تأثير الموجات الدقيقة Microwave على سرعة التجفيف والمحتوى الرطوبي ونسبة الانكماش بالسمك والوزن النوعي لنوعين من الخشب

د. عبدالرزاق رؤوف الملاح
كلية الزراعة والغابات – جامعة الموصل

د. عزام عبدالعزيز اسماعيل
الكلية التقنية – جامعة الموصل

الخلاصة

تم تقطيع الواح خشبية بسمكين (١,٥ و ٣ سم) من جذوع شجرتين هما الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. واليوكالبتوس *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. من مشجر غابة نينوى. وتم تجفيفها باستخدام فرن الامواج الدقيقة (Microwave oven) باستخدام ثلاثة مستويات تجفيف (واطيء، وسط وعالي)، فضلاً عن استخدام طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي وعلى ثلاث درجات حرارية (٤٠، ٦٠، ٨٠ م) وطريقة التجفيف المشتركة باستخدام الموجات الدقيقة لمدة نصف ساعة لمستويات التجفيف الثلاثة (واطيء، وسط وعالي) ثم تكملة التجفيف بالفرن الكهربائي على ٨٠ م لغرض المقارنة ومعرفة تأثير طرق التجفيف على نسبة سرعة التجفيف، ونسبة المحتوى الرطوبي ونسبة الانكماش بالسمك والوزن النوعي. أظهرت النتائج تفوق طريقة استخدام التجفيف بالامواج الدقيقة في زيادة نسبة سرعة التجفيف الى ما يقارب الـ ٣٠ ضعف لكلا السمكين والنوعين من الخشب على طريقة استخدام التجفيف بالفرن الكهربائي أو طريقة التجفيف المشتركة. كما ان ألواح خشب الصنوبر تفوقت معنوياً على ألواح خشب اليوكالبتوس بما يقارب الضعف في نسبة سرعة التجفيف ولجميع الطرق المستخدمة. كما تبين ان طريقة التجفيف المشتركة اعطت اقل نسبة محتوى رطوبي نهائي (٣,٨١٣) تلتها طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة (١٠,١١٧) ثم طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي (١٧,٩٨١). وهذه النتائج انعكست على نسبة الانكماش بالسمك حيث اعطت طريقة التجفيف المشتركة أعلى نسبة انكماش بالسمك (٩,٨٢٨) تلتها طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة (٧,٥٦٥) ثم طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي (٤,٨٢٤). كما تفوق خشب اليوكالبتوس معنوياً بنسبة الانكماش بالسمك

تاريخ استلام البحث : ٢٠٠٤/٨/١٦

وبما يقارب ٣ أضعاف على خشب الصنوبر لكلا السمكين وفي جميع طرق التجفيف. ان زيادة درجات الحرارة أو شدة التعرض للموجات الدقيقة يزيد من نسبة سرعة التجفيف ونسبة الانكماش بالسمك ويقلل من نسبة المحتوى الرطوبي والوزن النوعي لجميع طرق التجفيف المستخدمة، علماً ان الزيادة في نسبة سرعة الإنكماش بزيادة شدة التعرض للموجات الدقيقة لم تكن معنوية لكلا السمكين في طريقة التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة. ويمكن الاستنتاج ان أفضل طريقة تجفيف هي التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة وان أفضل درجة حرارة هي ٦٠م عند استخدام التجفيف بالفرن الكهربائي وأفضل شدة تعرض للموجات الدقيقة هو المتوسط للحصول على أفضل نتائج للصفات المدروسة.

المقدمة

توجد عدة طرق لتجفيف الاخشاب، والطريقة المعروفة والأكثر استعمالاً هي طريقة التجفيف الهوائي أو التجفيف باستخدام الأفران المكيفة (Kiln drying) أو بالافران الكهربائية. ومن الطرق الحديثة التي بدأ استخدامها في الفترة الحالية هو التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة Microwave drying حيث يعرض الخشب الى مجال كهربائي ومغناطيسي وبترددات عالية جداً تؤدي الى زيادة حركة جزيئات الماء حركة كبيرة تؤدي الى ارتفاع درجة حرارتها وبالتالي تحولها الى بخار ماء (Hanson و Antti، ٢٠٠٣) علماً بان هذه الترددات تصل بسهولة الى أعماق المادة العضوية. وقد أوضحت Antti (١٩٩٩) ان تعريض خشب الصنوبر والـ spruce الى طاقة الامواج الدقيقة بترددات ٢,٤٥ كيكاهيرتز (GHz) يؤدي الى تجفيفها بمقدار ٢٠ – ٣٠ مرة أسرع من طريقة التجفيف الهوائي الاعتيادي ومن دون حصول عيوب للخشب المجفف. بعض انواع الاخشاب الصلدة قد تجف بنصف الوقت تقريباً الذي يستغرقه تجفيف الاخشاب الرخوة. كما اوضح Hanson و Antti (٢٠٠٣) بانه لم يلاحظ وجود فروقات معنوية في قوة الانحناء الاستاتي (MOR و MOE) بين طريقة التجفيف الهوائي الاعتيادي وطريقة التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة. ولاحظا ان الذي يؤثر على قوة الخشب هو المحتوى الرطوبي ووزن وكثافة الخشب فضلاً عن عرض وسمك اللوح الخشبي. وقد أوضحت احدى الدراسات (Freshscience 2004, Microwaved wood) في موقع لها على الانترنت بأن الموجات الدقيقة المكثفة تزيد من درجة حراة الماء في الأنسجة الخشبية فيتبخر ويولد ضغطاً كافياً لتحطيم جدران بعض الخلايا الخشبية مكوناً ثقوباً وفراغات صغيرة وهذه بدورها تسهل عملية خروج الرطوبة الى خارج

الخشب، فيصبح الخشب المجفف بالموجات الدقيقة ذو قابلية عالية لنفاذية السوائل. ولهذا يمكن معاملة الاخشاب المجففة بهذه الطريقة بالمواد الحافظة أو الأصماغ أو المواد الكيميائية بشكل أفضل من الأخشاب المجففة بالطرق الاعتيادية.

ان استخدام نظام التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة للأخشاب بمختلف انواعها ينتج أخشاباً مجففة بنوعية جيدة وبسرعة عالية مقارنةً مع التجفيف بالطرق القياسية. فقد تمكنت شركة (International Technology Information Center)، (Internet 2004a) في Belarus من تجفيف ٥٨٠ م^{٣} /سنة لقطع خشبية بحجم ١,٥ قدم^{٣} و ١٥٠٠ م^{٣} /سنة لقطع الخشب بحجم ٤ م^{٣} . وقد قل وقت التجفيف بنسبة ٣-٤ مرات مقارنةً مع التجفيف باستخدام نظام التجفيف الحراري العادي. ونتيجة للإتجاه الحديث للباحثين في معظم دول العالم حول اجراء التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة (Microwave) لما له من مزايا جيدة في زيادة سرعة التجفيف وتجانسه وانتاج الواح بنوعية جيدة فقد ارتأينا إجراء هذا البحث خاصة وانه يجرى لأول مرة في القطر لتجفيف نوعين من الاخشاب (صلدة ورخوة) باستخدام التجفيف بالموجات الدقيقة ومقارنته مع طرق التجفيف العادية (Conventional Methods) باستخدام طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي، فضلاً عن استخدام طريقة التجفيف المشتركة (Compound Methods) وهو التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة لفترة قصيرة ثم اكمال التجفيف في الفرن الكهربائي، ثم دراسة تأثير هذه الطرق على سرعة التجفيف والمحتوى الرطوبي النهائي ونسبة الانكماش بالسمك والوزن النوعي.

المواد وطرق العمل

تم قطع شجرتين في بداية تشرين الثاني ٢٠٠٣ من منطقة غابة الحدباء في محافظة نينوى: الاولى صنوبر زاويتة *Pinus brutia* Ten. بقطر ٢٨ سم وعمر ٢٥ سنة والثانية يوكالبتوس *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. بقطر ٣٠ سم وعمر ٢٨ سنة، ثم قطعت الى الواح بسمكين ١,٥ و ٣ سم وبعرض ١٤ سم وطول ٢٦ سم واستبعدت النماذج الحاوية على قلف ثم وضعت في أكياس نايلون لحين تجفيفها. تم قياس الوزن باستخدام ميزان متلر (Mittler) الكهربائي الحساس وكذلك السمك والطول والعرض لكل نموذج قبل التجفيف وبعده باستخدام جهاز الفيرنير (Vernier)، كما تم تجفيف أربعة نماذج بدرجة حرارة ١٠٥م في الفرن الكهربائي لكل من الصنوبر واليوكالبتوس لغرض معرفة معدل نسبة المحتوى الرطوبي للخشب بعد اسقاط الشجرتين.

طرق التجفيف :

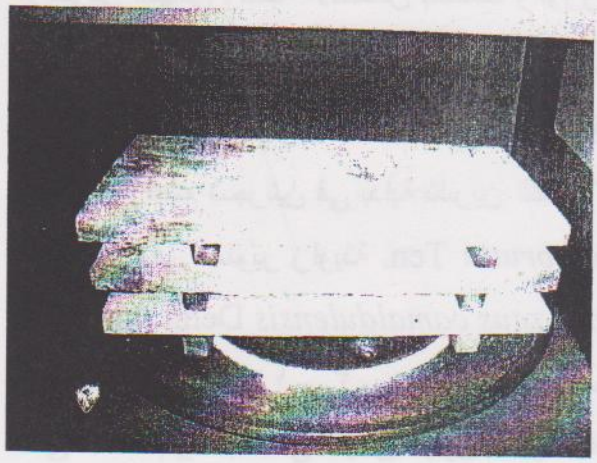
تم تجفيف النماذج الخشبية بثلاث طرق مختلفة :

١- التجفيف باستخدام الفرن الكهربائي : Electrical Heater Drying

تم وضع النماذج في الفرن الكهربائي نوع Memmert الألماني الصنع. واستخدمت ثلاث درجات حرارية مختلفة للتجفيف ٤٠، ٦٠، ٨٠ م حيث تم قياس الوزن للنماذج أثناء التجفيف الى حين توقف الفقدان بالوزن، وحسبت الفترة الزمنية للتجفيف لحين توقف الفقدان بالوزن ثم قيست أبعاد النماذج (الطول والعرض والسمك) واستخدمت هذه الطريقة للتجفيف لغرض المقارنة.

٢- التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة : Microwave Drying

تم وضع النماذج في فرن الموجات الدقيقة (Microwave oven) نوع (Haier) الاردني الصنع موديل HR-7755GT وبثلاثة نماذج (مكررات) لكل معاملة، حيث فصلت الألواح الخشبية عن بعضها بواسطة فواصل خشبية لتسهيل خروج الرطوبة اثناء التجفيف (شكل ١). ويحتوي الفرن على إناء زجاجي دوار لزيادة تجانس تعرض النماذج الى الموجات الدقيقة كما ويحتوي على مقياس لإختيار الترددات الخاصة بالتجفيف وهي تتراوح بين ترددات واطئة (تذويب الثلج) وترددات متوسطة وترددات عالية وترددات عالية جداً . وتم اختيار الثلاثة أنواع الاولى من الترددات (واطئة، متوسطة، وعالية) لغرض تجفيف النماذج الخشبية حيث تم قياس الوزن والوقت والابعاد كما في الطريقة السابقة.



شكل (١) فرن الموجات الدقيقة (Microwave) موضحاً موضع الألواح الخشبية والفواصل في الفرن فوق الإناء الزجاجي الدوار.

٣- طريقة التجفيف المشتركة : Compound Method

في هذه الطريقة تم وضع النماذج الخشبية في فرن الموجات الدقيقة لمدة نصف ساعة (باستخدام الثلاثة مستويات من الترددات المستعملة في طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة) ثم نقلت النماذج مباشرةً الى الفرن الكهربائي المسخن الى ٨٠ م ثم قياس وزن النماذج وزمن التجفيف الى حين استقراره ثم تسجيل أبعاد النماذج بعد التجفيف. ولغرض معرفة نسبة المحتوى الرطوبي النهائي للنماذج بعد التجفيف لطرق التجفيف آنفة الذكر، تم أعادة تجفيف جميع النماذج في الفرن الكهربائي على حرارة ١٠٥ م الى حين استقرار الوزن حيث استغرقت فترة التجفيف ٣٠ ساعة.

اجريت جميع الفحوصات حسب المواصفات الأمريكية ASTM D1037-78، واستخدم النظام الإحصائي (SAS، ١٩٩٧) للحصول على جداول تحليل التباين فضلاً عن إيجاد الفروقات المعنوية بين متوسطات المعاملات بطريقة دنكن (Duncan Multiple Range Test، ١٩٥٥) لكافة الصفات المدروسة. واستخدمت التجربة العاملية حسب التصميم العشوائي الكامل (CRD) لغرض التحليل الاحصائي (Snedecor و Cochran، ١٩٦٧). ان العوامل المدروسة تتمثل بـ (٣ طرق تجفيف، ٣ درجات حرارة، نوعين من الخشب) وباستخدام ٣ مكررات لكل معاملة تم تحضير ٥٤ لوح خشبي لكل سمك، ولم يدخل سمك اللوح كعامل وذلك لاختلاف فترة التجفيف.

النتائج والمناقشة

تأثير نوع الخشب والحرارة على نسبة سرعة التجفيف/دقيقة :

الجداول (١، ٢ و ٣) تظهر تأثير نوع الخشب على نسبة سرعة التجفيف/دقيقة، حيث إن الصنوبر قد تفوق معنوياً تحت مستوى احتمال ٠,٠١ في نسبة سرعة التجفيف في جميع طرق التجفيف ولكلا السمكين وبما يعادل ٢,٣٥ ضعف في طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي (جدول ٤) وبمقدار ٢,٢٣ ضعف في طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة وبمقدار ١,٩٤ ضعف في طريقة التجفيف المشتركة. وربما يعود السبب الى احتواء خشب الصنوبر على محتوى رطوبي أعلى (١١١,٤٨%) مما في اليوكالبتوس (٥٧,٧٤%) مما يزيد من نسبة الفقد الرطوبي وبالتالي يزيد من نسبة سرعة التجفيف. كما يلاحظ ان معدل نسبة سرعة التجفيف للسمك ١,٥سم هو أعلى مما في السمك ٣سم لجميع طرق التجفيف وقد يعود السبب الى سهولة وصول واختراق الحرارة والموجات الدقيقة للسمك ١,٥سم مقارنةً مع السمك ٣سم مما يزيد من نسبة سرعة التجفيف.

أما بالنسبة لتأثير درجات الحرارة على نسبة سرعة التجفيف فتظهر الجداول (١و٢) ان هناك فروقات معنوية تحت مستوى احتمال ٠,٠١ لطريقتي التجفيف بالفرن الكهربائي والموجات الدقيقة. جدول (٤) يوضح هذه الزيادة في نسبة سرعة التجفيف بزيادة درجة الحرارة أو بزيادة شدة التعرض للموجات الدقيقة لطريقتي التجفيف الآنفة الذكر ولكلا السمكين. وهذه النتائج جاءت مطابقة لما أوجده الملاح (٢٠٠٢) الذي اوضح ان زيادة درجة الحرارة (٨٠، ١٠٠، ١٢٠م) والضغط تزيد من نسبة سرعة التجفيف لسمكين (١ و ١,٥ إنج) من ألواح خشب اليوكالبتوس. ومن الجدير بالذكر ان الفروقات في نسبة سرعة التجفيف في طريقة التجفيف المشتركة لدرجات الحرارة الثلاث قليلة جداً وغير معنوية مقارنةً مع طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي. وقد يعود السبب الى تبخر جزيئات الماء الحرة الموجودة في الانسجة الخشبية عند تعرضها الى الموجات الدقيقة لمدة نصف ساعة بينما تبقى جزيئات الماء المرتبطة والتي لا تتبخر بسهولة وبذلك تقلل من تأثير ارتفاع درجات حرارة الفرن الكهربائي على سرعة تجفيفها.

تأثير طريقة التجفيف على نسبة سرعة التجفيف/دقيقة :

جدول (٤) يبين نسبة سرعة التجفيف/دقيقة لطرق التجفيف الثلاث لكلا السمكين والنوعين من الالواح الخشبية المستخدمة، حيث يظهر الجدول ان إستخدام طريقة الموجات الدقيقة Microwave Oven قد تفوق كثيراً في معدل نسبة سرعة التجفيف لكلا النوعين على طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي بمقدار ٣١,٢٥ ضعف للسمك ١,٥سم وبمقدار ٢٩,٨٢ ضعف للسمك ٣,٠سم، وعلى طريقة التجفيف المشتركة بمقدار ٢٥,٠٧ ضعف للسمك ١,٥سم وبمقدار ٢٧,٦٥ ضعف للسمك ٣سم. وهذا يؤكد تفوق الموجات الدقيقة في تجفيف الاخشاب بشكل افضل واسرع من الطرق التقليدية المستخدمة، وقد يعود السبب الى تأثير توغل الموجات الدقيقة الى اعماق الالواح الخشبية مما يزيد من سرعة تبخر الماء مقارنةً مع طرق التجفيف الأخرى. وهذا ما أكدته Antti (١٩٩٩) التي أوضحت ان تعريض خشب الصنوبر والـ Spruce الى طاقة الامواج الدقيقة يؤدي الى تجفيفها بمقدار ٢٠-٣٠ مرة اسرع من طرق التجفيف الإعتيادية ومن دون حصول أي ضرر للخشب المجفف. كما يظهر الجدول ان التجفيف باستخدام الطريقة المشتركة أعطت زيادة قليلة في نسبة سرعة التجفيف لكلا السمكين مقارنةً مع طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي وهي زيادة قليلة جداً يمكن إهمالها.

نسبة المحتوى الرطوبي النهائي :

يبين جدول تحليل التباين (١) انه عند استخدام طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي وجود فروقات معنوية لتأثير نوع الخشب تحت مستوى احتمال ٠,٠٥ ومستويات الحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠١ وتداخل نوع الخشب مع الحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠٥ على نسبة المحتوى الرطوبي النهائي للسمك ١,٥سم، بينما كان لدرجات الحرارة تأثير معنوي تحت مستوى احتمال ٠,٠١ وكذلك تداخل نوع الخشب مع الحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠٥ على المحتوى الرطوبي النهائي للسمك ٣سم. أما عند استخدام طريقة الموجات الدقيقة فان الجدول (٢) يوضح وجود فروقات معنوية لتأثير مستويات الحرارة وتداخل نوع الخشب مع الحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠١ على المحتوى الرطوبي النهائي للسمك ١,٥سم، وكذلك يوجد فروقات معنوية للحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠١ وللتداخل بين نوع الخشب مع الحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠٥ للسمك ٣سم. وعند استخدام طريقة التجفيف المشتركة فان جدول (٣) يوضح وجود فروقات معنوية لتأثير مستويات نوع الخشب والحرارة والتداخل بين نوع الخشب والحرارة على المحتوى الرطوبي النهائي تحت مستوى احتمال ٠,٠١ للسمك ١,٥سم. ويمكن ملاحظة متوسطات تأثير العوامل الآنفة الذكر على نسبة المحتوى الرطوبي النهائي لجميع طرق التجفيف ولكلا السمكين والنوعين من الألواح الخشبية في الجدول (٥). حيث يظهر الجدول ان الواح اليوكالبتوس سمك ١,٥سم في طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي والتجفيف بالطريقة المشتركة احتوت على نسبة محتوى رطوبي أعلى (١٩,٣٠٧ و ٦,١٤٩ على التوالي) مما في ألواح الصنوبر (١٦,٢٠٩ و ٣,٥٣٥ على التوالي). بينما لم يكن هناك فروقات معنوية بين متوسطات النوعين من الخشب ولكلا السمكين في طريقة التجفيف بالامواج الدقيقة. وقد يعود السبب الى ان استخدام الفرن الكهربائي في طريقتي التجفيف بالفرن الكهربائي والمشتركة يؤدي الى فقدان الرطوبة من على أسطح الالواح الخشبية أكثر مما في وسط الالواح ولكلا النوعين. وبما ان أنسجة وخلايا خشب اليوكالبتوس (الصلد) أكثر تنوعاً من خشب الصنوبر (الرخو) لهذا فان كمية الماء المرتبط في خشب اليوكالبتوس يكون اعلى مما في خشب الصنوبر مما يزيد من نسبة المحتوى الرطوبي النهائي له. اما في طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة فان الحرارة تصل الى أعماق الالواح ولكلا النوعين وبشكل متجانس مما يؤدي الى حصول فقد رطوبي لمعظم الرطوبة الموجودة في الانسجة الخشبية الصلدة أو الرخوة نتيجة لحدوث تشققات وفراغات دقيقة (micro-voids) في الخلايا الرقيقة الجدران خاصة خلايا الأشعة الخشبية التي بدورها تزيد من سرعة حركة بخار الماء وزيادة نسبة التجفيف (Internet communication 2004b)، حيث فقدت معظم الرطوبة لكلا

النوعين بعد اجراء التجفيف النهائي للنماذج في الفرن الكهربائي. وبهذا لم يلاحظ وجود فروقات في نسبة المحتوى الرطوبي النهائي بين كلا النوعين من الخشب. كذلك فان السمك ٣سم لم يعطي أي فروق معنوية بين نوعي الخشب في نسبة المحتوى الرطوبي النهائي لجميع طرق التجفيف. ولكن عند ملاحظة معدلات نوعي الخشب ولكلا السمكين فانه يظهر ان الواح الخشب المجففة بالفرن الكهربائي تحتوي على أعلى نسبة محتوى رطوبي (١٧,٩٨١) يليها طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة (١٠,١١٧) ثم طريقة التجفيف المشتركة (٣,٨١٣). أي ان طريقة التجفيف الأخيرة هي الأفضل لغرض الحصول على ألواح ذات محتوى رطوبي واطيء ولكلا السمكين والنوعين من الخشب. وقد يعود السبب الى تأثير استخدام الموجات الدقيقة لمدة نصف ساعة التي زادت من نسبة الفقد الرطوبي خاصة بعد وضعها في الفرن الكهربائي مما يقلل من نسبة المحتوى الرطوبي النهائي. أما تأثير درجات الحرارة على الألواح الخشبية المجففة فيظهر الجدول (٥) ان المحتوى الرطوبي النهائي يقل بشكل معنوي بزيادة درجات الحرارة أو بزيادة التعرض الى الموجات الدقيقة ولجميع طرق التجفيف إلا ان هذا النقصان لم يكن معنوياً في السمك ٣سم لطريقة التجفيف المشتركة والذي قد يعود السبب الى تأثير الموجات الدقيقة في تقليل تأثير مستويات درجات حرارة الفرن الكهربائي.

نسبة الانكماش بالسمك :

يظهر جدول تحليل التباين (١) انه عند استخدام طريقة الفرن الكهربائي للتجفيف هناك فروقات معنوية لتأثير نوع الخشب تحت مستوى احتمال ٠,٠١ ومستويات الحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠٥ على نسبة الانكماش بالسمك لكل من السمك ١,٥ و ٣سم، ولم يظهر وجود فروقات معنوية لتداخل نوع الخشب مع مستويات الحرارة لكلا السمكين. أما عند استخدام طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة (جدول ٢) فيظهر ان هناك فروقات معنوية لتأثير نوع الخشب تحت مستوى احتمال ٠,٠١ وتداخل نوع الخشب مع الحرارة عند مستوى احتمال ٠,٠٥ على نسبة الانكماش بالسمك للالواح سمك ١,٥سم، بينما لم تظهر مستويات الحرارة وجود فروقات معنوية فيما بينها. أما في الألواح سمك ٣سم فانه يوجد فروقات معنوية لتأثير نوع الخشب تحت مستوى احتمال ٠,٠١ على نسبة الانكماش بالسمك بينما لم تظهر فروقات معنوية لتأثير عامل الحرارة والتداخل بين نوع الخشب مع الحرارة على الصفة أعلاه. وعند استخدام طريقة التجفيف المشتركة (جدول ٣) فيظهر ان هناك تأثير معنوي لنوع الخشب ومستويات الحرارة تحت مستوى احتمال ٠,٠١ و ٠,٠٥ على التوالي على نسبة الانكماش بالسمك للألواح سمك ٠,٥سم، ولم يظهر تداخل نوع الخشب مع الحرارة وجود فروقات

معنوية. أما في الألواح سمك ٣سم فان الجدول يظهر وجود فروقات معنوية لتأثير نوع الخشب عند مستوى احتمال ٠,٠١ إلى نسبة الانكماش بالسمك بينما لم يظهر عامل الحرارة والتداخل بين نوع الخشب والحرارة أي تأثيرات معنوية على الصفة المذكورة أعلاه. ومن الجدول (٦) يمكن ملاحظة متوسطات تأثير العوامل أعلاه على نسبة الانكماش بالسمك لجميع طرق التجفيف ولكلا السمكين والنوعين من الألواح الخشبية، حيث يظهر تفوق ألواح خشب اليوكالبتوس في زيادة نسبة الانكماش بالسمك على ألواح خشب الصنوبر في جميع طرق التجفيف ولكلا السمكين. ففي طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي كان الانكماش لألواح خشب اليوكالبتوس سمك ١,٥سم بمقدار ٢,٢٩ ضعف الانكماش لألواح خشب الصنوبر وبمقدار ٢,٩٥ ضعف للالواح سمك ٣سم. أما عند استخدام طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة فكانت نسبة الانكماش بالسمك لألواح اليوكالبتوس بمقدار ٢,٩٦ ضعف الانكماش لألواح الصنوبر سمك ١,٥سم وبمقدار ٢,٨٥ ضعف للسمك ٣سم. وعند استخدام التجفيف المشترك فقد كانت نسبة الانكماش بالسمك لألواح خشب اليوكالبتوس سمك ١,٥سم بمقدار ٢,٥٦ ضعف الانكماش لألواح الصنوبر وبمقدار ٢,٦٩ ضعف للألواح سمك ٣سم. وقد يكون سبب زيادة نسبة الانكماش بالسمك لألواح خشب اليوكالبتوس مقارنةً مع ألواح الصنوبر هو تركيب أنسجة اليوكالبتوس الحاوية على انواع مختلفة من الخلايا ذات سمك جدران واحجام متفاوتة مثل الألياف والأوعية والخلايا البارنكيمية وغيرها بينما يتركب خشب الصنوبر من خلايا القصيبات التي تشكل أكثر من ٩٠% من نسبة الخلايا الكلية فيه. ومن ملاحظة معدل النوعين من الخشب يظهر ان نسبة الانكماش بالسمك في طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي للألواح سمك ١,٥سم (٦,٢٢٣ هي أعلى من نسبة الانكماش بالسمك للألواح سمك ٣سم (٣,٤٢٦)، وكذلك فان نسبة الانكماش بالسمك لطريقة التجفيف بالموجات الدقيقة للسمك ١,٥سم (٨,٣٨١) هي أعلى من نسبة الانكماش بالسمك للألواح سمك ٣سم (٦,٧٥٠). وقد يعود سبب ذلك الى سرعة توغل الحرارة الى العمق في الألواح سمك ١,٥سم مقارنةً مع الألواح سمك ٣سم مما يزيد من نسبة الفقد الرطوبي وبالتالي يزيد من نسبة الانكماش بالسمك. بينما لم يكن هناك فروقات كبيرة في نسبة الانكماش بالسمك لكلا السمكين في طريقة التجفيف المشتركة. ومن ملاحظة معدلات الانكماش بالسمك لكلا السمكين وكلا النوعين فان طريقة التجفيف المشتركة أعطت أعلى نسبة انكماش بالسمك (٩,٨٢٨) تلتها طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة (٧,٥٦٥) ثم طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي (٤,٨٢٤). أما تأثير درجات الحرارة على متوسطات الانكماش بالسمك فيظهر جدول (٦) ان هناك زيادة معنوية في نسبة الانكماش بالسمك مع زيادة درجات الحرارة في طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي ولكلا السمكين، بينما لم تظهر

مستويات التعرض الى الموجات الدقيقة اي فروقات معنوية على نسبة الانكماش بالسمك في طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة. أما عند استخدام طريقة التجفيف المشتركة فقد أظهر السمك ١,٥سم وجود زيادة معنوية في نسبة الانكماش بالسمك بزيادة درجات الحرارة. وقد أوجد الملاح (٢٠٠١) ان هناك زيادة معنوية بنسبة الانكماش بالسمك والعرض بزيادة درجة الحرارة والضغط على ألواح خشب اليوكالبتوس سمك ١ و ١,٥ إنج. وقد يعود سبب عدم وجود فروقات معنوية للإنكماش بالسمك عند استخدام طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة الى توغل هذه الموجات الدقيقة الى أعماق الأنسجة الخشبية وبشكل متساو (تقريباً) مما يؤدي الى حدوث نفس الفقد الرطوبي وبالتالي حدوث نفس الانكماش عبر سمك اللوح الى حين انتهاء التجفيف. أما سبب وجود زيادة في نسبة الانكماش بالسمك بزيادة درجات الحرارة بطريقة التجفيف بالفرن الكهربائي فقد يعود الى تعرض سطوح الألواح الخشبية الى الحرارة الواطئة التي لا تصل الى العمق حيث ان الخشب مادة عازلة للحرارة مما يؤدي الى حدوث انكماش قليل وعند زيادة درجات الحرارة فان الحرارة سوف تتوغل أكثر قليلاً مما في الحرارة السابقة مما يزيد من نسبة الفقد الرطوبي وبالتالي زيادة نسبة الانكماش بالسمك. أما سبب وجود زيادة معنوية في نسبة الانكماش بالسمك بزيادة درجات الحرارة للألواح سمك ١,٥سم في طريقة التجفيف المشتركة فقد يعود الى تأثر هذا السمك بالحرارة الناتجة من الموجات الدقيقة نتيجة توغلها بسرعة الى العمق ثم زيادة نسبة الفقد الرطوبي عند تكملة التجفيف بالفرن الكهربائي وبالتالي زيادة نسبة الانكماش بالسمك مقارنةً مع الألواح سمك ٣سم التي لم تتأثر كثيراً بنسبة الفقد الرطوبي بزيادة درجات الحرارة في الفرن الكهربائي.

الوزن النوعي :

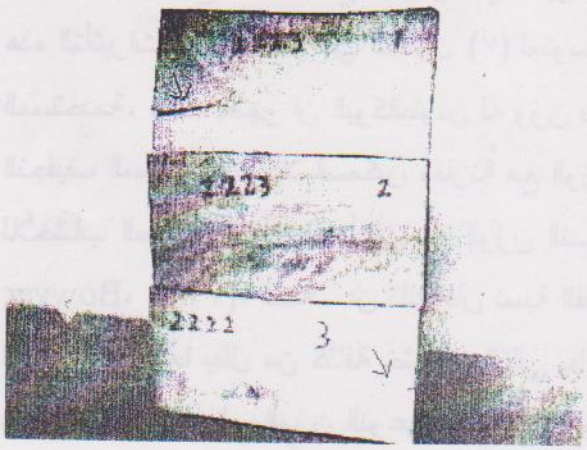
يوضح الجدول (١) وجود فروقات معنوية لتأثير نوع الخشب تحت مستوى احتمال ٠,٠١ على الوزن النوعي عند استخدام طريقة لتجفيف بالفرن الكهربائي وللسمك ١,٥سم. بينما لم يظهر عامل الحرارة أو التداخل بين نوع الخشب مع الحرارة أي تأثير معنوي على الوزن النوعي. أما الألواح الخشبية سمك ٣سم فان الجدول يوضح وجود فروقات معنوية لتأثير عاملي نوع الخشب والحرارة على الوزن النوعي عند مستوى احتمال ٠,٠١ ولتداخل نوع الخشب مع الحرارة عند مستوى احتمال ٠,٠٥. أما عند استخدام طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة فان الجدول (٢) يوضح وجود فروقات معنوية لتأثير العوامل: نوع الخشب والحرارة والتداخل بين نوع الخشب مع الحرارة على الوزن النوعي تحت مستوى احتمال ٠,٠١ للألواح سمك ١,٥سم. أما الألواح سمك ٣سم فيوجد ايضاً فروقات معنوية لتأثير عاملي

نوع الخشب والحرارة على الوزن النوعي تحت مستوى احتمال ٠,٠١، بينما كان التأثير معنوي عند مستوى احتمال ٠,٠٥ للتداخل بين نوع الخشب مع الحرارة. وعند استخدام طريقة التجفيف المشتركة فان الجدول (٣) يظهر وجود فروقات معنوية لتأثير عامل نوع الخشب تحت مستوى احتمال ٠,٠١ على الوزن النوعي وعند مستوى احتمال ٠,٠٥ لتأثير عامل الحرارة للسمك ١,٥سم، بينما لم يظهر التداخل بين نوع الخشب مع الحرارة أي تأثير معنوي على الوزن النوعي. أما الألواح بسمك ٣سم فان الجدول يوضح وجود فروقات معنوية لتأثير نوع الخشب تحت مستوى احتمال ٠,٠١ على الوزن النوعي بينما لم يظهر عامل الحرارة والتداخل بين نوع الخشب مع الحرارة أي تأثير معنوي على الوزن النوعي. ويمكن ملاحظة هذه التأثيرات الآنفة الذكر في الجدول (٧) لمتوسطات الوزن النوعي لطرق التجفيف المستخدمة، حيث يظهر ان اليوكالبتوس له وزن نوعي عالي بعد التجفيف لكافة طرق التجفيف المستخدمة ولكلا السمكين مقارنةً مع الوزن النوعي للصنوبر حيث ان الوزن النوعي للأخشاب الصلدة يكون عادةً أعلى من الوزن النوعي للأخشاب الرخوة (Haygreen و Bowyer، ١٩٨٢)، فضلاً عن ذلك فان نسبة الفقد الرطوبي للصنوبر هو أعلى مما حصل لليوكالبتوس مما يقلل من كثافة خشبه وبالتالي يقلل من وزنه النوعي. أما تأثير مستويات درجات الحرارة على الوزن النوعي فيظهر ان الوزن النوعي يقل بزيادة درجات الحرارة لجميع طرق التجفيف ولكلا السمكين خاصة في طريقة التجفيف باستخدام الموجات الدقيقة الذي أظهر معنوية عالية بنقصان الوزن النوعي بزيادة شدة التعرض الى الموجات الدقيقة. وقد يعود السبب الى زيادة نسبة الفقد الرطوبي بشكل معنوي بطريقة التجفيف بالموجات الدقيقة بزيادة شدة التعرض للموجات مما يقلل من الوزن النوعي للألواح الخشبية. بينما لم تكن الفروقات معنوية في طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي للسمك ١,٥سم وبطريقة التجفيف المشتركة للسمك ٣سم.

عيوب الأخشاب المجففة :

أظهرت النتائج ان طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة هي الأفضل في تقليل نسبة العيوب الناتجة بعد التجفيف مثل التشققات (Fractures) أو التقوسات (Cupping) مقارنةً مع طريقتي التجفيف الأخريتين (شكل ٢). وهذه النتائج جاءت مطابقة للدراسة المنشورة في احدى صفحات الانترنت (Drying and Stress Relaxation 2004) التي اوضحت ان استخدام الموجات الدقيقة بكثافة عالية لتجفيف نماذج لأعمدة خشب الـ Yellow stringybark وخشب اليوكالبتوس *Eucalyptus obliqua* أدى الى تكون فراغات دقيقة في

الانسجة الخشبية التي زادت من نفاذية الخشب وسهولة خروج بخار الماء مقارنةً مع معاملة المقارنة (control) التي أظهرت وجود تشققات واضحة في الخشب المجفف. ان طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي أعطت أعلى نسبة تشققات أو تقوسات خاصةً لخشب اليوكالبتوس وللدرجات الحرارية العالية، تليها طريقة التجفيف المشتركة حيث أعطت أقل نسبة عيوب من طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي. علماً ان ألواح خشب الصنوبر كانت الافضل في عدم ظهور عيوب التجفيف مقارنةً مع ألواح خشب اليوكالبتوس في جميع طرق التجفيف ولكلا السمكين.



شكل (٢) تأثير طريقة التجفيف على التشقق لألواح خشب اليوكالبتوس. الرقم (1) طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي (٦٠°م)، الرقم (2) طريقة التجفيف بالموجات الدقيقة (شدة التعرض متوسطة)، الرقم (3) طريقة التجفيف المشتركة (٦٠°م).

الاستنتاجات :

يمكن الاستنتاج ان استخدام طريقة تجفيف الألواح الخشبية باستخدام الموجات الدقيقة و بمستويات تعريض مناسبة للأخشاب الرخوة أو الصلدة سوف يزيد من سرعة التجفيف بما يقارب الـ ٣٠ ضعف مقارنةً مع التجفيف بالفرن الكهربائي أو طريقة التجفيف المشتركة. كما ان استخدام التجفيف بالموجات الدقيقة يعطي نتائج جيدة في نسبة المحتوى الرطوبي النهائي ونسبة الانكماش بالسمك والوزن النوعي مقارنةً مع طرق التجفيف التقليدية. ان استخدام طريقة التجفيف المشتركة تعطي نتائج أفضل في نسبة سرعة التجفيف والمحتوى الرطوبي النهائي والوزن النوعي مقارنةً مع طريقة التجفيف بالفرن الكهربائي. ان زيادة درجات الحرارة أو شدة التعرض للموجات الدقيقة يزيد من نسبة سرعة التجفيف ويقلل من نسبة المحتوى الرطوبي النهائي ويزيد من نسبة الانكماش بالسمك ويقلل من الوزن النوعي لجميع طرق التجفيف المستخدمة، وان أفضل درجة حرارة هي ٦٠°م عند استخدام التجفيف بالفرن الكهربائي وأفضل شدة تعرض للموجات الدقيقة هو المتوسط للحصول على أفضل نتائج للصفات المدروسة. ومن الجدير بالذكر ان زيادة تعرض الألواح الخشبية الى الموجات الدقيقة بطريقة التجفيف بالموجات الدقيقة لم يؤثر معنوياً على نسبة الانكماش بالسمك.

جدول (١) تحليل التباين لمتوسطات مربعات العوامل المدروسة للصفات الفيزيائية للنمـــاذج الخشبية المجففة بالفرن الكهربائي.

العوامل المدروسة	درجات الحرية	المحتوى الرطوبي النهائي (%)	سرعة التجفيف /دقيقة (%)	الانكماش بالسمك (%)	الوزن النوعي بعد التجفيف
سمك ١,٥سم					
نوع الخشب	١	٤٣,١٨٣ *	٧,٣٦٣ **	١٠٧,١٦٩ **	٠,٤٩٠ **
الحرارة	٢	٥٦٩,٢٩ **	١٣,٢٤٣ **	١٩,٠٧١ *	٠,٠٠١ غ.م
نوع الخشب×الحرارة	٢	٧٩,٢٨٨ *	١,٧٧٧ *	٢,٥١٩ غ.م	٠,٠٠٣ غ.م
الخطأ التجريبي	١٢	٧٣,٥٠٤	٣,٢٩٨	٣٦,٥٤٩	٠,٠١٨
سمك ٣سم					
نوع الخشب	١	٢٨,٧٧٥ غ.م	٣,١٤٨ **	٥١,٧٦٤ **	٠,٤٢٦ **
الحرارة	٢	٤٤١,٨٠٥ **	١,٧١٩ **	١٢,٩٨٦ *	٠,٠١٢ غ.م **
نوع الخشب×الحرارة	٢	٨٥,٥٩٣ *	١٢٦,٢٣٢ غ.م	٤,٦٢٢ غ.م	٠,٠٠٤ *
الخطأ التجريبي	١٢	١٢٣,٤٦٦	٠,٢٩٣ غ.م	٢٣,٦٩٨	٠,٠٠٧

** معنوي تحت مستوى احتمال ١%، *: معنوي عند مستوى احتمـــال ٥%، غ. م: غيـــر معنوي

جدول (٢) تحليل التباين لمتوسطات مربعات العوامل المدروسة للصفات الفيزيائية للنمـــاذج الخشبية المجففة بالموجات الدقيقة (Microwave).

العوامل المدروسة	درجات الحرية	المحتوى الرطوبي النهائي (%)	سرعة التجفيف /دقيقة (%)	الانكماش بالسمك (%)	الوزن النوعي بعد التجفيف
سمك ١,٥سم					
نوع الخشب	١	٤,٩٨٠ غ.م	٢٩٥٤,٩٢ **	٣٠٩,٨٦٩ **	٠,٣٧١ **
الحرارة	٢	١٢٧٦,٩٠٤ **	٦٦٥١,٢٦٢ **	٠,٨١١٥٥ غ.م	٠,٠٥٦ **
نوع الخشب×الحرارة	٢	٩٩٧,٤٢٨ **	١٤٨٩,٦٧٧ **	٥٤,٢٨٨ *	٠,٠٠٨ **
الخطأ التجريبي	١٢	١١٦,١٣٤	٣٠٩,٢٩٢	٤٨,٨٧٦	٠,٠٠٧
سمك ٣سم					
نوع الخشب	١	٥٣,٤١٢ غ.م	٥٧٢٩,٠٨٥ **	١٩٠,٤٦٧ **	٠,٣٥٨ **
الحرارة	٢	١٧٧٧,٩٨١ **	٧٣٥٩,٨٢٣ **	٦٧,٥٤٩ غ.م	٠,٠٧٥ **
نوع الخشب×الحرارة	٢	١٢٥,٧٠٣ *	٣٦٥٦,٧١١ **	٣,٨٢٢ غ.م	٠,٠٠٦ *
الخطأ التجريبي	١٢	٣٥١,٩٨٢	١٠٩٤,٢٧٨	٢٤٤,١٩٢	٠,٠١٠

** معنوي تحت مستوى احتمال ١%، *: معنوي عند مستوى احتمـــال ٥%، غ. م: غيـــر معنوي

جدول (٣) تحليل التباين لمتوسطات مربعات العوامل المدروسة للصفات الفيزيائية للنماذج الخشبية المجففة بطريقة التجفيف المشتركة.

العوامل المدروسة	درجات الحرية	المحتوى الرطوبي النهائي (%)	سرعة التجفيف /دقيقة (%)	الانكماش بالسمك (%)	الوزن النوعي بعد التجفيف
سمك ١,٥سم					
نوع الخشب	١	٣٠,٧٧١ **	٥,٩٠٤ **	٢٨٩,٩٢٣ **	٠,٠٥٥ **
الحرارة	٢	١٢,٢٠٤ **	٠,٠٩٤ غ.م	٢٠,١٣٨ *	٠,٠٠٥ *
نوع الخشب×الحرارة	٢	١٠,٣٣٧ **	٠,٦٣٠ غ.م	٣,٤٩٣ غ.م	٠,٠٠١ غ.م
الخطأ التجريبي	١٢	٧,٣٧٩	٣,٤٨٢	٣٢,٩٨٣	٠,٠٠٧
سمك ٣سم					
نوع الخشب	١	٠,١١٧ غ.م	٢,٠٤٤ **	٤١٨,٤٥٤ **	٠,٥٤٩ **
الحرارة	٢	٠,٢٨٨ غ.م	٠,٠٣١ غ.م	٧,٤٦٦ غ.م	٠,٠٠١ غ.م
نوع الخشب×الحرارة	٢	٠,٨٠٥ غ.م	٠,٠١٢ غ.م	١٠,٥٣١ غ.م	٠,٠٠٠٧ غ.م
الخطأ التجريبي	١٢	٢,٥٧٣	٠,٦٣٦	٦٧,٩٢٩	٠,٠١٤

**: معنوي تحت مستوى احتمال ١%، *: معنوي عند مستوى احتمال ٥%، غ. م: غير معنوي

جدول (٤) متوسطات نسبة سرعة التجفيف/دقيقة للطرق المستخدمة في التجفيف ولكلا السمكين والنوعين من الألواح الخشبية

المعاملات			طريقة التجفيف					
			فرن كهربائي		الموجات الدقيقة		التجفيف المشتركة	
			١,٥سم	٣سم	١,٥سم	٣سم	١,٥سم	٣سم
نوع الخشب	صنوبر		٢,٢٥ آ	١,٤٤ آ	٦٢,٨٢ آ	٤٨,٢٦ آ	٢,٣٠ آ	١,٤٤ آ
	يوكالبتوس		٠,٩٧ ب	٠,٦٠ ب	٣٧,١٩ ب	١٢,٥٨ ب	١,١٥ ب	٠,٧٧ب
المعدل			١,٦١	١,٠٢	٥٠,٠٠	٣٠,٤٢	١,٧٢	١,١٠
درجات الحرارة (م) - شدة التعرض للموجات الدقيقة	٤٠	واطيء	٠,٦٦ ج	٠,٦٥ ب	٢٣,٦٠ ج	١١,٠٢ ب	١,٨١ آ	١,٠٥ آ
	٦٠	متوسط	١,٤٤ ب	١,٠٠ آب	٥٧,٦١ ب	٢١,٩٢ ب	١,٧٤ آ	١,١٣ آ
	٨٠	عالي	٢,٧٤ آ	١,٤١ آ	٦٨,٨١ آ	٥٨,٣٢ آ	١,٦٣ آ	١,١٤ آ
المعدل			١,٦١	١,٠٢	٥٠,٠٠	٣٠,٤٢	١,٧٢	١,١٠

الأحرف المتشابهة تعني عدم وجود فروقات معنوية للعمود الواحد تحت مستوى احتمال ٠,٠٥

جدول (٥) متوسطات نسبة المحتوى الرطوبي النهائي للطرق المستخدمة في التجفيف ولكلا السمكين والنوعين من الألواح الخشبية

المعاملات			طريقة التجفيف					
			فرن كهربائي		الموجات الدقيقة		التجفيف المشتركة	
			١,٥سم	٣سم	١,٥سم.	٣سم	١,٥سم	٣سم
نوع الخشب	صنوبر		١٦,٢٠٩ ب	١٩,٤٧٠ آ	١١,١٤٢ آ	٧,٨٩٦ آ	٣,٥٣٥ ب	٢,٧٠٤ آ
	يوكالبتوس		١٩,٣٠٧ أ	١٦,٩٤١ أ	١٠,٠٩٠ أ	١١,٣٤١ أ	٦,١٤٩ آ	٢,٨٦٥ آ
المعدل			١٧,٧٥٨	١٨,٢٠٥	١٠,٦١٦	٩,٦١٨	٤,٨٤٢	٢,٧٨٤
درجات الحرارة (م) - شدة التعرض للموجات الدقيقة	٤٠	واطيء	٢٥,١٨٧آ	٢٢,٥٥٣ آ	٢١,٩٤٧ آ	٢٣,٤٢٥ آ	٥,٩٧٣ آ	٢,٩٣١ آ
	٦٠	متوسط	١٦,٥٠٣ ب	٢٠,٧٩١ أ	٨,١٢٩ ب	٤,٩٩٣ ب	٤,٥١٦ ب	٢,٨٠٠ آ
	٨٠	عالي	١١,٥٨٤ ج	١١,٢٧٣ ب	١,٧٧ ج	٠,٤٣٧ ب	٤,٠٣٧ ب	٢,٦٢٢ آ
المعدل			١٧,٧٥٨	١٨,٢٠٥	١٠,٦١٦	٩,٦١٨	٤,٨٤٢	٢,٧٨٤

الأحرف المتشابهة تعني عدم وجود فروقات معنوية للعمود الواحد تحت مستوى احتمال ٠,٠٥

جدول (٦) متوسطات نسبة الانكماش بالسمك للطرق المستخدمة في التجفيف ولكلا السمكين والنوعين من الألواح الخشبية

المعاملات			طريقة التجفيف					
			فرن كهربائي		الموجات الدقيقة		التجفيف المشتركة	
			١,٥سم	٣سم	١,٥سم	٣سم	١,٥سم	٣سم
نوع الخشب	صنوبر		٣,٧٨٣ب	١,٧٣١ب	٤,٢٣٢ب	٣,٤٩٨ب	٥,١١٩ب	٥,٧٠٤ب
	يوكالبتوس		٨,٦٦٣ آ	٥,١٢٢ آ	١٢,٥٣١آ	١٠,٠٠٣آ	١٣,١٤٥آ	١٥,٣٤٧آ
المعدل			٦,٢٢٣	٣,٤٢٦	٨,٣٨١	٦,٧٥٠	٩,١٣٢	١٠,٥٢٥
درجات الحرارة (م) - شدة التعرض للموجات الدقيقة	٤٠	واطيء	٤,٨١٧ب	٢,٢٣٧ب	٨,٢٠٦ آ	٤,٠١٤ آ	٧,٨٣٩ب	٩,٦٤٧ آ
	٦٠	متوسط	٦,٦٠٠آب	٣,٨٧١آب	٨,٢٥٩ آ	٨,٠٠٧ آ	٩,١٢٦آب	١٠,٧٥٧آ
	٨٠	عالي	٧,٢٥٢ آ	٤,١٧٠ آ	٨,٦٨٠ آ	٨,٢٣٠ آ	١٠,٤٣١آ	١١,١٧٣آ
المعدل			٦,٢٢٣	٣,٤٢٦	٨,٣٨١	٦,٧٥٠	٩,١٣٢	١٠,٥٢٥

الأحرف المتشابهة تعني عدم وجود فروقات معنوية للعمود الواحد تحت مستوى احتمال ٠,٠٥

جدول (٧) متوسطات الوزن النوعي للطرق المستخدمة في التجفيف ولكلا السمكين والنوعين من الألواح الخشبية

المعاملات			طريقة التجفيف					
			فرن كهربائي		الموجات الدقيقة		التجفيف المشتركة	
			١,٥سم	٣سم	١,٥سم	٣سم	١,٥سم	٣سم
نوع الخشب	صنوبر		٠,٥٨٧ب	٠,٦٠٠ب	٠,٥٧٤ب	٠,٥٦٠ب	٠,٥٤٣ب	٠,٥٣٧ب
	يوكالبتوس		٠,٩١٧ آ	٠,٩٠٨ آ	٠,٨٦١ آ	٠,٨٤٤ آ	٠,٨٩٤ آ	٠,٨٨٧ آ
المعدل			٠,٧٥٢	٠,٧٥٤	٠,٧١٧	٠,٧٠٣	٠,٧١٨	٠,٧١٢
درجات الحرارة (م) - شدة التعرض للموجات الدقيقة	٤٠	واطيء	٠,٧٦١ آ	٠,٧٨٨ آ	٠,٧٩٢ آ	٠,٧٩٢ آ	٠,٧٤٢ آ	٠,٧٢٠ آ
	٦٠	متوسط	٠,٧٥٣ آ	٠,٧٥٠ب	٠,٧٠٤ب	٠,٦٨٠ آ	٠,٧١١آب	٠,٧١٥ آ
	٨٠	عالي	٠,٧٤٢ آ	٠,٧٢٤ب	٠,٦٥٧ج	٠,٦٣٨ ج	٠,٧٠٢ب	٠,٧٠٢ آ
المعدل			٠,٧٥٢	٠,٧٥٤	٠,٧١٧	٠,٧٠٣	٠,٧١٨	٠,٧١٢

الأحرف المتشابهة تعني عدم وجود فروقات معنوية للعمود الواحد تحت مستوى احتمال ٠,٠٥

المصادر

الملاح، عبدالرزاق رؤوف ووليد عبودي قصير (٢٠٠١). تأثير الضغط والحرارة على نسبة الفقد الرطوبي والإنكماش أثناء تجفيف خشب اليوكالبتوس. مجلة جامعة تكريت للعلوم الزراعية. المجلد (١) العدد (٦). جامعة تكريت. العراق.

الملاح، عبدالرزاق رؤوف (٢٠٠٢). تأثير مستويات مختلفة من الضغط والحرارة وفترات التجفيف على نسبة سرعة التجفيف والانكماش أثناء تجفيف خشب اليوكالبتوس. مجلة التقني للبحوث الزراعية. هيئة التعليم التقني. بغداد.

American Society for Testing and Materials (1978). Standard methods of evaluation the properties of wood-base fiber and panel materials. D 1037-78.

Anti, A. L. (1999). Heating and drying wood using microwave power. Ph.D Thesis. Vol. 35. Lulea University of Technology, Division of wood physics, Skelleftea.

Duncan D. B. (1955). Multiple range and Multiple F-tests. Biometrics 11: 1-42.

Drying and Stress Relaxation (2004). Microwave Pre-Treatment for Rapid Hardwood Timber Drying and Stress Relaxation. Internet, 2 pages.

Hansson, L. and Antti A. L. (2003). The effect of microwave drying on Norway spruce woods strength: a comparison with conventional drying. Journal of Materials processing Technology. Elsevier Science B.V.

Haygreen, J. G. and J. L. Bowyer (1982). Forest products and wood science. The Iowa state university press/Ames, USA. 495 pp.

Internet communication (2004a). Inter Tech: International Technology Information Center. Information sources, catalogue of Innovation projects and developments in Belarus. Chapter VII. Architecture, Buildings, wood processing industry. VII 54 Microwave systems.

Internet communication (2004b). Microwave Modification of Wood Permeability, Research. 2 pages.

SAS. (1996). Statistical Analysis System. SAS Institute In. Release 6.12 TS020, North Carolina State University. Cary Nc. 27511, USA.

Snedecore, G. W. and W. G. Cochran (1967). Statistical methods. The Iowa State University press, Ames, Iowa. 593 pp.

Drying and Stress Relaxation (2004). Microwave Pre-Treatment for Rapid Hardwood Timber Drying and Stress Relaxation. Internet, 2 pages.

Hansson, L. and Antti A. L. (2003). The effect of microwave drying on Norway spruce woods strength: a comparison with conventional drying. Journal of Materials processing Technology. Elsevier Science B.V.

Haygreen, J. G. and J. L. Bowyer (1982). Forest products and wood science. The Iowa state university press/Ames, USA. 495 pp.

Internet communication (2004a). Inter Tech: International Technology Information Center. Information sources, catalogue of Innovation projects and developments in Belarus. Chapter VII. Architecture, Buildings, wood processing industry. VII 54 Microwave systems.

Internet communication (2004b). Microwave Modification of Wood Permeability, Research. 2 pages.

SAS. (1996). Statistical Analysis System. SAS Institute In. Release 6.12 TS020, North Carolina State University. Cary Nc. 27511, USA.

Snedecore, G. W. and W. G. Cochran (1967). Statistical methods. The Iowa State University press, Ames, Iowa. 593 pp.

EFFECT OF MICROWAVE DRYING ON DRYING SPEED, MOISTURE CONTENT PERCENT, THICKNESS SHRINKAGE PERCENT AND SPECIFIC GRAVITY OF TWO WOOD KINDS.

Abdul-Razak R. Almalah
College of Agriculture and Forestry
Mosul University

Azam A. Esmail
Technical College
Mosul University

ABSTRACT

Two thickness wood boards (1.5 and 3cm) have been made from stems of *Pinus brutia* Ten. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. from Ninava forest plantation. Samples were dried by using microwave oven with three microwave intensity: low, medium and high. Also, electrical oven was used with three levels of temperature (40, 60 and 80 C). In addition, a compound drying method was used by drying wood boards with microwave for 30 minutes using three microwave intensity (low, medium and high) then transferred directly to the electrical oven to be dried at 80 C to find the effect of the drying methods on drying speed percent, final moisture content, thickness shrinkage percent and specific gravity. The results indicated that drying wood boards by microwave oven increase drying speed percent to about 30 times compared with drying by electrical oven method or compound method for both board thicknesses. Also, pines wood boards was significantly better than eucalypt wood boards in increasing drying speed percent to about twice times for all drying methods. Drying by compound method gave the lowest final moisture content percent (3.813), followed by microwave drying method (10.117) then electrical oven method (17.981). These results reflected thickness shrinkage by which the compound method drying gave the highest percent (9.828), followed by microwave drying (7.565) then electrical drying (4.824). Also, eucalyptus gave significantly the highest thickness shrinkage percent for about 3 times compared with pine wood boards for both board thickness and all drying methods. The increasing temperature or microwave intensity increases drying speed percent and thickness shrinkage percent and decrease final moisture content and specific gravity for all drying methods. However, the increasing thickness shrinkage percent by increasing microwave intensity was not significant for both board thicknesses when using microwave drying method. We conclude that microwave drying method is the best for drying wood boards, and the best temperature is 60 C when using electrical oven and the best microwave intensity is the medium in order to obtain best results for the studied characteristics.