المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم العالي

جامعة الملك سعود

عمادة البحث العلمي

مركز بحوث كلية علوم الأغذية والزراعة

تأثير أربع نظم تخزين على الخواص الطبيعية والميكانيكية لتمور الخلاص

عبدالله بن محمد الحمدان و إبراهيم بن محمد الهلال

(1429هـ / 2008م)

جامعة الملك سعود , إدارة النشر العلمي والمطابع 1429هـ
فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

عبدالله بن محمد الحمدان
تأثير أربع نظم تخزين على الخواص الطبيعية والميكانيكية لتمور الخلاص ...../
عبدالله بن محمد الحمدان و إبراهيم بن محمد الهلال – الرياض، 1429هـ

.. ص ، .. سم

ردمك :

ديوي

رقم الايداع:
ردمك:

بحث رقم (165)، مركز بحوث كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، ص (5-35) 1429هـ

تأثير أربع نظم تخزين على الخواص الطبيعية والميكانيكية لتمور الخلاص

عبدالله بن محمد الحمدان و إبراهيم بن محمد الهلال

الملخص: تم دراسة تأثير أربع نظم تخزين على الخواص الطبيعية والميكانيكية للتمور (صنف خلاص) خلال ستة أشهر من التخزين. المخزن الأول تم تبريده ميكانيكياً بالفريون حيث يتم التحكم بدرجة الحرارة، والثاني بالتبريد التبخيري الآلي بتغير معدل التهوية وإضافة الماء حسب درجة الحرارة والرطوبة النسبية، والثالث بالتبريد التبخيري بنظام تحكم شبه آلي (تشغيل-توقف On-off) بمعدل تهوية وإضافة ماء ثابت بالتحكم بدرجة الحرارة. أما المخزن الرابع فبدون تبريد عبر وجود فتحات تهوية طبيعية. شملت الخواص الطبيعية الابتدائية كل من الأبعاد والوزن والحجم والكثافة. وتم قياس المحتوى الرطوبي والنشاط المائي والكتلة للثمار طوال فترة التخزين. تم كذلك قياس الخواص الميكانيكية للتمور باختباري الكبس والاختراق باستخدام جهاز التحليل القطاعي للقوام بمكبس قرصي وإبرة لعينات التمور كاملة النضج (متضمنة النواة).

أوضحت النتائج زيادة كتلة الثمار بدرجة ملحوظة تحت ظروف التخزين المبرد بسبب المستويات العالية للرطوبة النسبية في تلك المخازن. إلا انه في مخزن التهوية الطبيعية فقدت التمور جزءاً كبيراً من وزنها كنتيجة مباشرة لانخفاض الرطوبة النسبية للجو المحيط. كما لوحظ أيضاً زيادة المحتوى الرطوبي والنشاط المائي للعينات في المخازن المبردة عكس ذلك في التهوية الطبيعية. انخفضت المقاومة الميكانيكية لكبس الثمار عند تبريدها في غرف التخزين بالفريون وتلك بالتبريد التبخيري شبه الآلي والتبخيري الآلي. فقد أنخفضت قساوة كبس الثمرة من 87.54 ن.مم للتمور الطازجة (قبل التخزين) إلى 12.09 ن.مم للفريون، 17.66 ن.مم للتبريد التبخيري الآلي، وإلى 20.43 ن.مم للتبريد التبخيري شبه الآلي وذلك بعد ستة أشهر من التخزين. ولكن عند تخزين التمور بالتهوية الطبيعية فقد زادت قيم المقاومة الميكانيكية للتمور بحوالي ثلاثة أضعاف حيث ارتفعت قيم القساوة من 87.54 ن.مم للطازجة إلى 241.17 ن.مم خلال نفس فترة التخزين. وهذا يرجع إلى انخفاض الرطوبة النسبية في المخزن الرابع ذو التهوية الطبيعية وتأثير ذلك على جفاف وقساوة الثمار المخزنة. كما أن الشغل اللازم لاختراق الثمرة في مخزن التهوية الطبيعية تضاعف بحوالي 20 مرة عن تلك المخزنة بالفريون. وكانت نتائج اختبارات الاختراق مشابهة إلى حد كبير لتلك باختبارات الكبس. ولوحظ أن التمور المخزنة بالفريون بدأ ينمو عليها العفن والفطر ربما نتيجة للرطوبة النسبية العالية داخل المخزن. بينما تجمعت الأتربة على الثمار المخزنة القاسية القوام في مخزن التهوية الطبيعية. يوصى بمزيد من الأبحاث في هذا المجال عند عدد من الظروف والعوامل مثل تأثير نوع مواد التغليف على قوام الثمار وكذلك خواصها الحسية.

قسم الهندسة الزراعية ، كلية علوم الأغذية والزراعة ، جامعة الملك سعود ، ص.ب 2460 ، الرياض 11451 ، المملكة العربية السعودية. البريد الالكتروني: alhamdan@ksu.edu.sa

1- المقدمة

عادة وفي معظم مستودعات التبريد التي تقيمها الشركات الزراعية يتم استخدام نظم التبريد الميكانيكي للحصول على درجة حرارة التخزين المناسبة لحفظ المنتجات الزراعية. هناك حاجة لدراسة نظم تخزين أخرى لتقليل فواقد المنتجات الزراعية على المزارعين والمنتجين والمصنعين. من البدائل المقترحة في المناطق الصحراوية استخدام مستودعات تبريد اقتصادية للمحافظة على هذه المنتجات الزراعية في الحقل وفي بيوت التعبئة والمخازن بالتبريد التبخيري.

وبالرغم من حقيقة محدودية مقدار الخفض في درجة الحرارة بواسطة المبرد التبخيري إلا أنه في بعض مخازن المنتجات الزراعية تكون درجة الحرارة المطلوبة في حدود قدرة المبرد التبخيري. من ناحية أخرى، فمعظم المنتجات الزراعية تتطلب رطوبة نسبية عالية في المخازن . ويتميز المبرد التبخيري بالإضافة إلى خفضه لدرجة الحرارة بزيادة الرطوبة النسبية إلى مستويات مقبولة لمعظم المحاصيل . وتتفاوت ظروف التخزين الملائمة للمنتجات الزراعية حسب عدد من العوامل منها نوع المنتج ودرجة النضج. فتتراوح درجة الحرارة الملائمة لمعظم المنتجات ما بين صفر إلى 21°م والرطوبة النسبية ما بين 50-95٪. إلا أنه لمعظم الخضار تتراوح الرطوبة النسبية المناسبة للمخازن ما بين 90-95٪ (Kader, 2002 ودسوقي وآخرون، 2001). ويلاحظ عدم ملائمة التخزين المكشوف للمنتجات الزراعية عند درجات الحرارة العالية والرطوبة النسبية المنخفضة كما هو الحال في معظم أجواء المملكة. ومن المعروف أن مخازن حفظ المنتجات الزراعية المبردة في المملكة يتم تبريدها بواسطة أنظمة التبريد الميكانيكي المغلق (باستخدام مائع الأمونيا أو الفريون) المكلفة. لذا فمن الضروري البحث عن وسائل تبريد لبعض المنتجات الزراعية أقل كلفة ومناسبة للمناطق الصحراوية خاصة في الأماكن الريفية والنائية ومنها طريقة التبريد التبخيري وتأثيرها على جودة المنتج. هناك نظامان يمكن استخدام أحداهم ا لتبريد الهواء تبخيرياً هما التبريد بالرذاذ والضباب (Fogging and misting system) والآخر هو نظام المراوح ووسائد التبريد (Fan-and-pad system). في نظام المراوح

ووسائد التبريد يضخ الماء على مواد مسامية مبللة بالماء والتي تسمى بوسائد التبريد. ويتم سحب الهواء بمراوح التهوية وإمراره على تلك الوسائد والتي يتم ترطيبها بالماء من خلال أنابيب تقع في الجزء العلوي من سطح اللباد (Smith, 1958; and Willits, 1993). ويشتمل هذا النظام على مصدر لتغذية الماء مع عوامة وحوض مائي ومضخة لرفع الماء وأنبوب توزيع الماء على اللباد و قناة لتجميع الماء الراجع من اللبا د (Nelson, 1991). ويعد هذا النظام الأكثر استخداما في المملكة العربية السعودية.

أوضح العديد من الباحثين قدرة التبريد التبخيري على تهيئة البيئة المناسبة لمخازن الخضار والفواكه. فقد ذكر Linke and Geyer (1999) أن التبريد التبخيري قد حسّن من ظروف التخزين للخس ، فأمكن بواسطة الر ذاذ تقليل الفرق بين الضغط الجزئي بين بخار الماء وسطح المنتج بأكثر من 80٪. ولقد وجد الباحثون أن فقد الرطوبة بسبب النتح بعد 5 ساعات من التخزين قد انخفض من 12 إلى 2٪ عند استخدام التبريد التبخيري. كما درس Acedo (1997) تأثير المبرد التبخيري على الطماطم المخزنة. وجد الباحث أن فقد الوزن قد انخفض وأن نضج الثمار قد تباطأ، وبالتالي زادت فترة صلاحية التخزين باستخدام التبريد التبخيري مقارنة بدون تبريد. كما بين Christenbury *et al.* (1995) أن أنظمة التبريد التبخيري هي من أكثر الأنظمة كفاءة للخضار خاصة الورقية منها، وبالذات عندما تكون الرطوبة النسبية للهواء الخارجي منخفضة، وذلك بناء على التحليل الاقتصادي وفقد الوزن . كما ناقش Gobalakrishna *et al.* (1991) تأثير التبريد التبخيري على الطماطم المخزنة حيث عندها تم الحصول على درجة حرارة 20-22 °م ورطوبة نسبية 90-97٪ عند درجة حرارة خارجية 16.5-35.5 °م، ورطوبة نسبية 36.3-93.8٪. تم تقليل الفقد في الوزن إلى الثلث باستخدام التبريد التبخيري بالمقارنة بالتخزين في ظروف الهواء الجوي. كذلك امتدت فترة الصلاحية من 6 أيام بدون تبريد إلى 10 أيام بالتبريد التبخيري، وكان المنتج أكثر صلابة في الحالة الأخيرة. وفي بحث آخر طور Jain (2007) مبرد تبخيري ذو مرحلتين لتبريد الطماطم. وجد أن المبرد التبخيري وفر رطوبة نسبية 50-75٪ داخل المخزن و 90٪ عند مخرج جهاز التبريد التبخيري مقارنة بـ 15-

40٪ للهواء الخارجي ودرجة حرارة داخلية 17 إلى 22°م مقارنة بالخارجية 21-33°م. وعمل المبرد التبخيري ذو المرحلتين بكفاءة أعلى من المبرد ذو المرحلة الواحدة بحوالي 1.2.

من جهة أخرى تتعرض بعض المنتجات الزراعية في مخازن التبريد إلى ما يطلق عليه "أضرار البرودة" Chilling Injury. وهذه الأضرار تحدث لبعض ثمار الخضار والفواكه عندما تخزن في درجة حرارة تبريد أقل من المناسبة. وتتراوح درجة حرارة التبريد الدنيا لهذه المنتجات ما بين 5 إلى 21 °م حسب نوع المنتج. فمثلاً تحدث للبطاطا أضرار برودة عند تخزينه في درجة حرارة أقل من 13°م وللطماطم أقل من 13-21°م (حسن، 1988). كذلك يحدث للموز أضرار برودة عند تخزينه في درجة حرارة أقل من 12-14°م والليمون 13 °م بينما للخيار 7 °م والبطاطس 4°م (Lutz and Hardenburg, 1966). هذا الانخفاض في درجة حرارة التخزين عن تلك الملائمة يسبب عدد من الصفات الغير مرغوبة مثل تغير اللون، ظهور بقع مائية والطعم الغير مستساغ. لذا فهناك حاجة إلى التحكم في درجة الحرارة بحيث لا تقل عن المناسبة لتجنب أضرار البرودة لتلك المنتجات وفي نفس الوقت الحفاظ على رطوبة نسبية عالية. وهذه المنتجات قد يكون التبريد التبخيري هو الأنسب لها بسبب خفضه المحدود لدرجة الحرارة وكذلك رفعه للرطوبة النسبية للمخازن.

وهناك العديد من الاختبارات الهندسية والتي من أهمها الخواص الميكانيكية التي تجرى للمنتجات الزراعية لتحديد تأثرها بظروف وفترة التخزين. تستخدم الخواص الميكانيكية للدلالة على جودة المواد الغذائية. فيستخدم قوام المادة الغذائية لقياس درجة النضج وكذلك الجودة عند ظروف تخزينية مختلفة. قارن Ananthakrishna *et al*. (1983) مراحل نضج التفاح بقياس نقطة الخضوع الحيوي. واستخدمت الخواص الميكانيكية للثمار كدلائل لجودة خمس مراحل نضج للتفاح المخزن. درس Dobrzanski *et al*. (1995) الخواص الميكانيكية لقشر التفاح ومدى تأثير درجة الحرارة على قوة الشد لأربعة أصناف من التفاح. بينت النتائج أن القشرة تحتفظ بتماسكها فقط إذا تم تخزينها في حدود درجات

الحرارة من صفر إلى 2°م. أوجد Abbott and Liljedah (1994) قيم الكبس لثلاثة أصناف من التفاح تم تخزينها عند صفر°م لفترة تراوحت بين صفر إلى 8 أشهر. وقد وجدا أن قياسات الكبس قد انخفضت أثناء التخزين. بحث Puchalski *et al.* (1994) تأثيرات مستويات النضج ومواعيد الحصاد على جودة فاكهة الفراولة استناداً على قياسات التماسك (Firmness). ولقد أوضحت النتائج أن لمرحلة النضج تأثير أساسي على جودة الفراولة حيث أن جودة الفاكهة انخفضت مع زيادة نضجها. قام Smith (1992) بتخزين الفراولة عند درجات حرارة مختلفة في أجواء تخزين مسيطر عليها تحتوي على صفر إلى 18٪ غاز ثاني أكسيد الكربون و 15٪ إلى 21٪ أوكسجين. أوضحت قوى نقاط الخضوع الحيوي للقص والتي تم تسجيلها للفاكهة الطازجة المخزنة أن زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون لحيز التخزين أدت إلى زيادة تماسك الفاكهة.

يتبين من الدراسات السابقة أن استخدام أنظمة التبريد التبخيري لمخازن المنتجات الزراعية ينتشر بشكل أكبر في دول العالم الثالث مثل الهند وباكستان. ولا يوجد حتى الآن دراسات كافية عن أثر نظم التخزين على جودة الثمار في بيئات مشابهة لأجواء المملكة. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير أربع نظم تخزين (التبريد الميكانيكي (الفريون)، التبريد التبخيري الآلي، التبريد التبخيري شبه الآلي، و التهوية الطبيعية) على الخواص الطبيعية والميكانيكية لتمور الخلاص المخزنة لفترة ستة أشهر.

2- المواد والطرق

تم استخدام أربعة مستودعات لتخزين التمور (شكل 1). في المخزن الأول وحدة تبريد ميكانيكي بالفريون للحفاظ على درجة حرارة داخلية عند 7°م. أُستخدم في المخزن الثاني نظام تبريد تبخيري يتم تشغيله آليا على مراحل بمعدلات مختلفة من التهوية وإضافة الماء لوسائد التبريد بناءً على درجة الحرارة والرطوبة النسبية داخل المخزن . أُستخدم لتبريد المخزن الثالث نظام تبريد تبخيري يعمل بنظام شبه آلي (معدل ثابت للتهوية وإضافة الماء لوسائد التبريد) . أما المخزن الرابع فقد تمت تهويته طبيعيا لمحاكاة نظم التخزين

المفتوحة (بدون تبريد) مزود بفتحتي تهوية (100×120 سم). نظم وأجهزة التحكم الآلي وتسجيل البيانات للظروف البيئية من درجة حرارة ورطوبة نسبية خلال فترة التخزين (شكل 1) مفصلة في ورقة أخرى (الهلال والحمدان، 1429هـ).

شكل 1. صورة مخازن التمور الأربعة من الخلف (أعلى) وشاشة الحاسب الآلي عند تسجيل ومراقبة ظروف التخزين (أسفل).

تم شراء محصول التمر كامل النضج صنف خلاص من أحد مزارع الإحساء من موسم حصاد 2005م (شكل 2). وتم إجراء فرز أولي للتمر لاستبعاد الثمار المعطوبة. ثم تم تعقيم التمور والمخزن بوضع حبوب تبخير (فستوكسين phosphine) في المخازن

للقضاء على أي آفات حشرية موجودة بالتمور أو المخازن. بعدها تم وضع الثمار داخل كل مخزن في سلال بلاستيكية مكشوفة (صغيرة بسعة 2.5 كجم لمتابعة قياس الوزن؛ وكبيرة بسعة 20كجم لاختبار الخواص الميكانيكية؛ كما في شكل 3).

شكل 2: التمور في العبوات الأولية بعد شراؤها وقبل الفرز.

شكل 3. وضع عبوات التمور الصغيرة والكبيرة داخل كل مخزن (أعلى) وقياس وزن العبوة الصغيرة دورياً (أسفل).

وتم إجراء التجارب خلال الفترة من نوفمبر 2005م إلى ابريل 2006م وتم قياس الخواص الطبيعية والميكانيكية للتمور لتحديد الخواص الهندسية الأساسية لها. اشتملت الخواص الطبيعية الابتدائية لتمر الخلاص (كامل النضج) على الطول (L) والقطر الأكبر (D_1) والحجم (V) والكتلة (M) والكثافة (ρ). بينما تم قياس المحتوى الرطوبي (M.C) والنشاط المائي (a_w) طوال فترة التخزين.

تم قياس خواص التمور الطازجة والمخزنة كالتالي:

1-2 قياس الخواص الطبيعية

تم قياس الخواص الطبيعية التالية:

أ- **الطول والقطر:** باستخدام مقياس رقمي للأبعاد الدقيقة (Absolute Digimatic, Model CD-15CW. Mitutoyo Corp., Japan). تم أخذ طول ثمرة التمر كأطول بُعد بين طرف الثمرة وعنقها.

ب- **الكتلة:** يتم باستخدام ميزان (Model GB3002, Mettler, Toledo, Switzerland) دقته (0.01 جرام).

ت- **الحجم والكثافة:** تم باستخدام طريقة ميزان المنصة (Mohsenein, 1986)، حيث تم قياس كتلة الثمرة في الهواء، ثم تم غمرها في الماء بواسطة قضيب غامر. وتؤخذ فرق قراءة كتلة الوعاء والماء قبل وبعد الغمر حيث تساوي كتلة الماء كتلة الماء المزاح. من كتلة الثمرة في الهواء وكتلة الماء المزاح يمكن حساب حجم وكثافة الثمرة بمعلومية كثافة الماء المزاح.

ث- **المحتوى الرطوبي:** تم استخدام الطريقة القياسية (AOAC, 1995) لتقدير المحتوى الرطوبي وذلك بوضع عينة كتلتها 5 جم في فرن تفريغ (Model VT6025, Heraeus-Instruments Vacutherm, Germany) وذلك عند درجة حرارة 70ºم عند ضغط تفريغ 200 مل بار لمدة 24 ساعة.

ج- **النشاط المائي:** تم قياس النشاط المائي للعينات عند درجة حرارة الغرفة بوضع عينة كتلتها 20 جم من اللب في جهاز Aqua-lab (Model CX-2T, readability 1 mg, Decagon Devices Inc., Washington).

تم استخدام برنامج جداول الكترونية لتحليل النتائج التجريبية للخواص الطبيعية لتمر الخلاص شملت المتوسط الحسابي ($\bar{x}$) والانحراف القياسي (SD) وأصغر (Min.)

وأكبر (Max.) قيمة والمدى (R, range) بين أصغر قيمة وأكبر قيمة ومعامل الاختلاف (C.V. %) وهو نسبة الانحراف المعياري (SD) إلى القيمة المتوسطة ($\bar{x}$), أي أن:

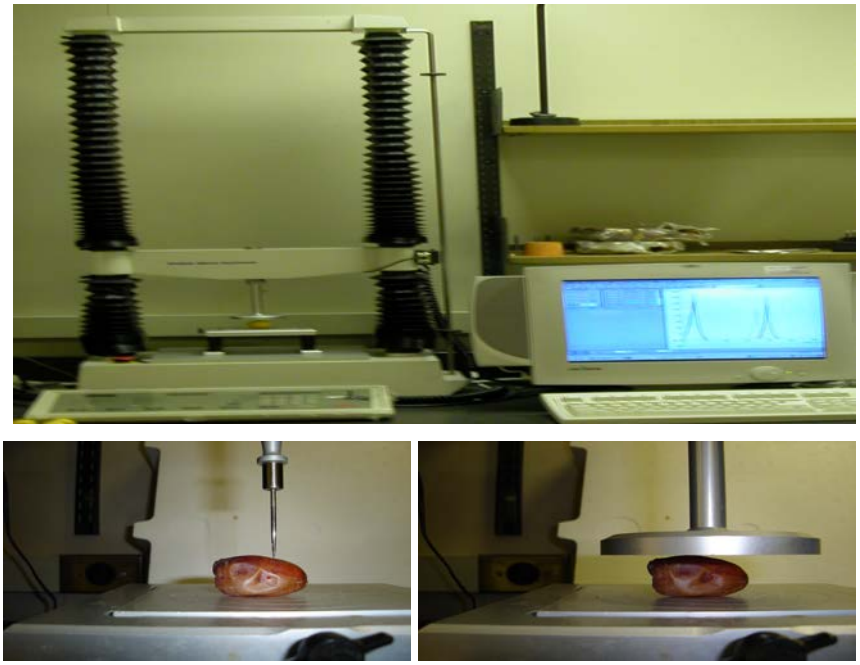
$$CV\ (\%) = (SD/\bar{x}) \times 100$$

وقد تم استخدام 10 ثمرات (أي 10 مكررات) في كل قياس.

2-2 قياس الخواص الميكانيكية

استخدم جهاز (TA-HDi Texture Analyzer, Stable Micro Systems, Surrey, England) موديل HD3128 لقياس الخواص الميكانيكية (شكل 4). ويمكن التحكم في الجهاز عن طريق برنامج حاسب آلي (Texture Expert Exceed, version 2.05) مزود من قبل نفس الشركة المصنعة. ويساعد هذا البرنامج في تحليل البيانات ورسم علاقات القوة بالمسافة أو الزمن واستنباط بعض الخصائص الميكانيكية منها.

تم قياس الخواص الميكانيكية للتمور لعينات التمور كاملة النضج للثمرة الكاملة متضمنة النواة. تم اختبار الكبس باستخدام الكابس القرصي (P75) حتى عمق 10 مم من الثمرة بينما تم اختبار الاختراق باستخدام الإبرة (P/2N) حتى عمق 5 مم من سطح الثمرة (شكل 4).



شكل 4: جهاز قياس الخواص الميكانيكية (أعلى) ومجس الكبس (أسفل يمين) ومجس الاختراق (أسفل يسار).

تم عمل جداول تحليل التباين (ANOVA) و ذلك لمقارنة متوسطات الخواص الميكانيكية إحصائياً بين المعاملات المختلفة (طريقة وفترة التخزين) للثمار. فمن رسم منحنيات القوة Force مع المسافة يتم دراسة السلوك الميكانيكي للعينات وحساب الخواص الميكانيكية لها. ويمثل المنحنى متوسط عشر تكرارات حيث تم استخدام البرنامج (Expert Exceed) الملحق بجهاز قياس الخواص الميكانيكية لإيجاد متوسط هذه المنحنيات. ولقد تم استخدام النظام العالمي للوحدات (SI units) للقوة (نيوتن) إلا أنه بسبب طبيعة المسافات القصيرة فتم استخدام المليمتر أو السنتيمتر بديلاً عن المتر، وهذا هو المتبع في معظم الدراسات المنشورة للمنتجات المشابهة.

3- النتائج والمناقشة

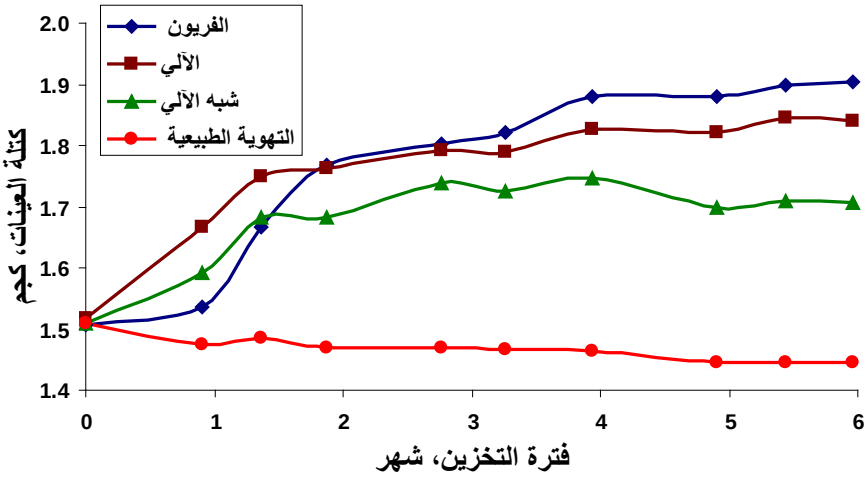
1-3 الخواص الطبيعية:

نتائج الخواص الطبيعية الأساسية لثمار الخلاص مبينة في جدول (1) وهي مقاربة للنتائج المتحصل عليها من الحمدان وحسن (2002). إلا أنه يلاحظ وجود اختلافات بسيطة لهذه القيم مقارنة بهذه الدراسة والذي قد يعود إلى طبيعة منطقة الزراعة (الأحساء والرياض) وظروف النقل والتداول والتخزين.

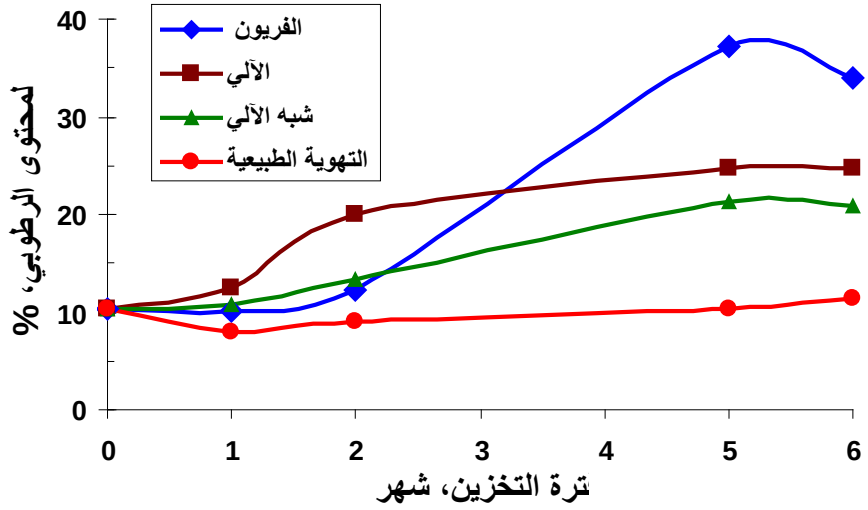
جدول 1. القيم المتوسطة والتحليل الوصفي للخواص الطبيعية لثمار تمر الخلاص.

الخاصية	الطول (مم)	القطر (مم)	الكتلة (جم)	الحجم (سم^3)	الكثافة (جم/سم^3)	المحتوى الرطوبي (جاف)(٪)	النشاط المائي
أكبر قيمة(Max)	40.67	24.67	11.50	10.79	1.38	11.89	0.48
أقل قيمة(Min)	35.05	20.37	7.50	6.88	0.90	9.24	0.42
المدى (R, range)	5.62	4.30	4.00	3.91	0.48	2.65	0.07
الانحراف القياسي(SD)	1.62	1.27	1.35	1.28	0.15	0.93	0.02
معامل الاختلاف(C.V.)	4.26	5.51	14.05	14.20	13.62	8.99	3.76
عدد التكرارت (N)	10	10	10	10	10	10	10
المتوسط ($\bar{x}$)	38.06	23.08	9.59	9.05	1.07	10.35	0.45
المتوسط ($\bar{x}$) في دراسة الحمدان وحسن(2002م)	35.84	21.56	8.52	9.38	0.97	8.95	0.42

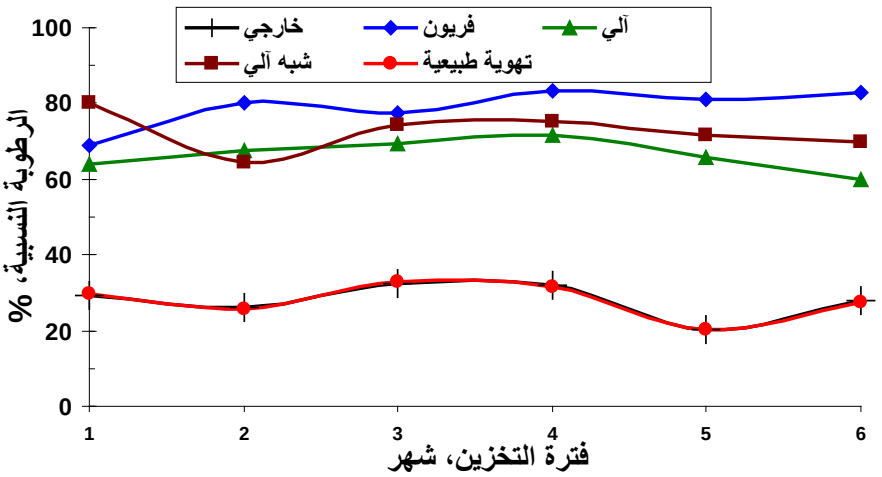
تم قياس تأثير ظروف التخزين على قيم كتلة الثمار ومحتواها الرطوبي في المخازن الأربعة طوال فترة التخزين. يتبين من شكلي (5 و6) أن ثمار الخلاص المخزنة في المخازن المبردة زادت كتلتها ومحتواها الرطوبي مع مرور الوقت نتيجة لادمصاص أسطحها جزءاً من بخار الماء بسبب الرطوبة النسبية العالية في هذه المخازن واعتدال درجة حرارتها طوال فترة التخزين (شكلي 7 و 8). أما في المخزن الرابع (التهوية الطبيعية) فقد فقدت جزءً من كتلتها نتيجة لتبخر جزء من محتواها الرطوبي بسبب انخفاض الرطوبة النسبية في هذا المخزن حيث كان هناك تطابق لبيانات الجو الخارجي مع تلك داخل المخزن الرابع (شكلي 7 و8). ويلاحظ أن درجة الحرارة داخل المخزن الأو ل كانت ثابتة لإمكانية الوصول إلى درجة الحرارة الضبط المطلوبة. في حين تحكم الظروف الجوية الخارجية (درجة الحرارة، الرطوبة النسبية) أداء المبردات التبخيرية في المخزني ن الثاني والثالث، وهذا بالطبع له تأثير مباشر على الفقد والاكتساب الرطوبي للثمار. وهذا يفسر ارتفاع قيم المحتوى الرطوبي لثمار الخلاص في المخازن المبردة طوال فترة التخزين (شكل 6). كما لوحظ في نهاية فترة التخزين ظهور دلائل الفساد على الثمار كنتيجة مباشرة لزيادة الرطوبة النسبية في المخزن الأو ل (شكل 9). أما في المخزن الرابع، فبالإضافة إلى جفاف الثمار نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض الرطوبة النسبية فقد كان هناك أيضاً تراكم للغبار عليها (شكل 9) حيث أن عبوات التمور بطبيعة الحال كانت مكشوفة داخل ذلك المخزن. يوضح شكل (10) النشاط المائي للتمور طوال فترة التخزين والمرتبطة قيمها العالية بشكل مباشر بأنشطة الأحياء الدقيقة حيث يتبين بوضوح ارتفاع قيمه للتمور في المخزن الأول. ومن هذا يتضح استبعاد فساد التمور بسبب الأحياء الدقيقة في المخزن الرابع ولكن من الجانب الآخر يسبب عدم قابليته للتسويق بسبب تلوثه بالأتربة وأيضاً جفافه وقساوته كما سيتم التطرق له في الجزء التالي المتعلق بالخواص الميكانيكية للتمور. وهذا يبين تأثير الظروف البيئية الجافة (انخفاض الرطوبة النسبية) على المحاصيل المخزنة بالتهوية الطبيعية والمتبع في بعض المزارع وذلك لمحدودية توفر بدائل اقتصادية للتبريد بالفريون. ولوحظ على هذه الثمار بالإضافة إلى قساوتها تراكم الغبار عليها مما يضعف من القدرة على تسويقها، أو يستلزم الأمر تخزينها في عبوات تحميها من الأتربة المتطايرة.



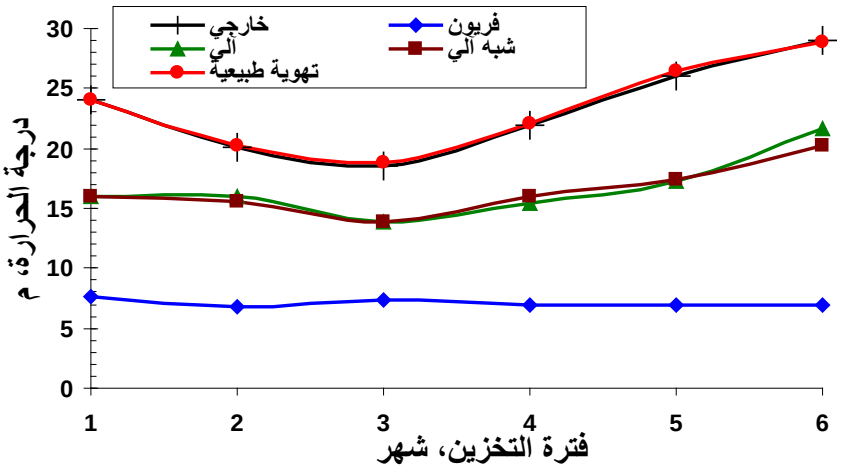
شكل 5: كتلة عينات ثمار الخلاص في المخازن الأربعة طوال فترة التخزين.



شكل 6: قيم المحتوى الرطوبي (جاف) لثمار الخلاص في المخازن طوال فترة التخزين.

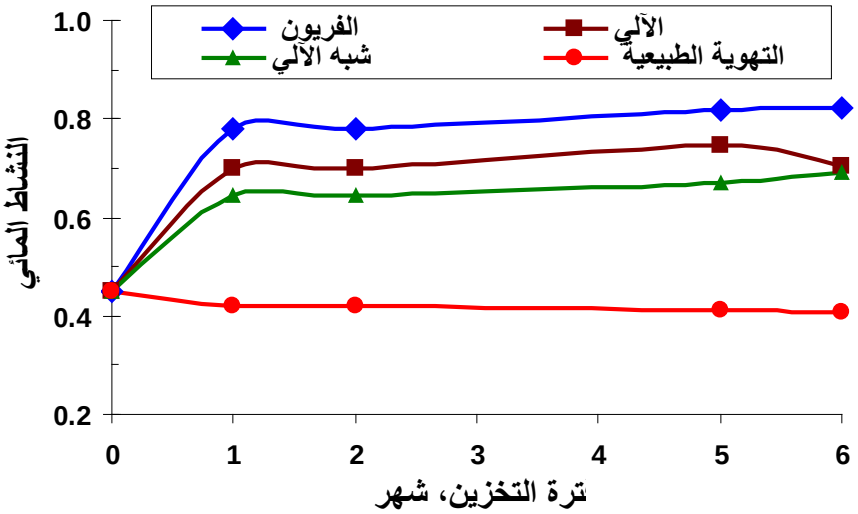


شكل 7: متوسط الرطوبة النسبية داخل المخازن الأربعة والخارجية طوال فترة التخزين.



شكل 8: متوسط درجة الحرارة داخل المخازن الأربعة والخارجية طوال فترة التخزين.

شكل 9: بداية العفن ونمو الفطر على أسطح التمور بالمخزن الأول (بالفريون) (أعلى) بينما يتضح تراكم الغبار على التمور الجافة في المخزن الرابع (تهوية طبيعية) (أسفل).



شكل 10: متوسط قيم النشاط المائي لثمار الخلاص في المخازن طوال فترة التخزين.

2-3 الخواص الميكانيكية:

لتحديد مدى تأثير ظروف التخزين على قساوة التمور وخواصها الميكانيكية الأخرى تم عمل وتحليل اختباري الكبس والاختراق للثمار الكاملة للأربع مخازن ولفترة أمتدت إلى ستة أشهر.

أ. اختبار الكبس

تأثير طريقة التخزين

أدى التبريد إلى انخفاض المقاومة الميكانيكية للتمور في المخازن المبردة (بالفريون، التبخيري الآلي، والتبخيري شبه الآلي). يبين جدول (2) انخفاض قساوة كبس الثمرة من 87.54 نيوتن.مم للتمور الطازجة إلى 12.09 نيوتن.مم للتمور في المخزن الأول، وإلى 17.66 نيوتن.مم للتمور في المخزن الثاني، وإلى 20.43 نيوتن. مم للتمور

جدول 2: تحليل التباين لتأثير طريقة وفترة التخزين على قوى الكبس على الثمار الكاملة لصنف الخلاص.

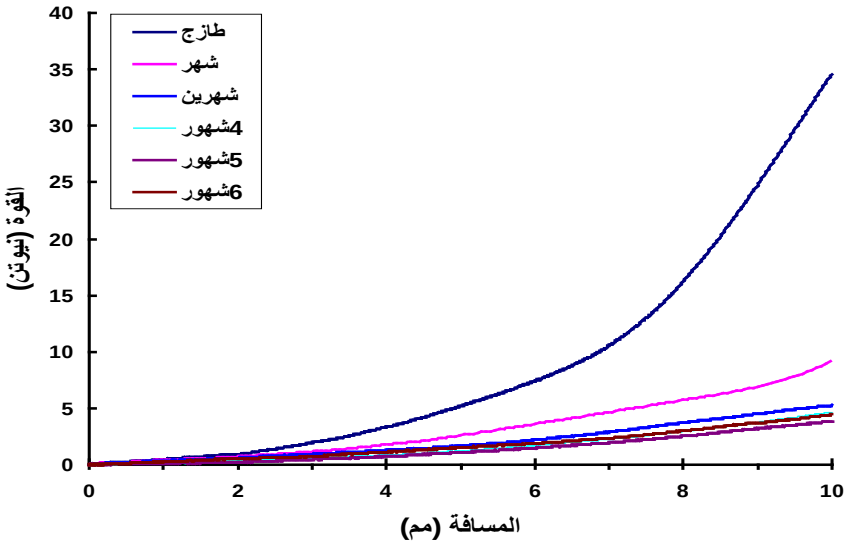
المخزن	فترة التخزين (شهر)	معامل المرونة (نيوتن/مم)	القوة (نيوتن)	القساوة (نيوتن.مم)
الأول	طازج	2.40 أ	34.51 أ	87.54 أ
	1	1.75 ب	24.98 ب	68.56 ب
	2	0.44 ج	5.40 ج	22.67 ج
	4	0.39 ج	4.37 ج	17.71 ج
	5	0.43 ج	4.17 ج	15.26 ج
	6	0.34 ج	3.05 ج	12.09 ج
الثاني	طازج	2.40 أ	34.51 أ	87.54 أ
	1	0.78 ب	9.35 ب	32.40 ب
	2	0.42 ب ج	5.28 ب ج	20.95 ب ج
	4	0.43 ب ج	4.64 ج	16.34 ج
	5	0.41 ج	3.91 ج	14.12 ج
	6	0.52 ب ج	4.67 ج	17.66 ج
الثالث	طازج	2.40 أ	34.51 أ	87.54 أ
	1	0.81 ب	12.98 ب	42.72 ب
	2	0.48 ب	6.22 ج	21.88 ج
	4	0.80 ب	6.05 ج	20.95 ج
	5	0.80 ب	7.77 ج	28.36 ج
	6	0.59 ب	5.21 ج	20.43 ج
الرابع	طازج	2.40 ج	34.51 هـ	87.54 ج
	1	3.05 ب ج	44.60 د هـ	116.01 ب
	2	2.73 ج	48.87 د	136.74 ب
	4	3.90 ب	70.51 ج	142.62 ب
	5	5.76 أ	82.69 ب	221.61 أ
	6	5.14 أ	95.87 أ	241.17 أ

* الأحرف غير المتشابهة المرتبطة بالقيم المتوسطة لكل خاصية في كل عمود لكل مجموعة تشير إلى وجود اختلاف معنوي عند مستوى 5 ٪ ($P < 0.05$).

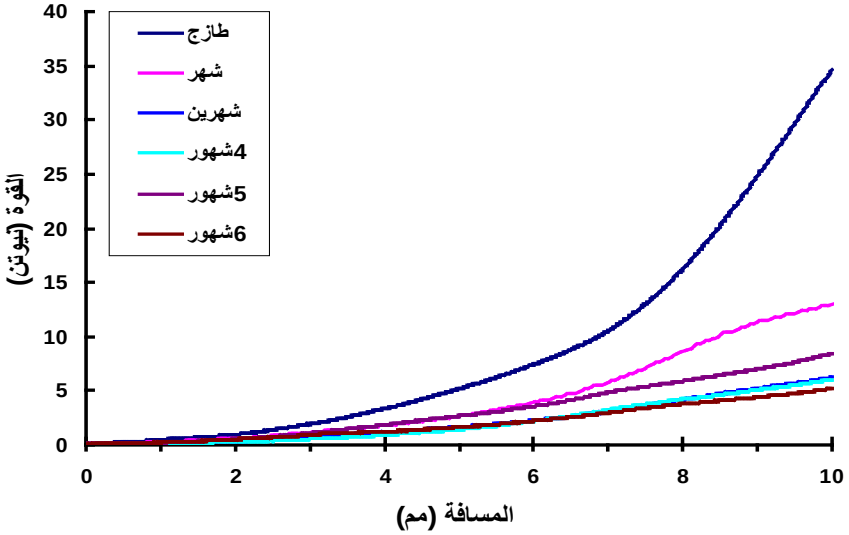
في المخزن الثالث وذلك بعد ستة أشهر من التخزين. تبين الأشكال (11) إلى (14) مقدار التفاوت في المقاومة الميكانيكية للكبس للثمار بين الأربع مخازن. ويلاحظ أنه عند تخزين التمور بالمخزن الرابع (التهوية الطبيعية) زادت المقاومة الميكانيكية إلى عدة أضعاف. فعلى سبيل المثال زادت القساوة (والتي تعبر عن الشغل اللازم لكبس الثمرة وحدوث تشوهات حتى عمق 10مم من سطح الثمرة) بحوالي 3 أضعاف تلك الطازجة وذلك من 87.54 نيوتن.مم للطازجة إلى 241.17 نيوتن.مم بعد ستة أشهر من التخزين وهذا يتبين بوضوح في شكل (15). وهذا قد يرجع إلى انخفاض الرطوبة النسبية في المخزن الرابع وبالتالي جفاف التمور وتأثير ذلك على زيادة قساوة الثمار المخزنة.

تأثير فترة التخزين

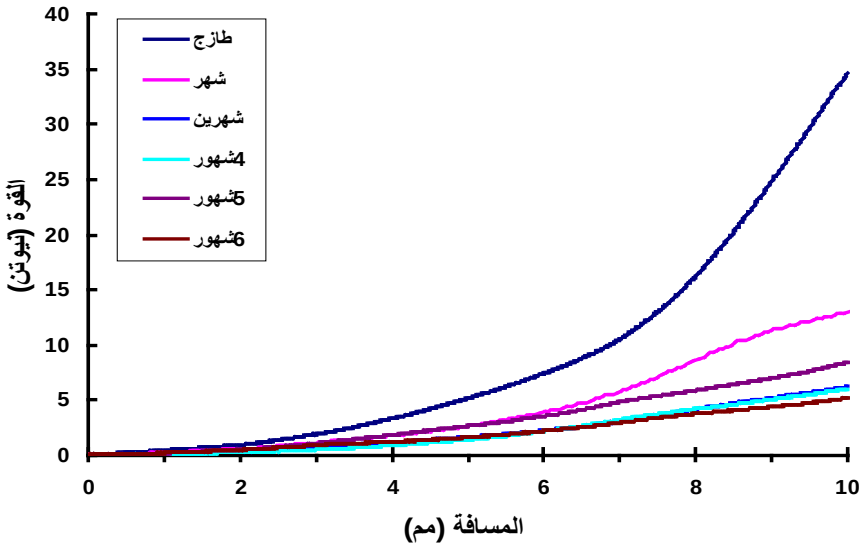
انخفضت المقاومة الميكانيكية للثمار في المخازن المبردة مع فترة التخزين. ويبين جدول (2) والأشكال (11) إلى (14) الانخفاض الواضح للخواص الميكانيكية مع فترة التخزين. فقد انخفضت القوة اللازمة لكبس العينة من 34.51 نيوتن للثمار الطازجة إلى 5.40 نيوتن في الشهر الثاني وإلى 3.05 نيوتن في الشهر السادس من التخزين. وهذا الانخفاض يعود أساساً إلى زيادة الرطوبة النسبية داخل المخازن عن تلك الابتدائية (شكل 6). وعلى العكس من ذلك فقد سبب التخزين في المخزن الرابع (التهوية الطبيعية) إلى زيادة صلابة الثمار بحوالي ثلاثة أضعاف تلك الطازجة بعد ستة أشهر من التخزين. وهذا بالتأكيد يدل على انخفاض الرطوبة النسبية داخل هذا المخزن مما تسبب في جفاف الثمار، وبالتالي قد يتسبب في عدم تقبل المستهلك لهذا المنتج لقساوته. وهذا يدل بوضوح على تأثير فترة التخزين وتداخلها مع نظام التبريد المستخدم. شكل (15) يبين بوضوح التفاوت الكبير لتأثير نظم المخازن حيث زاد الشغل المبذول لكبس الثمرة إلى أكثر من 20 ضعف للثمار في المخزن الرابع مقارنة بتلك في المخزن الأول عند نفس الفترة. أما بالنسبة للثمار المخزنة في المخازن المبردة وكما يتبين من نفس الشكل فقد انخفضت المقاومة الميكانيكية للكبس بدرجة ملحوظة مقارنة بقيمها للثمار الطازجة.



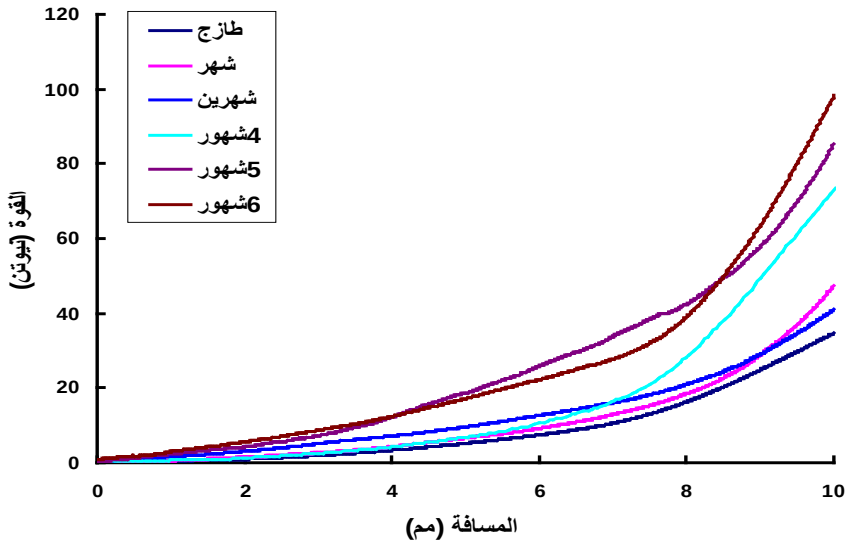
شكل 11: تأثير فترة التخزين على السلوك الميكانيكي لاختبار كبس ثمرة الخلاص في المخزن الأول.



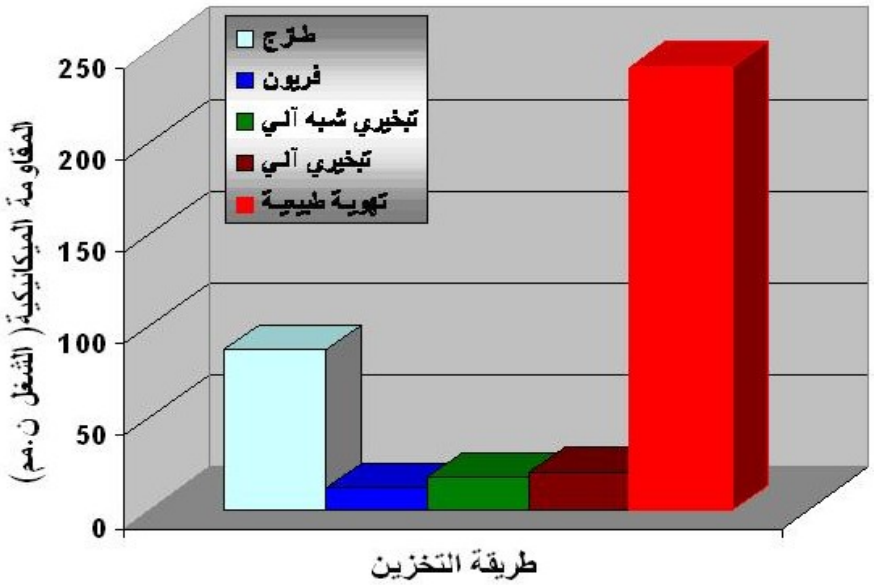
شكل 12: تأثير فترة التخزين على السلوك الميكانيكي لاختبار كبس ثمرة الخلاص في المخزن الثاني.



شكل 13: تأثير فترة التخزين على السلوك الميكانيكي لاختبار كبس ثمرة الخلاص في المخزن الثالث.



شكل 14: تأثير فترة التخزين على السلوك الميكانيكي لاختبار كبس ثمرة الخلاص في المخزن الرابع.



شكل 15: مقارنة تأثير ظروف التخزين المختلفة على مقاومة كبس ثمرة الخلاص بعد ستة أشهر من التخزين بتلك الطازجة.

ب. اختبار الاختراق

تأثير طريقة التخزين

يبين جدول (3) أن التبريد بالفريون أدى إلى انخفاض المقاومة الميكانيكية لاختبار الاختراق بشكل أكبر من ذلك عن التخزين بالتبريد التبخيري الآلي وشبه الآلي. فقد انخفضت قساوة اختراق القشرة واللب من 2.61 نيوتن.مم للتمور الطازجة إلى 0.38 نيوتن.مم للفريون، و 0.60 نيوتن.مم للتبريد التبخيري الآلي، وإلى 0.9 نيوتن.مم للتبريد التبخيري شبه الآلي وذلك بعد ستة أشهر من التخزين. إلا أنه يلاحظ أن التمور المخزنة في المخزن الأول (التبريد بالفريون) بدأ ينمو عليها العفن والفطر نتيجة للرطوبة النسبية العالية داخل المخزن والانخفاض النسبي لدرجة الحرارة والذي أدى إلى تكثف بخار الماء على الثمار. وعلى العكس من ذلك فقد زادت المقاومة الميكانيكية من 2.61 نيوتن.مم للطازجة إلى 9.35 نيوتن.مم للتمور المخزنة بالتهوية الطبيعية لمدة ستة أشهر.

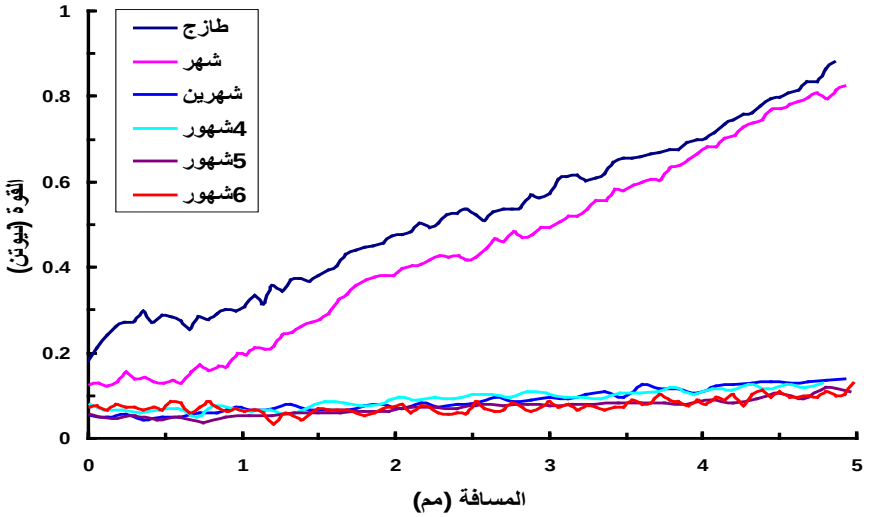
جدول 3: تحليل التباين لتأثير طريقة وفترة التخزين على قوى الا ختراق على ثمار الخلاص.

المخزن		خواص اختراق القشرة				خواص اختراق القشرة واللب		
	زمن التخزين	المسافة	معامل الاختراق	القوة	القساوة	معامل الاختراق	القوة	القساوة
	(شهر)	(مم)	(نيوتن/مم)	(نيوتن)	(نيوتن.مم)	(نيوتن/مم)	(نيوتن)	(نيوتن.مم)
الأول	طازج	٥٠,١٢	٠,٩٤ أ	٠,٢٥ أ	٠,٠٣ أ	٠,٢٤ أ	٠,٨٧ أ	٢,٦١ أ
	١	٥٣٠,١٩	٣٠,٤٩	٣٠,١٤	٠,٠٢ أ	٠,٢١ أ	٠,٨٢ أ	٢,٢١ أ
	٢	٠,٣١ أ	٥٦٠,٢٣	٤٠,٠٧	٠,٠٢ أ	٠,٠٤ ب	٠,١٣ ب	٠,٤٤ ب
	٤	٠,٣١ أ	٥٣٠,١٧	٥٠,٠٨	٠,٠٣ أ	٠,٠٣ ب	٠,١٢ ب	٠,٤٩ ب
	٥	٠,٢٥ أ	٥٠,٢٤	٤٠,٠٧	٠,٠١ أ	٠,٠٢ ب	٠,١٠ ب	٠,٣٧ ب
	٦	٥٠,١٢	٤٠,٠٥	٤٠,٠٧	٠,٠١ أ	٠,٠٢ ب	٠,١٣ ب	٠,٣٨ ب
الثاني	طازج	٠,١٢ أ	٠,٩٤ أ	٠,٢٥ أ	٠,٠٣ أ	٠,٢٤ أ	٠,٨٧ أ	٢,٦١ أ
	١	٠,٧٠ أ	٣٠,١٦	٣٠,١٢	٠,٠٣ أ	٠,٢١ ب	٠,٢٤ ب	٠,٨٤ ب
	٢	٣٠,٣٨	٠,٢١ ب	٠,٠٩ ب	٠,٠٣ أ	٠,٠٤ ب	٠,١٥ ب	٠,٥٨ ب
	٤	٣٠,٤٣	٠,٢٤ ب	٣٠,١١	٠,٠٤ أ	٠,٠٤ ب	٠,١٨	٠,٦١
	٥	٠,٢٩	٠,١٨ ب	٠,٠٨	٠,٠٢ أ	٠,٠٢ ب	٠,١٥ ب	٠,٥٨ ب
	٦	٠,٢٣	٠,١١ ب	٠,٠٨	٠,٠٢ أ	٠,٠٣ ب	٠,٢١	٠,٦٠ ب
الثالث	طازج	٠,١٢	٠,٩٤ أ	٠,٢٥ أ	٠,٠٣ أ	٠,٢٤ أ	٠,٨٧ أ	٢,٦١ أ
	١	٠,٥١ أ	٠,٢٨ ب	٠,١٢	٠,٠٤ أ	٠,١٦	٠,٣٥	١,٠٠
	٢	٠,٣٠	٠,٣٧ ب	٠,١١	٠,٠٣ أ	٠,٠٣ ب	٠,١٠ ب	٠,٦٦ ب
	٤	٠,٢٧	٠,٤٣ ب	٠,١١	٠,٠٢ أ	٠,٠٦ ب	٠,٢٦ ب	٠,٧١ ب
	٥	٠,٢٤	٠,٢٤ ب	٠,٠٩	٠,٠٢ أ	٠,٠٣ ب	٠,٠٩ ب	٠,٢٥ ب
	٦	٠,١٠	٠,١٠ ب	٠,١٠	٠,٠١ أ	٠,٠٤ ب	٠,٣٣ ب	٠,٩٠ ب
الرابع	طازج	٠,١٢	٠,٩٤ أ	٠,٢٥ أ	٠,٠٣ أ	٠,٢٤ أ	٠,٨٧ أ	٢,٦١ أ
	١	٠,١٩ أ	٠,٧٥ أ	٠,٢١ أ	٠,٠٣ أ	٠,٣٢ أ	١,٥٦ أ	٤,٢٦ أ
	٢	٠,١٥ أ	١,٢٥ أ	٠,٣٣ أ	٠,٠٣ أ	٠,٣٢ أ	١,٨٠ أ	٥,٨٩ أ
	٤	٠,١٧ أ	١,١١ أ	٠,٢٤ أ	٠,٠٣ أ	٠,٥٤ أ	٢,٢٧ أ	٦,١٩ أ
	٥	٠,١٣	٢,٤٤	٠,٥١ أ	٠,٠٥ أ	٠,٧٨ أ	٣,٠٤ أ	٨,٩٥ أ
	٦	٠,١٣	٣,٧٣	٠,٥١ أ	٠,٠٥ أ	٠,٥٧ أ	٢,٤٩ أ	٦,٣٥ أ

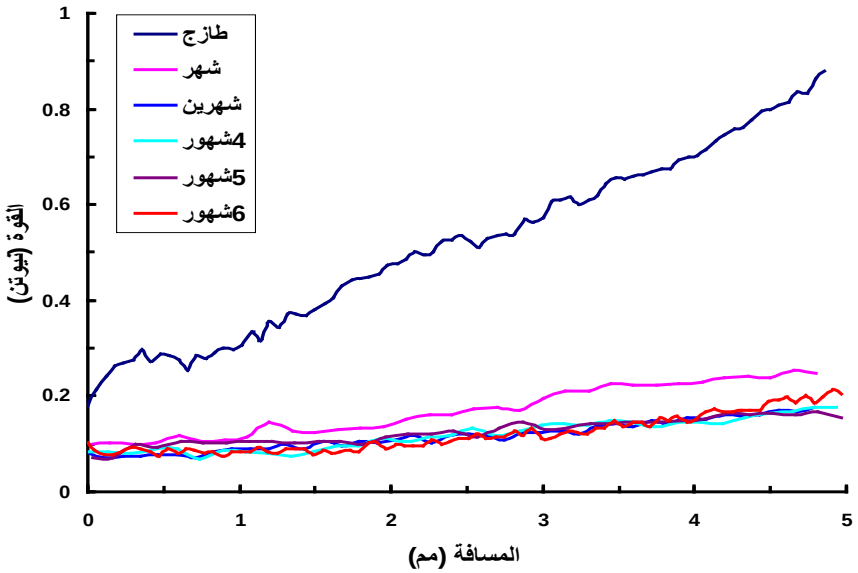
الأحرف غير المتشابهة المرتبطة بالقيم المتوسطة لكل خاصية في كل عمود لكل مجموعة تشير إلى وجود اختلاف معنوي عند مستوى 5 ٪ ($P < 0.05$).

تأثير فترة التخزين

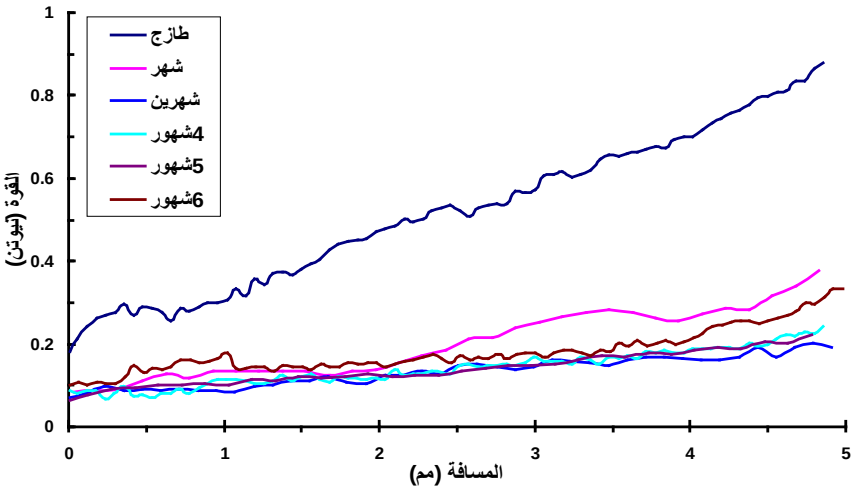
كما هو الحال لاختبار الكبس فيلاحظ الانخفاض الواضح لقيم الخواص الميكانيكية للتمور مع زيادة فترة التخزين للمخازن المبردة (أشكال 16 و17 و 18). وكان الانخفاض بشكل أوضح للثمار المخزنة بالتبريد بالفريون (جدول 3 وشكل 16). ولقد انخفضت المقاومة الميكانيكية مع فترة التخزين حتى الشهر الثاني إلا أنه بعد ذلك كانت الزيادة محدودة في مقاومتها الميكانيكية ربما لاقترابها من مرحلة التشبع بالرطوبة. أما في المخزن الرابع فقد زادت المقاومة الميكانيكية إلى حوالي 4 أضعاف ذلك للثمار الطازجة مع زيادة فترة التخزين إلى الشهر السادس (شكل 19). تؤكد هذه النتائج لخواص الاختراق الاستنتاجات المتحصل عليها من خواص الكبس والتي تبين انخفاض المقاومة الميكانيكية للمخازن المبردة بينما تزيد بشكل مضاعف للمخزن الرابع الغير مبرد كما يتضح في شكل (20).



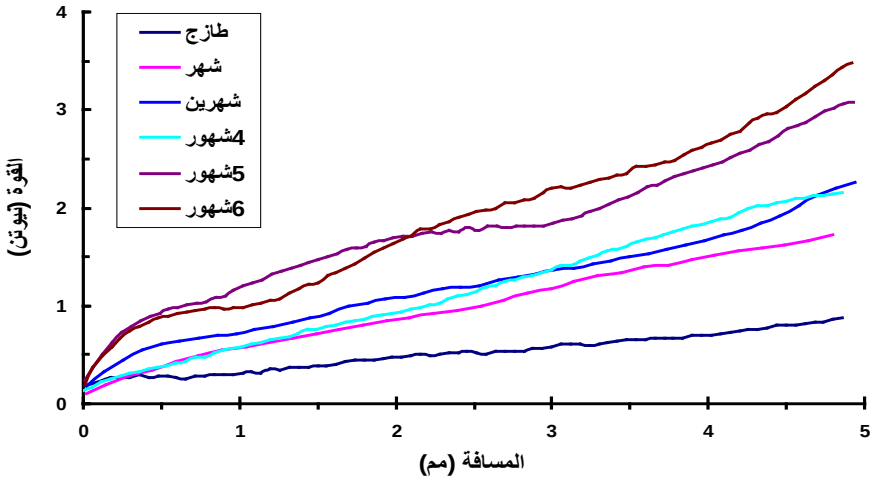
شكل 16: تأثير الفترة الزمنية على السلوك الميكانيكي لاختبار اختراق ثمرة الخلاص في المخزن الأول.



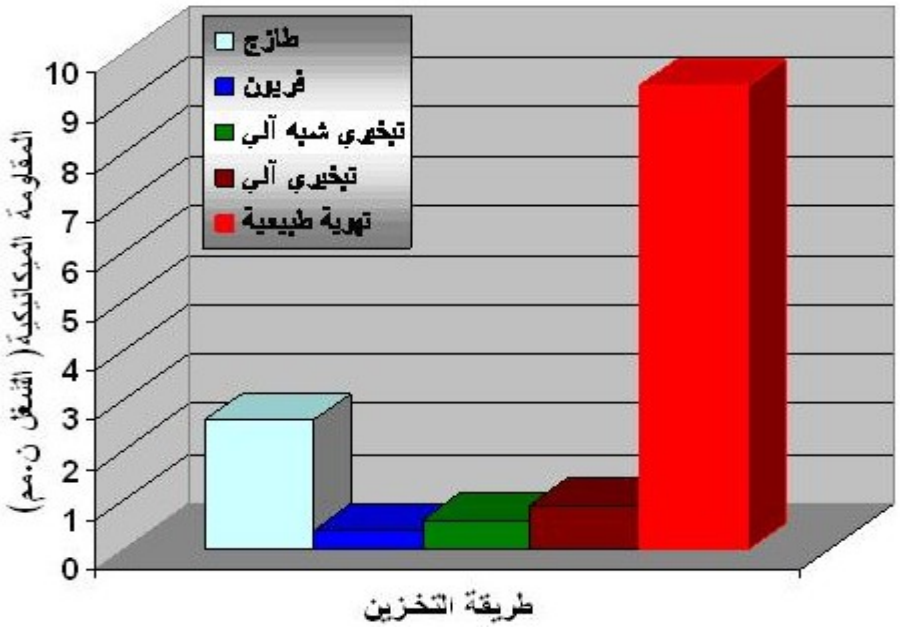
شكل 17: تأثير الفترة الزمنية على السلوك الميكانيكي لاختبار اختراق ثمرة الخلاص في المخزن الثاني.



شكل 18: تأثير الفترة الزمنية على السلوك الميكانيكي لاختبار اختراق ثمرة الخلاص في المخزن الثالث.

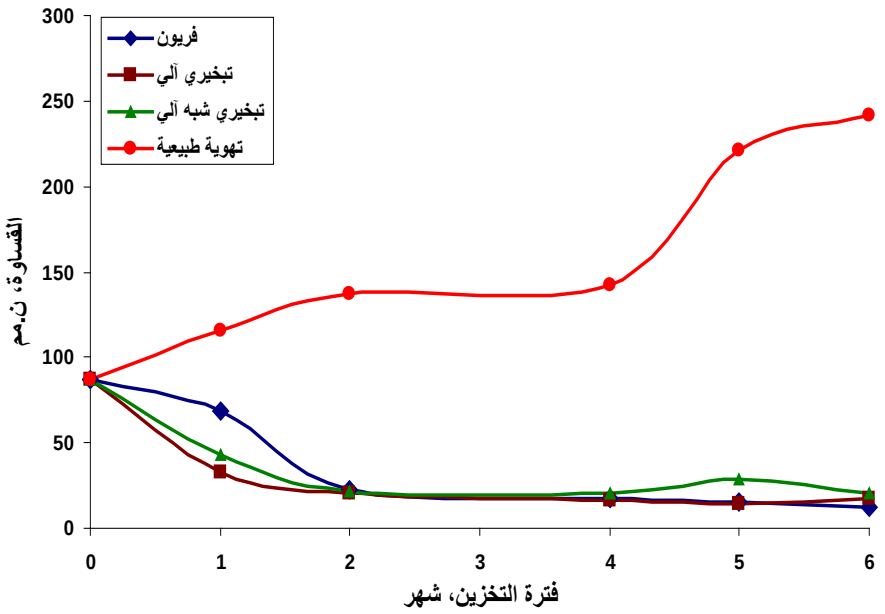


شكل 19: تأثير الفترة الزمنية على السلوك الميكانيكي لاختبار اختراق ثمرة الخلاص في المخزن الرابع.

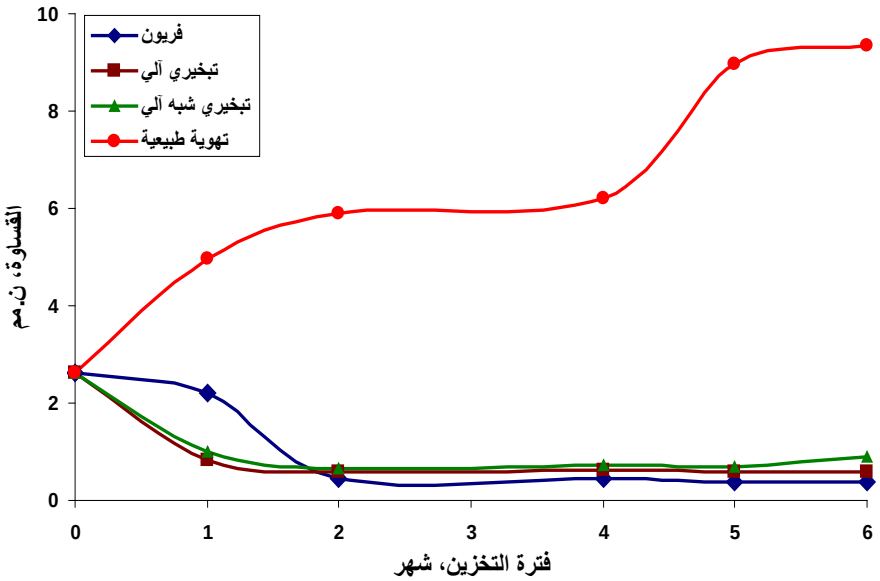


شكل20: مقارنة تأثير ظروف التخزين المختلفة على مقاومة اختراق ثمرة الخلاص بعد ستة أشهر من التخزين.

وعند مقارنة نتائج اختباري كل من الكبس والاختراق للمخازن الأربعة، يلاحظ تشابه نتائج الاختبارين طوال فترة التخزين (شكلي 21 و 22). مما يؤكد أن المقاومة الميكانيكية للثمار المخزنة في المخزن الأول (الفريون) والمخزنين الثاني والثالث (التبريد التبخيري) قد انخفضت بينما زادت بدرجة كبيرة في المخزن الرابع (التهوية الطبيعية). ويدعم هذه الاستنتاجات البيانات السابقة لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للمخازن الأربعة وكذلك تغير أوزان العينات المحتوى الرطوبي والنشاط المائي طوال فترة التخزين.



شكل 21: تأثير فترة وطريقة التخزين على قيم شغل كبس ثمار الخلاص.



شكل 22: تأثير فترة وطريقة التخزين على قيم شغل اختراق ثمار الخلاص.

من التوصيات التي يمكن استخلاصها من هذا البحث إمكانية حفظ التمور بالتبريد التبخيري في مزارع المناطق النائية ومحدودة الموارد وأهمية تجنب غرف التهوية الطبيعية والعينات مكشوفة. وكذلك تجنب تخزين التمور عند ظروف التخزين بالفريون لأكثر من أربعة أشهر عند ظروف مشابهة لتجارب هذا البحث لتجنب تعفن التمور. أو يتم ذلك بخفض الرطوبة النسبية داخل مخازن الفريون أو بخفض درجة الحرارة أقل من تلك المطبقة في هذا البحث. ومن ثم ضرورة التحكم في الرطوبة النسبية بالإضافة إلى درجة الحرارة مع التصميم المناسب لأغلفة المنتجات الزراعية وبالذات مقدار نفاذيتها لبخار الماء.

ولاستكمال الاستفادة من هذا البحث يوصى ب إجراء تجارب إضافية تشمل تأثير مواد تغليف الثمار داخل المخازن على الخواص الميكانيكي ة للثمار وجودتها وذلك تحت تأثير نظم تبريد مختلفة. كما يوصى بتغليف العبوات الزراعية بأغلفة مناسبة وغير مكلفة مثل البولي إيثيلين منخفض الكثافة خاصة إذا لم تكن هناك بدائل للتبريد وتم الاكتفاء بالتهوية الطبيعية. ومن جانب آخر يوصى بدراسة ظروف التخزين المناسبة لعدة أصناف من التمور من حيث درجة الحرارة والرطوبة النسبية وفترة التخزين والتأثير على الجودة. وعند المقارنة بين تكاليف المخازن المبردة بالفريون مع التبخيري فيجب حساب تكلفة الإنشاءات الاستثمارية ومنها تكلفة العوازل الحرارية وكذلك أجهزة التبريد. كما يوصى بتطبيق إعادة تدوير جزء من الهواء البارد الخارج من المخازن في منظومة التبريد التبخيري مرة أخرى. وكذلك تطبيق تقنيات التبريد التبخيري على ثمار أخرى وعند مدى أكبر من رطوبة نسبية ودرجات حرارة. وهناك حاجة إلى دراسة على مستوى متناهي الصغر (تقنية الميكرو أو النانو) لمعرفة تغير التركيب النسيجي الدقيق للعينات المختبرة. وأخيراً يوصى بتوسيع نطاق هذه التجارب وتطبيقها على منشآت ومستودعات حفظ تجارية وللعديد من المنتجات الزراعية.

5- المراجع

الهلال، إبراهيم والحمدان، عبدالله. 1429هـ. مقارنة تشغيل وأداء نظم وظروف تخزين مختلفة للتمور. مقدمة للنشر في مجلة مركز البحوث الزراعية.

دسوقي، إ.؛ الجيزاوي، أ.؛ عبدالعظيم، م.؛ و منتصر، أ. 2001. *تكنولوجيا تخزين وتصدير الحاصلات البستانية*. مركز التعليم المفتوح. جامعة عين شمس. مصر.

حسن، أحمد عبد المنعم . 1988. *أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية*. الدار العربية للنشر والتوزيع. القاهرة.

الحمدان، عبدالله محمد، وبكري حسين حسن. 2002. التقرير النهائي لمشروع أت-18-48 "الخواص الميكانيكية للتمور السعودية". مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. الرياض.

Abbott, J. A.; and L. A. Liljedahl. 1994. Relationship of sonic resonant frequency to compression tests and Magness Taylor firmness of apples during refrigerated storage. Transactions of the ASAE. 37 (4): 1211 1215.

Acedo, A. L. Jr. 1997. Ripening and disease control during evaporative cooling storage of Tomatoes. Tropical-Science. 37(4): 209-213.

Ananthakrishna, S.; J. S. Dhanara.; M. Ramakrishnarajan and, V. Govindarajan. 1983. Instrumental quality measures: development, standardization and their correlation to the sensory attributes in apple. Journal of food science and technology, India., 20 (2): 57-62.

Christenbury, G. D.; J. W. Rushing and M. Mejia. 1995. Field experiences with vegetable cooling devices for small farmers. Harvest and postharvest technologies for fresh fruits and vegetables. 9-14. ASAE, St Joseph.

Dobrzanski-B; R. Rybczynski; and I. Szot. 1995. Mechanical properties of apple skin during storage. Materialy ogolnopolskiej konferencji naukowej Nauka praktyce. 85-88.

Gobalakrishna, K. P.; J. Prakash; and R. Pierik. 1991. Evaporative cool storage of tomato fruits. Horticulture-new technologies and applications. Current plant science and biotechnology in agriculture. 12.

Jain, Dilip. 2007. Development and testing of two-stage evaporative cooler. J. Building and Environment. 41:2549-2554. Elsevier Ltd.

Kader, A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Agriculture and Natural Resources. Publication 3311. 511-518.

Linke, M. and M. Geyer. 1999. Atmospheric evaporation for keeping fruit and vegetables fresh. Landtechnik. 54(3): 170-171.

Lutz, J. M. and R. E. Hardenburg. 1966. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U.S. Dept. Agric., Agri. Handbook. 66.

Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. 2nd ed., New York, Gordan and Breach Science Publisher.

Nelson, P. V. 1991. Greenhouse operation and management. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Puchalski, C.; Gorzelany; Z. Goracy. 1994. The effect of maturity and harvest date on firmness of strawberry fruit. Paper presented at seminar on agronomical properties of strawberry fruit. Nitra. Czechoslovakia, 11-13 October 1993.

Smith, L. 1958. How to design controlled environment for best greenhouse growing conditions. Heating, Piping and Air Conditioning 66: 41-46.

Smith, R. 1992. Controlled atmosphere storage of Redcoat strawberry fruit. Journal of the American Society for Horticultural Science. 117 (2): 260-264.

Willits, D. H. 1993. Greenhouse cooling. North Carolina Flower Growers' Bulletin, 38 (2): 18-18.

Res. Bult., No. (165), Food Sci. & Agric. Res. Center, King Saud Univ., pp. (5-35) 2008

Effect of Four Storage Systems on Physical and Mechanical Properties of Dates (Khlass variety)

Abdullah M. Alhamdan and Ibrahim M. Al-Helal

ABSTRACT: The effects of four storage systems on physical and mechanical properties of dates (Khlass variety) were experimentally measured for a period of 6 months. The first storage was supplied with a refrigerated air cooler that was on/off automatically operated based on inside air temperature. The second storage was equipped with an evaporative cooler unit that was operated automatically by controlling ventilation rate and water addition rate to the cooling pads based on inside temperature and relative humidity. For the third storage, cooling was supplied by a similar evaporative cooler but operating with on-off control with constant rates of ventilation and water supply to the pad based on inside temperature only. The fourth storage was supplied with air vents to simulate natural ventilation. Initially physical properties of fruits including dimensions, volume, mass, and density were measured. In addition moisture content and water activity were measured during storing periods. Mechanical properties of dates (compression and penetration) were measured by texture profile analyzer utilizing compression plate and needle to fully ripen dates (including pits).

Results showed that mass of dates was increased significantly during storage in the cooled storages because of the high levels of relative humidity in those rooms. These results were supported by the increase of moisture content and water activity in the cooled storages. However, in the naturally ventilated storage, dates lost much of their mass due to the low relative humidity at ambient. In the cold storages, mechanical resistance of compression decreased from 87.54 N.mm for fresh dates to 12.09 N.mm, 17.66 N.mm and 20.43 N.mm for refrigerated air cooler, fully automated evaporative cooler, and semi-automatic evaporative cooler storages, respectively. In the contrary, mechanical resistance increased for dates stored under natural ventilation conditions from 87.54 N.mm of fresh dates to 241.17 N.mm after six months of storage. Work necessary to penetrate samples increased 20 folds for samples of natural ventilation storage compared to those stored in refrigerated air cooler storage. This is due to the low relative humidity at ambient. Results were comparable in the effect of storage conditions on compression and penetrations tests. Some dates started to deteriorate with apparent of fungi rotten growth on the surface of fruits at the end of the experiment in the refrigerated air cooler storage due to the high levels of inside relative humidity. Under natural ventilation, dates texture become hard and dust were accumulated on its surface. Further research studies are needed to examine various storage conditions with different types of packaging.

Department of Agricultural Engineering, College of Food and Agricultural Sciences, King Saud University, Riyadh-11451, Saudi Arabia Email: alhamdan@ksu.edu.sa