تقوم بالاستفادة من الأخشاب من أجل الحصول على منتجات بسيطة للحياة اليومية، من هذه المنتجات (أدوات الطبخ الخشبية _الأدوات الموسيقية الخشبية_ أدوات الزراعة البسيطة– الأثاث المنزلي– الطبليات) بالإضافة إلى أن هناك بعض المعامل التي استطاعت أن تستخدم الآلة وتطوّعها للاستفادة من الأخشاب الموجودة في اللاذقية وتقطيعها ونشرها وتصنيفها إلى أغراض مفيدة للحياة اليومية ومن المعامل الموجودة في اللاذقية معمل يبعد عن مدينة اللاذقية حوالي 5كم شرقاً (الشيخ محمود). قمنا بعدة زيارات لمعمل الأخشاب للتعرف على أهم هذه الأخشاب المستخدمة ومصادرها، مثل الصنوبر البروتي والسرو دائم الاخضرار، أهم الصناعات الملاحظة كانت صناعة الطبليات والأثاث المنزلي والتي تعتمد في الحصول على جذوع خشبية بأطوال وأقطار مختلفة يتم نشرها بواسطة منشار آلي الى جذوع بأطوال1– 2 م مع المحافظة على نفس القطر ومن ثم تنقل الى مناشير آلية أخرى للحصول على الألواح الخشبية بأقطار وسماكات محددة وأطوال مختلفة حسب نوع الصناعة، لذلك قمنا بدراسة لمعرفة أهم الخواص الفيزيائية والميكانيكية لهذه الأنواع لمعرفة أثر هذه الخواص على نوعية المنتج.

أهمية البحث وأهدافه :

1– أهمية البحث

تكمن أهمية الدراسة في تقديم النتائج التجريبية المتعلقة ببعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية ذات الأهمية في تحديد نوع الاستخدام الامثل لأخشاب الصنوبر البروتي والسرو دائم الاخضرار والتي تعد الأكثر استعمالاً في المعامل الخشبية المحلية.

2– أهداف البحث

1– دراسة كثافة الخشب Density للأنواع المدروسة عند رطوبة الوزن الجاف، وعند مستوى الرطوبة 15%.

2– دراسة بعض الخواص الميكانيكية: مقاومة(الضغط المحوري– الانحناء الساكن– القص) في الانواع المدروسة

3– دراسة علاقة الارتباط بين كثافة الخشب والخواص الميكانيكية المدروسة في الأنواع المدروسة

طرائق البحث ومواده

1– المادة النباتية ومصدرها :

الصنوبر البروتي .*Pinus brutia* L الجنس Pinus الفصيلة Pinaceae الرتبة Pinales

السرو دائم الاخضرار *Cupressus sempervirens L.* الجنس *Cupressus* الفصيلة *Cupressaceae* الرتبة *Pinales* . وتم الحصول على العينات الخشبية النوعين المذكورين لكافة الخصائص المدروسة من معمل صناعة الطبليات في منطقة الشيخ محمود باللاذقية .

2- الخواص الفيزيائية:

إن دراسة هذه الخواص ذات أهمية لتوجيه الاستخدام التكنولوجي الأمثل لخشب الأنواع المدروسة بما يتناسب وهذه الخواص وتأثيرها على الخواص الميكانيكية للنوع الخشبي المدروس[10]، وسيتم التطرق لدراسة المحتوى الرطوبي % والكثافة غ/ سم3 عند المحتوى الرطوبي المدروس.

الادوات المستخدمة: منشار ديسك لقطع العينات المطلوبة، ميزان حساس بدقة 0.01غ لوزن العينات، علب رطوبة مصنوعة من الألمنيوم، فرن مجفف كهربائي حتى 150 م° درجة، قدمة(بوكاليز) بدقة 0.05 مم لقياس الأبعاد للعينات المختبرة.

2-1- تقدير نسبة الرطوبة %:

الرطوبة في الخشب هي كتلة الماء الى كتلة الخشب الجافة تماماً إذا تعلقت بقاعدة جافة، أو الى كتلتها الرطبة اذا تعلقت بقاعدة رطبة[8] .

لتحديد نسبة الرطوبة في الخشب تؤخذ عينة مكعبة من الخشب المراد اختباره بأطوال 2×2×2 سم، توزن لأقرب 0.01غ وتوضع في فرن مجفف على حرارة 105 درجة مئوية ولمدة من 24 ساعة أو حتى يثبت وزن العينة عندها توزن العينة مرة ثانية، فنحصل على وزنها الجاف، وتم حساب محتوى الرطوبة (MC) كما في العلاقة(1) التالية :

$$\text{العلاقة(1) : نسبة الرطوبة } \%\,\mathbf{MC} = \frac{\text{الكتلة الرطبة} - \text{الكتلة الجافة}}{\text{الكتلة الجافة}} \times \mathbf{100}$$

2-2- اختبار الكثافة Dh:

تعد كثافة الأخشاب أو النسبة بين الكتلة والحجم أو كتلة وحدة الحجوم من أهم الصفات الفيزيائية للأخشاب، تقدر الكثافة على أساس الوزن الجاف أو الوزن بمحتوى رطوبي معين، وحسب[8] تعرّف الكثافة بأنها نسبة وزن الخشب على حجمه في درجة الرطوبة 15% ويقدر غ/سم3 أو كغ/ م3، تختلف كثافة الأخشاب حسب الأصناف، حيث تتعلق كثافة الخشب بمساميته أو نسبة الفراغات الموجودة فيه ، وترتيب الخلية، وبالمحتوى الرطوبي للخشب، وبشكل عام فإنّ خشب مستورات البذور أكثر كثافة من المخروطيات، عن[3]، تفيد الكثافة في تحديد أهم مواصفات الأخشاب التكنولوجية[22].

بعد حساب نسبة الرطوبة للعينات المختبرة لكل نوع مدروس، تم وزن العينات بواسطة الميزان الحساس كل عينة على حدى ويُدعى هذا الوزن الجاف، ومن ثم قيست أبعاد كل عينة خشبية مكعبة باستخدام البياكوليس من جهاتها الثلاثة (طول- عرض- ارتفاع) بالسنتيمتر لأقرب جزء ، مع ضرورة اعادة القراءة لأكثر من مرة لكل ضلع للتقليل من الخطأ التجريبي وحساب كثافة الخشب عند الرطوبة المقاسة Dh وفق العلاقة (2) التالية:

العلاقة (2) : كثافة الخشب عند الرطوبة المقاسة(الوزن الجاف) Dh (غ/سم3)= $\frac{\text{الوزن المجفف بالفرن لعينة الخشب}}{\text{حجم عينة الخشب مقدرة بطريقة الابعاد}}$

تم تعديل الكثافة الأساسية إلى 15٪ محتوى رطوبة وفقًا لـ ISO 13061-2: 2014 كما هو موضح في العلاقة(3) التالية:

$$D_{15} = D_h \times \left(\frac{1 - M_h}{1 - 0.15}\right)$$ العلاقة (3) :

حيث: D_{15} الكثافة عند محتوى رطوبة 15%، غ/سم3. D_m الكثافة عند محتوى الرطوبة المقاسة، غ/سم3.

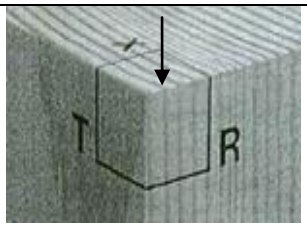
M_h محتوى الرطوبة عند الوزن الجاف للعينة .

وتم تصنيف الخشب المدروس حسب كثافته مقارنة بما ورد في جدول الاختبارات الفرنسية (NTB51) عن[7] .

3- الخواص الميكانيكية:

3-1- اختبار مقاومة الخشب للضغط المحوري Compression test parallel to grain .

وهي مقاومة الخشب للقوة المطبقة(P) باتجاه الألياف على سطح القطعة الخشبية وحتى انكسار الخشب، ويُقصد بالألياف هنا عناصر الخشب أي أن التحميل يكون موازي للمحور الطولي للعينة (الإجهاد الموازي للألياف)[7]. يستخدم الجهاز المبين بالشكل رقم(1) بعد تركيب الفكين الخاصين بقياس هذه الصفة. واستخدم لهذا الاختبار عينات مكعبة بطول 20 مم باتجاه الالياف ومقطع مربع 20×20 مم، بواقع 12 عينة لكل نوع مدروس، وطبقت القوة باتجاه موازي على الألياف(المستوى R) وعمودي على الاشعة الخشبية وحلقات النمو(المستوى X).



رسم توضيحي للعينة الخشبية المكعبة المأخوذة ، يتم الضغط عموديا على المستوى x وموازيا للمستوى R أي باتجاه الالياف

قبل اجراء الاختبار

بعد اجراء الاختبار

الشكل رقم (1) جهاز قياس مقاومة الضغط المحوري الموازي لاتجاه الالياف والعمودي على الاشعة الخشبية وحلقات النمو.

تعتمد طريقة القياس على وضع العينة القياسية بين صفيحتين (شكل 1)، وتطبق عليها قوة من خلال اقتراب الصفيحة الحاملة لعينة الخشب من الصفيحة الحاملة للقوة الضاغطة بسرعة 200- 300 كغ/ سم^2/ دقيقة، وحتى انكسار العينة وتراجع الضغط ، عندها تسجل القوة العظمى للانكسار(p).

وتحسب هذه المقاومة بالقانون التالي: العلاقة (4) : $$C_h = \frac{P}{a.b} \approx \frac{P}{A}$$

حيث C_h مقاومة الخشب للقوة المطبقة باتجاه الألياف(مقاومة الضغط المحوري) عند الرطوبة المعينة وتعطى نيوتن/ مم2.

P قوة الانكسار العظمى المطبقة (ثقل) نيوتن، a , b أبعاد العينة الخشبية مم.

A = مساحة مقطع العينة الخشبية مم^2.

وبما أن المقاومة تتأثر بنسبة رطوبة الخشب، ويمكن تعديلها عالمياً؛ فإنه يمكن إجراء التجربة على خشب بنسب الرطوبة المقاسة، ثم تعدل النتائج إلى درجة رطوبة 15% h .

واعتمادا على النظام الفرنسي فقد عدلت نتائج الضغط المحوري لدرجة الرطوبة 15% وذلك بتطبيق معادلة التصحيح التالية[15] : (العلاقة 5) عن[5, 7] .

$$C_{15} = C_h[1 + 0.04(w - 15)]$$ العلاقة (5):

حيث إنّ: C_{15}: مقاومة الضغط المحوري بدرجة رطوبة 15% و تقدر بـ كغ / سم2، أو نيوتن / مم2

Ch: مقاومة الضغط المحوري بدرجة رطوبة الخشب الفعلية .

w : نسبة الرطوبة الفعلية في الخشب . 0.04 : عامل تصحيح الرطوبة لكل 1% .

من هذه المعادلة يمكن استنتاج أنه عند تعديل مقاومة الخشب بحسب الرطوبة، فإن المقاومة تزداد عندما تكون رطوبة الخشب الآنية أقل من 15% وتنخفض عندما تكون رطوبة الخشب الآنية أكثر من 15%، عن[8] .

وقد تم تصنيف الأخشاب إلى درجات مختلفة حسب النظام المتبع(فرنسي– انكليزي – الماني) وقسمت حسب النظام الفرنسي تدرجات الضغط الموازي للألياف بدرجة رطوبة 15% عن[7] الى أنواع منخفضة أقل من 45 نيوتن/مم2 ، وانواع متوسطة بين 45–75 نيوتن/مم2 ، وانواع عالية أكبر من 75 نيوتن / مم^2.

ولمعرفة جودة الخشب من خلال معرفة هذه المقاومة ، يمكن حساب بعض الخصائص الهامة الإضافية التي تتعلق بمعرفة الضغط المحوري بالاعتماد على حساب بعض المؤشرات التالية[7]:

العلاقة (6): مؤشر الصفة الساكنة **St** :

$$S_t = \frac{C_{15}}{100 D_{15}}$$

العلاقة (7): مؤشر الصفة المتخصصة **Sp**:

$$Sp = \frac{C15}{100 D_{15}^2}$$

حيث إنّ: C_{15} : قيمة مقاومة الضغط المحوري (كغ/ سم2) عند رطوبة 15 % . D_{15} : قيمة الكثافة عند رطوبة 15% .

3-2- قياس مقاومة الخشب للانحناء الساكن Static bending test (MOR):

هي المقاومة التي تبديها عينة الخشب المرتكزة على ركيزتين عند اطرافها، عند تعرضها لقوة خارجية باتجاه عمودي على اتجاه الألياف وبشكل تدريجي في منتصفها وحتى انكسارها(سرعة تزايد الحمولة المطبقة 10– 20 نيوتن / مم/ د) وتحسب مقاومة الخشب للانحناء الساكن بواحدة نيوتن/ مم2.

تم اجراء اختبار مقاومة الانحناء الساكن في مخبر المواد بكلية الهندسة المدنية في جامعة اللاذقية باستخدام جهاز Iber test بعد تركيب الصفيحة المعدنية والموضح بالشكل رقم(2).

أبعاد العينات: استخدم لهذا القياس عينات خشبية بأبعاد 100×20×20 مم عمودي على الألياف، بواقع 12 عينة لكل نوع مدروس في كل اختبار. **طريقة تنفيذ القياس:** توضع العينة على ركيزتين ثابتتين في الجهاز البعد بينهما 90 مم للخشب، وسماكة العينة 20 للمادة الخشبية المدروسة وتطبق قوة متزايدة في منصف العينة بشكل عمودي على اتجاه الألياف حتى بداية انكسارها، ثم تقرأ قيمة القوة التي يشير اليها مؤشر الألة وتحسب بعد ذلك مقاومة الخشب للانحناء.

قبل اجراء الاختبار	بعد اجراء الاختبار

الشكل رقم (2) جهاز قياس مقاومة الانحناء الساكن

تحسب مقاومة الخشب للانحناء الساكن بالكغ /سم2 أو نيوتن/مم2 وعلى أساس الرطوبة المقاسة h%، ويعبر عن هذه المقاومة بمعامل الانكسار، ويرمز له MOR بالنظام الانكليزي في[7] ويعطى بالعلاقة (8) التالية:

$$F_h(MOR) = \frac{3PL}{2bh^n}$$ **: العلاقة (8)**

حيث إنّ: F_h(MOR) : معامل الانكسار عند الرطوبة المقاسة h% .

P: القوة العظمى للانكسار مقدرة نيوتن مقدرة(KN) حسب قراءة الجهاز، تم تحويلها الى نيوتن بالضرب بـ 1000.

L: البعد بين الركيزتين في جهاز الاختبار وتساوي 9 سم(90 مم) بحسب الشركة الصانعة.

b: عرض العينة ثخانتها العمودية على حلقات النمو السنوية (سم أو مم).

h: ارتفاع العينة أو ثخانتها الموازية لحلقات النمو السنوية(سم أو مم).

n: عامل يختلف باختلاف نوعية الخشب و طريقة استخدامه، و هو يتراوح بين $\frac{8}{6}$ و $\frac{11}{6}$ و $n=\frac{10}{6}$، بحسب النظام الفرنسي ، $n=2^2$.، بحسب النظام الانكليزي واعتمدنا في تطبيقاتنا على $n=\frac{10}{6}$

واعتمادا على النظام الفرنسي فقد عدلت نتائج المقاومة للانحناء الساكن لدرجة الرطوبة 15% وذلك بتطبيق معادلة التصحيح التالية: (العلاقة 7) عن[5, 7] .

$$F_{15} = F_h[1+0.02(w-15)]$$ **العلاقة (9):**

حيث إنّ: F_{15}: مقاومة الانحناء الساكن بدرجة رطوبة 15% و تقدر بـ كغ / سم2، أو نيوتن / مم2

F_h: مقاومة الانحناء الساكن بدرجة رطوبة الخشب الفعلية .

w : نسبة الرطوبة الفعلية في الخشب . 0.02 : عامل تصحيح الرطوبة لكل 1% .

يمكن حساب بعض الخصائص الهامة في مجال استخدام الأخشاب عند تقدير مقاومة الانحناء الساكن منها .

العلاقة (10): مؤشر الانحناء (C_{ote} f): $C_{otef} = \frac{F_{15}}{100D_{15}}$ **حيث إنّ:**

F_{15}: رقم الإجهاد بالكغ عند رطوبة خشب 15%. D_{15}: كثافة الخشب عند المحتوى الرطوبي 15%.

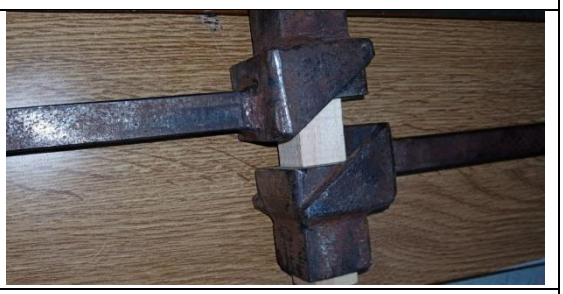
العلاقة (11): مؤشر التماسك أو التلاصق (C_{ote} t): $C_{otet} = \frac{F_{15}}{C_{15}}$ **حيث إنّ:**

F_{15}: رقم الإجهاد بالكغ عند رطوبة خشب 15%. C_{15}: مقاومة الضغط المحوري بالكغ عند رطوبة 15%.

3-3- قياس مقاومة الخشب للقص Shear resistance:

وهي تمثل مدى قدرة الخشب على مقاومة القوى المسببة للحركة الانزلاقية لجزء من العينة الخشبية المختبرة ضد الجزء الآخر منها. تم اجراء اختبار القص في مخبر المواد بكلية الهندسة المدنية في جامعة اللاذقية باستخدام جهاز Iber test الموضح بالشكل رقم(3) بعد تركيب فكي القص على هذا الجهاز فك سفلي ثابت وفك علوي متحرك .

الحاضنة والعينة



مكان وضع العينة الخشبية لإجراء اختبار القص

جهاز القص ومكان وضع الحاضنة وبداخلها العينة

الشكل رقم (3): جهاز قياس القص

أبعاد العينات: تستخدم لقياس مقاومة الخشب للقص عينات خشبية بابعاد20×20×100مم ولمنع انزلاق العينات الخشبية أثناء اجراء قياس القص قمنا بصنع حاضنة لعينة الخشب كما موضحة في الشكل(3) .

مبدأ القياس: تم قياس مقاومة الخشب للقص للقوة المطبقة بشكل عمودي على أتجاه الألياف ، وبشكل موازي على اتجاه الالياف حتى قص العينة وتحسب مقاومة القص بواحدة نيوتن/ مم2. **طريقة تنفيذ القياس:** تم وضع العينة بين فكي القص في الألة بعد ذلك يتم تطبيق قوة (سحب) باتجاهين متعاكسين بحيث لا تتجاوز سرعة القوة 400كغ/دقيقة حتى حدوث القص عند قوة قص عظمى Fmax يشير اليها مؤشر الجهاز وبقياس كل من الطول (a) والعرض (b) للسطح المقصوص يتم حساب مقاومة الخشب للقص بالعلاقة (12) التالية:

العلاقة (12) : $$C = \frac{Fmax}{a.b}$$

حيث أن: C: مقاومة الخشب للقص نيوتن/ مم2، Fmax : القوة العظمى المطبقة (نيوتن) حتى القص.

a : طول السطح المقصوص مم. b : عرض السطح المقصوص مم.

تم اجرء الاختبار لعدد 12 عينة من كل نوع مدروس لكل اتجاه (عمودي ، موازي) للألياف .

3-4- دراسة علاقة كثافة الخشب بالصفات الميكانيكية

توفر العديد من المؤشرات المختلفة أدلة على خصائص الخشب واستخداماته المحتملة، وتعتبر كثافة الخشب أكثر إفادة من أي مؤشر آخر، وإن معرفتها تسمح بالتنبؤ بعدد أكبر من الخصائص والتي أهمها الميكانيكية[12] ، وهي مؤشر مهم لجودة الخشب وترتبط كثافة الخشب ارتباطًا مباشرًا بخصائص الخشب الأخرى[22].

فيما أشار[17] إلى أن قوة الخشب ترتبط ارتباطًا وثيقًا عادةً بالكثافة، ومن الممكن تقدير قوة الخشب استنادًا إلى الكثافة دون معرفة تفصيلية بالأنواع، لذلك، من الممكن إجراء تقدير معقول للقوة بناءً على كثافة الخشب/ ثقله النوعي، وفي البلدان النامية، حيث لا توجد قواعد تصنيف للأخشاب بشكل كبير أو حيث يتم نشر العديد من الأنواع واستخدامها بالتبادل، يمكن تصنيف الأخشاب الإنشائية بناءً على الكثافة في المقام الأول.

النتائج والمناقشة:

1- الخواص الفيزيائية:

1-1- المحتوى الرطوبي MC %:

قسمت العينات في كل نوع خشبي الى اربع مكررات بواقع ثلاث عينات لكل مكرر وقياس متوسط محتواها الرطوبي بعد أخذ أوزان العينات قبل التجفيف وبعد التجفيف، ومن ثم تطبيق قانون المحتوى الرطوبي كما هو وارد في مواد وطرق البحث ودونت النتائج في الجدول رقم(1).

1-2- الكثافة:

بنفس الطريقة التي تم فيها تقسيم العينات لقياس محتوى الرطوبة، تم اتباعها لتقدير قيمة الكثافة غ/ سم^3 لكافة العينات بالاعتماد على الوزن قبل وبعد التجفيف، وقياس أبعاد العينات(طول، عرض، وارتفاع) في كلتا الحالتين لتحديد الحجم ومن ثم تطبيق المعادلات المذكورة في مواد وطرق البحث للحصول على الكثافة غ/ سم^3، وبعد تطبيق العلاقة (3) في مواد وطرق البحث تم الحصول على كثافة الخشب عند مستوى رطوبة 15 %، وعرضت النتائج للكثافة عند مستوى الرطوبة المقاسة بعد التجفيف Dh وعند مستوى رطوبة 15 % على شكل متوسطات في الجدول رقم (1).

الجدول رقم (1): متوسط المحتوى الرطوبي % ومتوسط قيم الكثافة g/cm^3 للعينات الخشبية في الانواع المدروسة

	الصنوبر البروتي			السرو دائم الاخضرار		
	الرطوبة المقاسة %	الكثافة المقاسة غ/ سم3	الكثافة عند 15% غ/ سم3	الرطوبة المقاسة %	الكثافة المقاسة غ/ سم3	الكثافة عند 15% غ/ سم3
م1	11.02	0.511	0.537	12.59	0.502	0.516
م2	10.44	0.532	0.560	13.10	0.515	0.536
م3	10.63	0.521	0.546	13.29	0.495	0.511
م4	10.40	0.554	0.583	12.40	0.532	0.543
المتوسط	10.62	0.529	0.557	12.85	0.511	0.524

من خلال التحليل الاحصائي تبين أن الفروقات في نسبة الرطوبة غير معنوية، فإن الفروقات الظاهرية لا تدل على زيادة او نقصان ولا تخالف القاعدة والعلاقة ما بين الرطوبة والكثافة (زيادة الرطوبة، انخفاض الكثافة) وقد يعود عدم توافق(تناقص قيمة الكثافة مع ارتفاع نسبة الرطوبة ضمن المجال الرطوبي الأقل من نقطة التشبع) لاختلاف مكان اخذ العينات فمنها من خشب المحيط ومنها من خشب القلب، وبما ان الارقام الدالة على قيم متوسط الكثافة ومتوسط الرطوبة هي لعينات مختلطة محيطية ومركزية، فإن احتمال عدم التجانس موجود وهذا ما عبر عنه الجدول ولكن بشكل غير معنوي.

يلاحظ من الجدول(1) أن متوسط نسبة الرطوبة في كلاً من خشب الصنوبر البروتي وخشب السرو متقاربة.

إن النتائج الأولية التي حصلنا عليها لقيم الكثافة في الأخشاب المدروسة تمثل في الواقع المعيار الأولي المميز لنوعية الخشب المستخدمة في الاختبار، وهي في الواقع قيم خاصة وليست عامة، نظراً لتباين خواص النوع من الخشب باختلاف العوامل المؤثرة لكل نوع خشبي من مصدر المنشأ ومكان اخذ العينات من الجذع الخشبي ومستوى الخشب خشب محيطي او خشب قلب وغيرها من الظروف البيئية والمناخية .

بالمقارنة مع المعيار التصنيفي الفرنسي للمخروطيات بالاعتماد على كثافة الخشب عند 15% عن[7] نجد أن خشب الصنوبر البروتي وخشب السرو دائم الاخضرار تنتمي إلى الأخشاب نصف الثقيلة.

2- الخواص الميكانيكية:

2-1- اختبار مقاومة الخشب للضغط المحوري

قمنا بإجراء قياس الضغط باتجاه الألياف باستخدام جهاز مقاومة الضغط لجميع العينات(12) عينة لكل نوع مدروس بعد توزيعها الى 4 مكررات بحيث يحوي كل مكرر 3عينات، وحصلنا على قيم قوة الضغط المطبقة (كيلو نيوتن) على العينات حتى انكسارها وبمعرفة أبعاد العينات بـ مم وتحويل قوة الضغط من(كيلو نيوتن) إلى نيوتن، وتطبيق العلاقة (4)حصلنا على قيم مقاومة الضغط (نيوتن/ مم^2)، وبتطبيق معاملة التصحيح في العلاقة (5) حصلنا على قيم مقاومة الضغط عند مستوى رطوبة 15 % (نيوتن / مم^2)، ولحساب مؤشري الصفة الساكنة ومؤشر الصفة المتخصصة، تم تحويل قيم الضغط المحوري عند رطوبة 15% من نيوتن/ مم^2 إلى كغ/ سم^2 بالضرب بالقيمة (10.1972) وتطبيق العلاقتين (6، 7) على التوالي، وعرضت النتائج على شكل متوسطات في الجدولين (2 و 3).

اعتماداً على النتائج التي حصلنا عليها من اختبار 12 عينة لكل نوع نباتي وتوزيع العينات على مكررات واخذ المتوسطات ومن ثم المتوسط العام في الجدولين (2، 3) ، واستناداً إلى النظام الفرنسي عن[3] نجد أن المتوسط العام لمقاومة الضغط المحوري لكل من خشب الصنوبر وخشب السرو الدائم الاخضرار عند درجة رطوبة 15% بلغ 46.15 نيوتن/مم^2 و 35.71 نيوتن/ مم^2 بالترتيب. وبمقارنة هذه القيم مع القيم الواردة حسب النظام الفرنسي لتدرجات الضغط الموازي للألياف بدرجة رطوبة 15% عن[7] نجد أن خشب الصنوبر البروتي يصنف ضمن الاخشاب متوسطة المقاومة ، فيما يصنف خشب السرو دائم الاخضرار ضمن الاخشاب منخفضة المقاومة بالنسبة للضغط المحوري.

الجدول رقم (2): متوسط نتائج اختبار الضغط المحوري في الصنوبر البروتي

المكرر	عدد العينات	قوة الانكسار العظمى كيلو نيوتن	مقاومة الضغط المحوري عند الرطوبة المقاسة نيوتن /مم2	مقاومة الضغط المحوري عند الرطوبة 15% نيوتن /مم2	مؤشر الصفة الساكنة st	مؤشر الصفة المتخصصة sp
1	3	21.708	54.27	44.29	8.4	15.65
2	3	22.024	55.06	45.02	8.2	14.63
3	3	22.952	57.38	48.27	9.01	16.51
4	3	22.988	57.47	47.02	8.22	14.12
المتوسط		22.418	56.05	46.15	8.46	15.23
الانحراف المعياري		–	–	1.98	0.41	1.12

الجدول رقم (3): متوسط نتائج اختبار الضغط المحوري في السرو دائم الاخضرار

المكرر	عدد العينات	قوة الانكسار العظمى	مقاومة الضغط المحوري عند الرطوبة المقاسة	مقاومة الضغط المحوري عند الرطوبة 15%	مؤشر الصفة الساكنة st	مؤشر الصفة المتخصصةsp

		كيلو نيوتن	نيوتن /مم2	نيوتن /مم2		
1	3	15.524	38.81	35.07	6.93	13.44
2	3	15.276	38.19	35.29	6.84	13.01
3	3	16.028	40.07	35.89	7.16	14.02
4	3	15.716	39.29	36.59	6.87	12.65
المتوسط		15.636	39.09	35.71	6.95	13.49
الانحراف المعياري		–	–	1.32	0.275	0.73

ولمعرفة جودة الخشب، تم حساب قيمة مؤشري الصفة الساكنة St والصفة المتخصصة Sp ، حيث بلغ متوسط مؤشر الصفة الساكنة للصنوبر البروتي 8.46 وللسرو دائم الاخضرار 6.25، ومتوسط مؤشر الصفة المتخصصة للصنوبر البروتي 15.23 وللسرو دائم الاخضرار 13.49، واستناداً إلى جدول تصنيف الأخشاب حسب مؤشر الصفة الساكنة ومؤشر الصفة المتخصصة لمقاومة الضغط المحوري عند درجة رطوبة 15% للمخروطيات حسب النظام الفرنسي عن[7] نجد أن خشب الصنوبر البروتي من الأخشاب متوسط القساوة بالنسبة لمؤشر الصفة الساكنة ومؤشر الصفة المتخصصة، فيما خشب السرو دائم الاخضرار من الأخشاب القاسية بالنسبة لمؤشر الصفة الساكنة ومؤشر الصفة المتخصصة.

2-2- اختبار مقاومة الخشب للانحناء الساكن MOR

قمنا بإجراء اختبار مقاومة الانحناء الساكن العمودي على اتجاه الالياف لـ 12 عينة من كل نوع مدروس بعد تقسيمها الى اربعة مكررات، وذلك بتطبيق العلاقة (8) والحصول على قيمة معامل الانكسار F_h(MOR) المعبر عن مقاومة الانحناء الساكن عند درجة الرطوبة المقاسة (نيوتن/مم^2) ، وبتطبيق العلاقة (9) تم الحصول على هذا المعامل عند درجة رطوبة 15% (نيوتن/ مم2) ، ولحساب مؤشر الانحناء (C_{ote} f) و مؤشر التماسك أو التلاصق (C_{ote} t) تم تحويل قيم معامل الانكسار عند رطوبة 15% من نيوتن / مم^2 الى كغ / سم^2 بالضرب بالقيمة (10.1972) وتطبيق العلاقتين (9، 10) على التوالي، وعرضت النتائج على شكل متوسطات في الجدولين (4 ، 5).

الجدول رقم (4): متوسط نتائج اختبار الانحناء الساكن في الصنوبر البروتي

المكرر	عدد العينات	قوة الانكسار العظمى كيلو نيوتن	مقاومة الانحناء الساكن F_h(MOR)عند الرطوبة المقاسة(نيوتن /مم2)	مقاومة الانحناء الساكن F_{15}(MOR) عند الرطوبة 15% (نيوتن /مم2)	مؤشر الانحناء (C_{ote} f)	مؤشر التماسك أو التلاصق (C_{ote} t)
1	3	4.67	78.81	71.56	1.33	1.62
2	3	4.73	79.82	72.54	1.3	1.61
3	3	5.11	86.23	79.37	1.45	1.65
4	3	4.92	83.04	75.78	1.3	1.61
المتوسط		4.857	81.98	74.81	1.345	1.623
الانحراف المعياري		–	–	3.197	0.07	0.041

الجدول رقم (5): متوسط نتائج اختبار الانحناء الساكن في السرو دائم الاخضرار

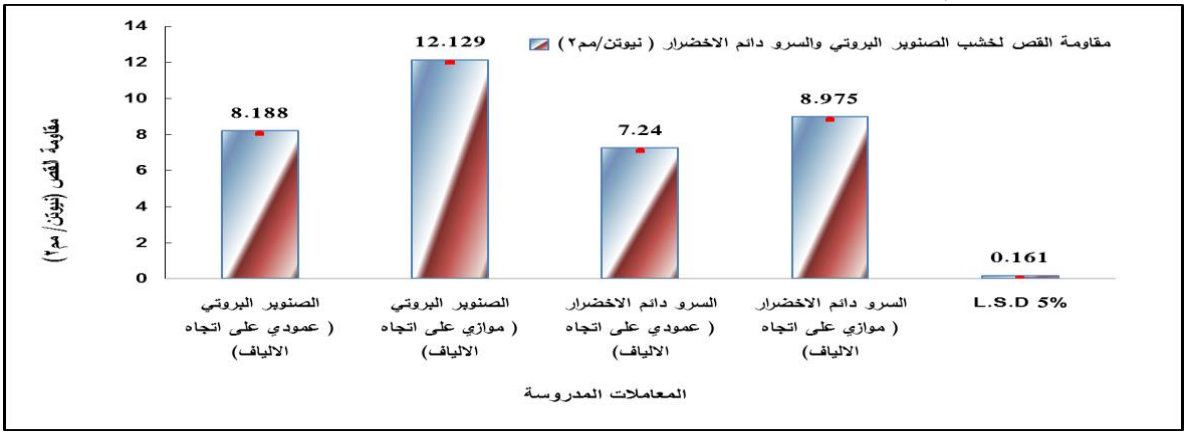
المكرر	عدد العينات	قوة الانكسار العظمى كيلو نيوتن	مقاومة الانحناء الساكن F_h(MOR) عند الرطوبة المقاسة(نيوتن /مم2)	مقاومة الانحناء الساكن F_{15}(MOR) عند الرطوبة 15% (نيوتن /مم2)	مؤشر الانحناء (C_{ote} f)	مؤشر التماسك أو التلاصق (C_{ote} t)
1	3	4.15	70.03	66.66	1.33	1.9
2	3	4.38	73.91	71.1	1.38	2.01
3	3	4.11	69.36	65.75	1.33	1.83
4	3	4.46	75.26	72.69	1.37	1.98
المتوسط		4.275	72.14	69.05	1.353	1.93
الانحراف المعياري		–	–	3.05	0.03	0.099

من خلال الجدولين (4 ، 5) نجد أن متوسط مقاومة الانحناء الساكن لخشب الصنوبر البروتي عند 15% بلغت 74.81، نيوتن/ مم^2، ولخشب السرو دائم الاخضرار بلغت 69.05 نيوتن/ مم^2، وتصنف أخشاب النوعين حسب التصنيف الفرنسي عن[7] مع الأخشاب متوسطة الانحناء الساكن، وتعتبر هذه القيم جيدة لاستخدام هذين النوعين في مجال الإنشاءات وصناعة الاثاث.

وبمقارنة متوسطات مؤشري الانحناء والتماسك حسب النظام الفرنسي مع التصنيف القياسي الفرنسي للأخشاب فان خشب الصنوبر البروتي السرود ائم الاخضرار خفيف الانحناء، حيث تقع قيم المؤشر في النوعين بين(1 و1.5) ، وحسب مؤشر التماسك، فان خشب النوعين خفيف التماسك، حيث كانت قيمة المؤشر قريبة من القيمة 2 في النوعين.

2-3- اختبار مقاومة القص

بعد أخذ العينات الخشبية بالأبعاد المطلوبة وتحديد نوع العينة موازية أو عمودية لاتجاه الألياف ، وإجراء اختبار القص لكل نوع مدروس، تم الحصول على المتوسطات لكل المعاملات المدروسة وقيمة الفروق المعنوية LSD عن طريق البرنامج الاحصائي Genstat 12 واستخدام برنامج Excel لعمل مخطط ودراسة الفروق المعنوية.



الشكل (4) : مقاومة القص في المعاملات المدروسة

من خلال الشكل(4) نلاحظ أن مقاومة القص على المستوى الموازي للألياف في الصنوبر البروتي والسرو دائم الاخضرار كانت أكبر من مقاومة القص على المستوى العمودي للألياف، والفروقات بين المعاملات المدروسة غير معنوية على المستوى العمودي والمستوى الموازي للألياف للنوعين المدروسين، وكانت أكبر قيمة عند الصنوبر البروتي في المستوى الموزاي للألياف(12.129) نيوتن/مم^2 واقل قيمة عند السرو دائم الاخضرار في المستوى الموازي للألياف(7.24) نيوتن/ مم^2، والقيم التي حصلنا عليها تتوافق مع القيم التي أشارت إليها معظم الدراسات فيما يخص هذين النوعين[20 ,14]، الواقعة بين(6–11) للصنوبر البروتي و(5–10) للسرو دائم الاخضرار بالنسبة لمقاومة القص العمودي غلى اتجاه الألياف نيوتن / مم^2 ، وبين (9–14) للصنوبر البروتي و(7–12) للسرو دائم الاخضرار بالنسبة لمقاومة القص العمودي غلى اتجاه الألياف نيوتن / مم^2.

2-4- دراسة ارتباط الخواص الميكانيكية للخشب

بعد الحصول على النتائج لكافة الاختبارات المدروسة لكلا النوعين ، تم إدخال البيانات إلى برنامج SPSS وتم إجراء تحليل الارتباط للخواص الميكانيكية مع بعضها البعض، وعرضت في الجدولين (6 ، 7).

الجدول رقم (6): دراسة علاقة الارتباط بين خواص خشب الصنوبر البروتي الميكانيكية

	مقاومة الضغط المحوري C15	مؤشر الصفة الساكنة st	مؤشر الصفة المتخصصة sp	مقاومة الانحناء الساكن F15 (M0R)	مؤشر الانحناء (Cote f)	مؤشر التماسك (Cote t)	مقاومة القص عمودي على الالياف	مقاومة القص موازي للألياف
مقاومة الضغط المحوري C15	1							
مؤشر الصفة الساكنة st	.709**	1						
مؤشر الصفة المتخصصة sp	0.355	.911**	1					
مقاومة الانحناء الساكن F15(M0R)	.821**	.634*	0.358	1				
مؤشر الانحناء(Cote f)	0.518	.872**	.851**	.742**	1			
مؤشر التماسك(Cote t)	−0.317	−0.149	−0.16	0.281	0.353	1		
مقاومة القص العمودي على الالياف	.691*	0.401	0.122	.922**	0.567	0.371	1	
مقاومة القص موازي للألياف	0.294	−0.415	−.719**	0.172	−0.486	−0.197	0.343	1

**** .Correlation is significant at the 0.01 level ; *. Correlation is significant at the 0.05 level.**

الجدول رقم (7): دراسة علاقة الارتباط بين خواص خشب السرو دائم الاخضرار الميكانيكية

	مقاومة الضغط المحوري C15	مؤشر الصفة الساكنة st	مؤشر الصفة المتخصصة sp	مقاومة الانحناء الساكن F15 (M0R)	مؤشر الانحناء (Cote f)	مؤشر التماسك (Cote t)	مقاومة القص عمودي على الالياف	مقاومة القص موازي للألياف
مقاومة الضغط المحوري C15	1							
مؤشر الصفة الساكنة st	.782**	1						
مؤشر الصفة المتخصصة sp	0.456	.912**	1					
مقاومة الانحناء الساكن F15(M0R)	0.218	−0.388	−.698*	1				
مؤشر الانحناء(Cote f)	0.149	−0.292	−0.518	.907**	1			
مؤشر التماسك(Cote t)	−0.540	−.901**	−.931**	.703*	.676*	1		
مقاومة القص العمودي على الالياف	0.162	−0.439	−.735**	.992**	.892**	.737**	1	
مقاومة القص الموازي للألياف	0.179	−0.420	−.718**	.976**	.871**	.709**	.964**	1

**** .Correlation is significant at the 0.01 level ; *. Correlation is significant at the 0.05 level.**

من الجدول (6) لخشب الصنوبر البروتي:

-ترتبط مقاومة الضغط المحوري ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر الصفة الساكنة ومع مقاومة الانحناء الساكن و طردي غير معنوي مع مؤشر الصفة المتخصصة ومؤشر الانحناء وارتباط عكسي غير معنوي مع مؤشر التماسك، وارتباطاً طردياً معنوياً مع مقاومة القص العمودي وغير معنوي مع مقاومة القص الموازي للألياف.

- يرتبط مؤشر الصفة الساكنة ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر الصفة المتخصصة ومع مقاومة الانحناء الساكن ومع مؤشر الانحناء، وارتباطا طردياً غير معنوي مع مقاومة القص العمودي على الالياف، ارتباطاً عكسياً غير معنوي مع مؤشر التماسك ومقاومة القص الموازي للألياف.

- يرتبط مؤشر الصفة المتخصصة ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر الانحناء، وارتباطاً عكسياً معنوياً مع ومقاومة القص الموازي للألياف، وارتباطا طردياً غير معنوي مع مقاومة الانحناء الساكن ومع مقاومة القص العمودي على الالياف، وارتباطاً عكسياً غير معنوي مع مؤشر التماسك.
- ترتبط مقاومة الانحناء الساكن ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر الانحناء ومع مقاومة القص العمودي للألياف، وارتباطاُ طردياً غير معنوي مع مؤشر التماسك، ومع مقاومة القص الموازي للألياف.
- يرتبط مؤشر الانحناء ارتباطاً طردياً غير معنوي مع مؤشر التماسك ومع مقاومة القص العمودي على الالياف، وارتباطاً عكسياً غير معنوي مع مقاومة القص الموازي للألياف.
- يرتبط مؤشر التماسك ارتباطاً طردياً غير معنوي مع مقاومة القص العمودي على الالياف، وارتباطاً عكسياً غير معنوي مع مقاومة القص الموازي للألياف.
- الارتباط بين مقاومة القص العمودي على الالياف ومقاومة القص الموازي للألياف طردياً غير معنوي.

من الجدول (7) لخشب السرو دائم الاخضرار:

-ترتبط مقاومة الضغط المحوري ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر الصفة الساكنة، وارتباطاً عكسياً غير معنوي مع مؤشر التماسك، وارتباطاً طردياً غير معنوي مع بقية الخواص، ويرتبط مؤشر الصفة الساكنة ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر الصفة المتخصصة، وارتباطاً عكسياً معنوياً مع مؤشر التماسك، وارتباطاً عكسياً غير معنوي مع بقية الخواص.

-يرتبط مؤشر الصفة المتخصصة ارتباطاً عكسياً معنوياً مع مقاومة الانحناء الساكن ومع مؤشر التماسك ومع مقاومة القص العمودي على الالياف ومع ومقاومة القص الموازي للألياف، وارتباطاً عكسياً غير معنوي مع مؤشر التماسك.

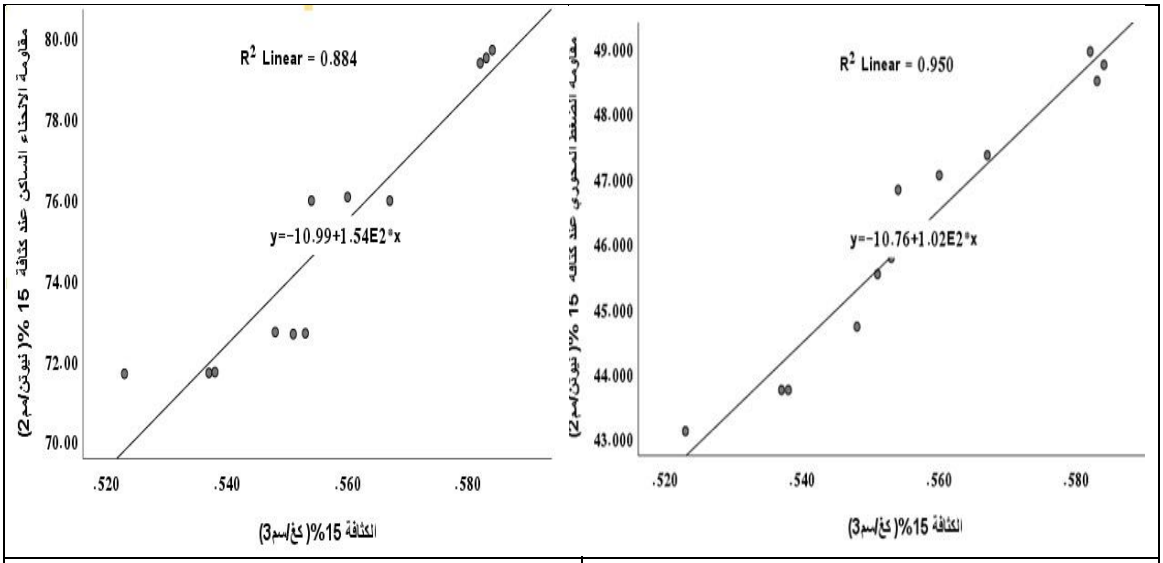
- ترتبط مقاومة الانحناء الساكن ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر الانحناء ومع مؤشر التماسك ومع مقاومة القص العمودي للألياف ومع مقاومة القص الموازي للألياف،
- يرتبط مؤشر الانحناء ارتباطاً طردياً معنوياً مع مؤشر التماسك ومع مقاومة القص العمودي على الألياف ومع مقاومة القص الموازي للألياف، ويرتبط مؤشر التماسك ارتباطاً طردياً معنوياً مع مقاومة القص العمودي والموازي للألياف.
- الارتباط بين مقاومة القص العمودي على الألياف ومقاومة القص الموازي للألياف طردياً معنوياً.

من خلال علاقات الارتباط الواردة في الجدولين (6 ، 7) نلاحظ أن النوع النباتي وخصائصه البنيوية يلعب دورا كبيرا في اختلاف ارتباط الخواص يعضها ببعض.

3- علاقة كثافة الخشب بالصفات الميكانيكية

تم دراسة العلاقة بين كثافة الخشب عند مستوى رطوبة 15% وكل من مقاومة الضغط المحوري عند كثافة 15% ومقاومة الانحناء الساكن عند كثافة 15% لكلا النوعين، باستخدام برنامج التحليل الاحصائي Spss، والحصول على معاملات الارتباط(R) ومعامل التحديد(R2) في تحليل الانحدار الخطي، تم اشتقاق المعادلات الخطية باستخدام العلاقة بين قوة الضغط الموازية للألياف والكثافة وقوة الانحناء الساكنة والكثافة لكلا النوعين وعرضت النتائج في الجداول والمخططات التالية:

تم تفريغ مضمون المخططات المميزة لنوع العلاقة بين الكثافة عند 15% وكلاً من مقاومة الضغط المحوري والانحناء الساكن في النوعين المدروسين ضمن جداول منفصلة لكل نوع مدروس لتوضيح نتائج علاقة الارتباط ، ومن خلال فهم هذه العلاقات، يمكن تحسين طرق معالجة الخشب وزيادة كفاءة استخدام الخشب .



B	A

الشكل رقم (5): العلاقة بين الكثافة ومقاومة الضغط المحوري (A) وبين الكثافة ومقاومة الانحناء الساكن (B) لخشب الصنوبر البروتي.

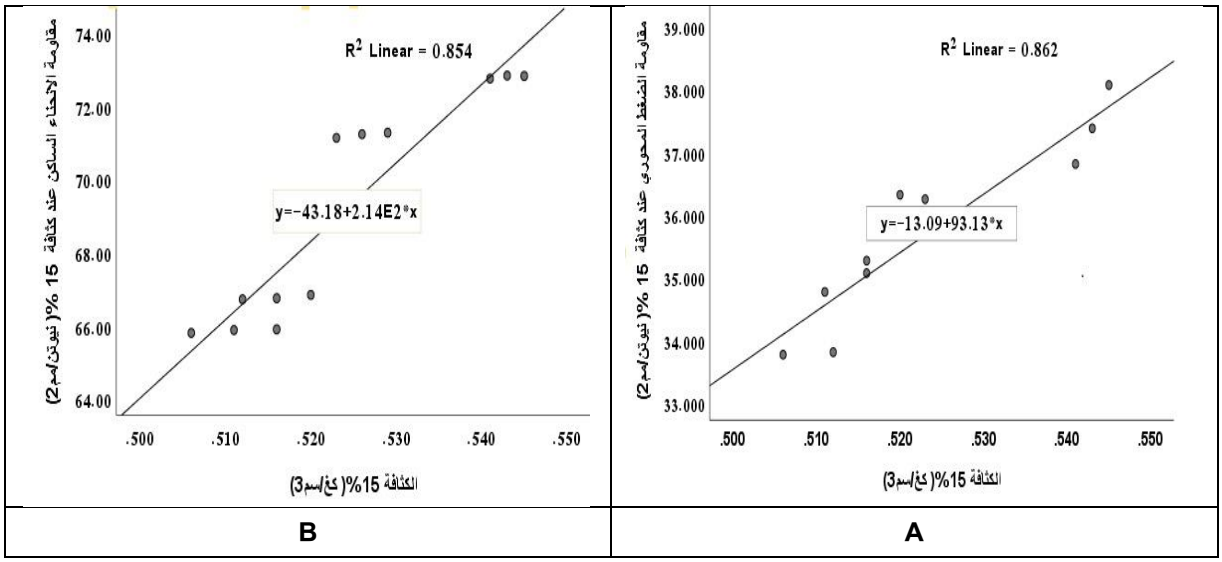
الجدول رقم (8): علاقة الارتباط بين الكثافة15% وبعض الخواص الميكانيكية لخشب الصنوبر البروتي

	الكثافة 15%(كغ/سم3) D15	مقاومة الضغط المحوري (نيوتن/مم2) C15	مقاومة الانحناء الساكن (نيوتن/مم2) F15(MOR)
الكثافة 15%(كغ/سم3) D15	1.000	.975**	.940**

****significant (p < 0.001) probability level**

الجدول رقم (9): معادلة الانحدار بين الكثافة15% وبعض الخواص الميكانيكية لخشب الصنوبر البروتي

R^2	R	نماذج المعادلة
0.950	0.975	C15 = 10.76 + 1.2E2 * X مقاومة الضغط المحوري (نيوتن/مم2)
0.884	0.940	F15(MOR) = 10.99 + 1.54E2 * X مقاومة الانحناء الساكن(نيوتن/مم2)



B	A

الشكل(6): العلاقة بين الكثافة ومقاومة الضغط المحوري(A) وبين الكثافة ومقاومة الانحناء الساكن(B) لخشب السرو

الجدول رقم (10): علاقة الارتباط بين الكثافة15% وبعض الخواص الميكانيكية لخشب السرو دائم الاخضرار

	الكثافة 15%(كغ/سم3) D15	مقاومة الضغط المحوري C15 (نيوتن/مم2)	مقاومة الانحناء الساكن (نيوتن/مم2) F15(MOR)
الكثافة 15%(كغ/سم3) D15	1.000	.928**	.924**

****significant (p < 0.001) probability level**

الجدول رقم (11): معادلة الانحدار بين الكثافة15% وبعض الخواص الميكانيكية لخشب السرو دائم الاخضرار

R^2	R	نماذج المعادلة
0.862	0.928	C15 = 13.09 + 93.13 * X مقاومة الضغط المحوري (نيوتن/مم2)
0.854	0.924	F15(MOR) = 43.18 + 2.1E2 * X مقاومة الانحناء الساكن(نيوتن/مم2)

نلاحظ أن العلاقة طردية قوية ومعنوية بين الكثافة عند مستوى رطوبة 15% وكلاً من مقاومة الضغط المحوري ومقاومة الانحناء السكن عند كثافة 15% في الصنوبر البروتي والسرو دائم الاخضرار، والقيم قريبة من 1 ، أي أن زيادة كثافة الخشب مرتبطة بزيادة في مقاومته للضغط والانحناء، وهذا يتوافق مع ما أشارت اليه دراسات [12, 17] ، واختلاف القيم بين الصنوبر البروتي والسرو دائم الاخضرار بسبب اختلاف في التركيب الكيميائي والفيزيائي وخصوصاً الكثافة لكل نوع ، مما يؤثر على الخصائص الميكانيكية.

الاستنتاجات والتوصيات:

- تعد النتائج التي حصلنا عليها أولية في تحديد خواص الخشب الميكانيكية للنوعين المدروسين ومدى علاقتها ببعضها وبكثافة الخشب، وبالتالي تعتبر أساساً لدراسات معمقة تتعلق ببيئة النمو الأصلية للنوع النباتي وتغير هذه الصفات تبعاً لمؤشرات عديدة .
- التوسع والاهتمام بهذه الأنواع من الأشجار الحراجية بالإضافة إلى دورها الوقائي وإدخالها ضمن برامج التشجير الإنتاجي وبرامج التحسين الوراثي بهدف الحصول على نوعية أخشاب جيدة تلبي طلبات السوق المحلية.
- التوسع في مجال دراسة الخصائص الميكانيكية لأنواع حراجية اخرى متوفرة بشكل جيد .

References:

[1] H. Abu Jazia, A. H. Imran, M. Mujahid, I. Mujahid, *Basics of technological science and uses of wood*. College of Agriculture, Alexandria University, (in Arabic), 2002.

[2] I. Ahmed, Study of the most important morphological and technological characteristics of the wood of Pinus pinea L. and Pinus canariensis C.Sm in the city of Aleppo. Master's thesis, Department of Renewable Natural Resources and Environment, University of Aleppo, ,(in Arabic), 145 pp, 2021.

[3] I. Ahmed, M. Kakeh, B. Malkh, Study of some physical and mechanical properties of Canary pine wood Pinus canariensis C.Sm grown in Aleppo City. Aleppo University Journal, Agricultural Science Series, (in Arabic), no. 149, 2021.

[4] Z. Al-Issa, M. Kakeh, B. Malkh, The most important physical and mechanical properties of the wood of the Syrian elm species Fraxinus syrica Boiss. And the ornamental elm Fraxinus ornus L.. Aleppo University Journal, Agricultural Sciences Series, (in Arabic), no. 142, 2021.

[5] M. Hamid, *Wood Science and Forest Products*. Damascus University Press, Faculty of Agricultural Engineering, ,(in Arabic), 504 pp, 2007.

[6] M. Hamid, N. Al-Aboud, M. Ayoub, Study of the mechanical properties of Eucalyptus camaldulensis Deh. On the Damascus-Daraa road. Minia Journal of Agricultural Research and Development, Minia University, (in Arabic),Egypt,, vol. 32, no. 1, pp. 37-63, 2012.
[7] A. Rahma, *Wood science, theoretical and practical part*. Aleppo University Publications, Faculty of Agriculture, ,(in Arabic), 574 p,2012.
[8] H. Ala-aldin, A. Aswad, *Forestry industries and Wood technology*. Lattakia University Publications, College of Agriculture, (in Arabic), 436 p, 2013.
[9] M. Kakeh, The most important physical and mechanical properties of the wood of Robinia Pseudoacacia L. College of Agriculture, University of Aleppo, Research, ,(in Arabic), no. 128, 18 p, 2017.
[10] Qandil, Ezzat; Abu Hassn, Ata-Allah. 1993- *Wood Technology*. College of Agriculture - King Saud University. (in Arabic), Riyadh.271.
[11] M. Arnold, Effect of moisture on the bending properties of thermally modified beech and spruce. Journal of Materials Science, vol. 45, pp. 669-680, 2010.
[12] J. Ayarkwa, *Timber Technology for Researchers, Polytechnics and University Students.* Classic Graphics, Print, Kumasi, 2009.
[13] I. Bektaş, M. H. Alma, N. As, R. Gundogan, Relationship between site index and several mechanical properties of Turkish Calabrian pine (Pinus brutia Ten.). Forest Products Journal, vol. 53, no. 2, pp. 27-31, 2003.
[14] I. Bektaş, R. Kurt, Principal Mechanical Properties of Cypress Wood (Cupressus Sempervirens L.) Naturally Grown in (Kahramanmaraş) Eastern Mediterranean of Turkey. Gazi University Journal of Science, vol. 23, no. 3, pp. 357-362, 2010.
[15] F. Deslandes, L. *Vandenberche, Les Bois, Caracteristiques, Usinage, Utilisations Diverses,* 1959.
[16] E. Güntekin, T. Y. Aydın, Effects of Moisture Content on Some Mechanical Properties of Turkish Red Pine (*Pinus brutia* Ten.). International Caucasian Forestry Symposium, Süleyman Demirel University, Isparta, Turkey, 2013.
[17] J. G. Haygreen, J. L. Bowyer, *Forest Products and Wood Science: An Introduction*, 3rd ed. USA, p. 484, 1996.
[18] ISO 13061-2: *Physical and mechanical properties of wood - Test methods for moisture content.* International Standard, 2014.
[19] B. Kord, A. Kialashaki, B. Kord, The within-tree variation in wood density and shrinkage and their relationship in Populus euramericana. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, vol. 34, pp. 121-126, 2010.
[20] K. Ozkaya, Determination of some physical and mechanical properties of Calabrian pine (Pinus brutia Ten.) trees grown in the Denizli area of Turkey. International Journal of Physical Sciences, vol. 8, no. 46, pp. 2063-2068, 2013.
[21] R. Shmulsky, P. D. Jones, *Forest Products and Wood Science: An Introduction*, 6th ed. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 2011.
[22] G. Tsoumis, *Science and technology of wood: Structure, properties, utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA, p. 82, , 1991.