المجلة الليبية للعلوم الزراعية
المجلد (19): العددان (2.1) 2014

ورقة أصيلة

تحديد منحنيات التوازن الحراري Isotherms للزميطة كغذاء تقليدي وتوقع مدة الصلاحية لها.

أحمد علي أسمير[1]، سهيلة محمد أبوشعالة[1]، مفتاح علي عزوز[1]، رمضان الصالحين عبد القادر[2]

1. قسم علوم الأغذية - كلية الزراعة - جامعة طرابلس
2. قسم الصناعات الغذائية- كلية الزراعة- جامعة عمر المختار

المستخلص

تعتبر الزميطة من الأغذية التقليدية الجافة في ليبيا، والتي قد يحدث لها بعض التغيرات إذا ما خزنت تحت ظروف غير مناسبة من الرطوبة ودرجة الحرارة. ونظراً لقلة الدراسات حول الخصائص الطبيعية والظروف التخزينية لهذه الأغذية التقليدية فقد صممت هذه الدراسة بغية التعرف على منحنيات التوازن الحراري وإيجاد الظروف التخزينية المناسبة لهذه الأغذية.

استهدفت هذه الدراسة تأثير درجات الحرارة والرطوبة النسبية على النشاط المائي ومدة صلاحية الزميطة، حيث جمعت العينات من ثلاث مناطق مختلفة في ليبيا (مسلاته، الزاوية، قصر الأخيار). قدر محتوى الرطوبة للعينات باستخدام جهاز Ultra- X وطريقة الفرن الحراري وفقاً لطريقة AOAC, (1980)، ولإيجاد منحنيات التوازن الحراري تم وضع العينات في حجرات تحضين عند خمس درجات حرارة 20 °م، 25 °م ، 30 °م ، 35 °م و40 °م لكل درجة حرارة سبع مستويات من الرطوبة النسبية باستخدام طريقة المحاليل الملحية المشبعة بمدى يتراوح من 13.4 % إلى 85.4 %، واستغرقت عملية الاتزان مابين 3- 5 أسابيع. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية باستخدام اختبار عزل المتوسطات (Duncan) للعينات، حيثُ بلغ متوسط محتوى الرطوبة المبدئي لعينات الزميطة 7.0%، 3.5%، 5.8% على التوالي للمناطق الثلاث، ومن خلال النتائج تبين أن أفضل منحنيات التوازن الحراري لعينات الزميطة كانت عند درجة حرارة 25 م^0، 30 م^0، 35 م^0 كما لوحظ أن النشاط المائي لجميع عينات الزميطة يتزايد بزيادة درجة الحرارة عند محتوى رطوبة ثابتة بينما ينخفض محتوى الرطوبة للعينات مع زيادة درجة الحرارة.

تم إيجاد مدة الصلاحية على أساس محتوى الرطوبة الحرج عند درجتي حرارة 25 °م ، 35 °م وكانت النتائج عند 25 °م أفضل منها عند 35 °م، حيث بلغت عند درجة حرارة 25 °م لعينات المناطق الثلاث 126، 210، 210 يوماً، بينما عند 35 °م كانت 82، 106، 70 يوما على التوالي. وبناءً على هذه النتائج وجد إن أفضل درجة حرارة لتخزين هذه الأغذية هي 25 °م بحيث لا تتعدى الرطوبة النسبية 55%.

الكلمات الدالة : الزميطة، منحنيات التوازن الحراري ، النشاط المائي، المحاليل الملحية المشبعة، مدة الصلاحية ، الرطوبة النسبية المتزنة.

للاتصال: أحمد علي اسمير
هاتف: 218917320977+
قسم علوم الأغذية- كلية الزراعة – جامعة طرابلس
البريد الالكتروني: esmierali@yahoo.com.
استلمت بتاريخ: 2012/03/30
أجيزت: 2014/12/01

المقدمة

تعتبر الزميطة من المنتجات الغذائية الجافة والتقليدية في ليبيا ، وقد يحدث لها العديد من التغيرات الميكروبية، الفيزيائية والكيميائية، إذا ما خزنت تحت ظروف غير مناسبة من الرطوبة ودرجة الحرارة نتيجة للتغيرات التي قد تحدث في النشاط المائي. ويعتبر قياس النشاط المائي لهذه الأغذية من الأمور الهامة في ثباتية هذه الأغذية الجافة (Prior, 1979) و (Anthony *et al.*, 2002). كما إن النشاط المائي يتغير باختلاف درجة حرارة التخزين (Labuza, 1985).

يعد النشاط المائي (a_w) من المعايير المهمة لتحديد ثباتية المواد الغذائية الجافة، وهو دلالة على توازن محتوى الرطوبة ودرجة الحرارة، كما يعد أمر أساسي للسيطرة على محتوى الماء خلال عمليات التصنيع والتغليف والتخزين والمناولة ومن أهم الظواهر غير المرغوبة فيها التحول لعجينة أو التكتل وما يصاحبها من فقدان للجودة، وتعد هذه المشاكل واسعة الانتشار في الصناعات الغذائية لعلاقتها بالتغيرات الفيزيائية والكيميائية حسب ما ذكره (Arya,1990)، ولأن الماء مكون رئيس للأغذية بالإضافة إلى الكربوهيدرات، البروتينات، الدهون والأملاح المعدنية، وهذه المكونات في ظروف معينة من درجة الحرارة والرطوبة يمكن أن تتداخل مع الماء وتتسبب في حدوث ظواهر غير مرغوبة، منها على سبيل المثال الاسمرار غير إلانزيمي وأكسدة الدهون وتكسير الفيتامينات ودنثرة البروتين أثناء التجفيف والتخزين والمناولة. لذا تعتبر كمية الماء المتاحة في الغذاء عامل مهم لتحديد صلاحية الأغذية، إلا أن معرفة محتوى الرطوبة لوحده ليس كافياً لتوقع ثباتية الأغذية فبعضها تكون غير ثابتة عند محتوى رطوبة منخفض، في حين أن البعض الآخر ثابتة عند محتوى رطوبة مرتفع نسبياً نظراً لاحتوائها على مواد رابطة للماء والتي منها المواد النشوية على سبيل المثال .

معظم التفاعلات الميكروبية يتم تثبيطها عند مستوى (a_w) أقل من 0.6 (Labuza, 1984)، ولكن القليل من التفاعلات الكيميائية تحدث عند قيم منخفضة جداً من النشاط المائي وبصورة عامة فإن الانخفاض في قيم النشاط المائي تعيق تفاعلات الاسمرار غير الإنزيمي ويحد من أكسدة الدهون بالتحلل المائي، إلا أن الزيادة قد تؤدي إلى تكوين نكهات وروائح غير مرغوبة إضافة إلى فقدان الفيتامينات الذائبة في الدهن بسبب طبيعتها الهشة نسبياً. لذلك فإن الحفاظ على المستويات الحرجة من محتوى الرطوبة والسيطرة على النشاط المائي في الغداء الجاف يحافظ على قوامه وخواصه؛ أي: خواص المنتوج إضافة إلى الثباتية وخصائص إعادة الترطيب التي في مجملها مؤشرات هامة لجودة الغذاء.

تهدف الدراسة إلى:

1. معرفة منحنيات التوازن الحراري والتي تعتبر ذات أهمية خاصة في تصميم عمليات حفظ الأغذية مثل التجفيف، التغليف والتخزين المطلوبة لتوقع ثباتيتها ومدة صلاحيتها.
2. دراسة تأثير بعض درجات الحرارة على النشاط المائي لهذه الأغذية وما يتبعها من تغيرات في الجودة والثابتية ومدة الصلاحية.
3. تحديد ظروف التخزين المثلى لهذه الأغذية ووضع الاشتراطات لظروف التخزين من حيث درجة الحرارة والرطوبة النسبية.

مواد وطرائق البحث

1. تجميع وتجهيز العينات:

جمعت مكونات الزميطة من ثلاث مناطق مختلفة هي مسلاته، الزاوية، قصر الأخيار، بواقع مرة واحدة شهرياً، وبدأت الدراسة في شهر مايو سنة 2005 واستمرت إلى شهر مارس 2006. تم تنظيف المكونات وذلك بنزع الشوائب والمواد الغريبة العالقة بها، وتم تجهيزها بغسل حبوب الشعير بطريقة الغمر عدة مرات ومن ثم تجفيفها وتحميصها بالطريقة الشعبية المعروفة (شعير محمص) باستعمال التحميص بالرمل مع التحريك دوريا لغرض منع احتراق حبوب الشعير وتسهيل عملية نزع الغلاف الخارجي، ولم يتم إضافة الملح أو السكر أثناء تجهيز العينات؛ لأن كلاهما يعتبر من المواد المدمصة للماء (Jose *et al.*, 2001).

تم مزج العينة جيداً بعد عملية الطحن وشكلت على شكل هرم، بعدها قسمت إلى أربعة أقسام أُخذ منها ربع وتم خلطها من جديد وأُخذ ربع آخر بحيث تكون العينات متجانسة، وهكذا حتى تم الحصول على المكررات الثلاث لكل عينة وبلغ حجم كل عينة 300 جرام.

2. تقدير محتوى الرطوبة المبدئي للعينات باستخدام الفرن الهوائي:

قدر محتوى الرطوبة باستخدام الفرن الهوائي نوع (Memmert-TV27U) وفقاً لطريقة (AOAC, 1980) Association of analytical chemists وذلك بتجفيف 5 جرام من عينة الزميطة (ثلاث تكرارات) على درجة حرارة 105 °م حتى يتم الحصول على قراءتين متتاليتين متماثلتين.

3. تحضير المحاليل الملحية المشبعة:

حضرت المحاليل الملحية المشبعة تبعاً لطريقة (Labuza,1984) وذلك بإذابة الأملاح الكيميائية في الماء المقطر عند درجة حرارة 70 °م وذلك للرفع من مستوى تشبع المحلول وزيادة الذوبانية، ووضعت في الجزء السفلي من المفرغ الهوائي وعند درجات حرارة 20 °م، 25 °م، 30 °م، 35 °م، 40 °م. حيثُ يوفر كل محلول عند درجة حرارة معينة رطوبة نسبية ثابتة، وتم التأكد من الرطوبة النسبية باستخدام جهاز قياس الرطوبة النسبية نوع (VAISALA Humidity& Temperature Indicator HTI 31) ولغرض إعطاء رطوبة نسبية متزنة أو نشاط مائي ضمن مدى 11.4 - 85.5%، تم استخدام الأملاح الكيميائية لتحضير محاليل مشبعة كما هو موضح بالجدول رقم (1) الذي يوضح أنواع الأملاح المستخدمة وقيم النشاط المائي (النشاط المائي = الرطوبة النسبية المتزنة مقسوما على 100) المتوقع لهذه الأملاح، وقورنت قيم النشاط المائي مع القيم المتحصل عليها من المحلول الملحي بنتائج النماذج الرياضية الموجودة في جدول رقم (2) عند كل درجة حرارة.

جدول 1. أنواع المحاليل الملحية المشبعة المستخدمة وقيم النشاط المائي لها.

نوع الملح	الرمز الكيميائي	a_w(النشاط المائي)
كلوريد الليثيوم	LiCl	0.13
كلوريد الماغنسيوم	$MgCl_2$	0.35
كربونات البوتاسيوم	K_2CO_3	0.45
ماغنسيوم نيتريت	$Mg(NO_3)_2$	0.55
نيترات الصوديوم	$NaNO_2$	0.65
كلوريد الصوديوم	NaCl	0.75
كلوريد البوتاسيوم	KCl	0.85

4. وضع العينات داخل حجرات التحضين:

وضعت العينات في حجرات التحضين تبعا لطريقة (Khalloufi *et al.*, 2000) وذلك بوزن حوالي 5 جرام من العينة في أطباق بتري زجاجية نظيفة ومعقمة ومجففة ووضعها في المفرغ الهوائي الذي يحتوي على المحلول المشبع المحضر سابقاً، ثم وضعت العينات في الحضانة عند درجات حرارة 20 °م ،25 °م ، 30 °م ، 35 °م ، 40 °م ولوحظت حتى

جدول 2. النماذج الرياضية لحساب النشاط المائي لكل المحاليل المشبعة.

الملح	درجة الحرارة بالكلفن (T)	معامل الارتباط R^2
LiCl	Ln a_w=500.95(1/T)-3.85	0.975
$MgCl_2$	Ln a_w=303.35(1/T)-2.13	0.995
K_2CO_3	Ln a_w=145.0(1/T)-1.3	0.967
$Mg(NO_3)_2$	Ln a_w=356.6(1/T)-1.82	0.987
$NaNO_2$	Ln a_w=435.96(1/T)-1.88	0.974
NaCl	Ln a_w=228.92(1/T)-1.04	0.961
KCl	Ln a_w=367.58(1/T)-1.39	0.967

وصلت إلى درجة التوازن (حتى يكون الفرق بين القراءتين اقل من 1ملليجرام/جرام مادة صلبة) حيث أخذت عملية الاتزان من أربع إلى خمس أسابيع.

5. استخدام برنامج إيجاد منحنيات التوازن:

تم تصميم برنامج من قبل أحد المبرمجين والذي يشبه البرنامج المستخدم من قبل الباحث (Labuza, 2002) المسمى بـ (Isotherm Program) والذي كان محميا لذلك لم نستطيع استخدامه. من خلال هذا البرنامج تم إدخال المعلومات المتعلقة بكل عينة (محتوى الرطوبة الثابتة، النشاط المائي ووزن العينة قبل وبعد عملية الاتزان لثلاث تكرارات عند كل درجة حرارة موضوع الدراسة)، ومن خلال هذا البرنامج يتم رسم منحنى التوازن الحراري للعينات الثلاث كما هو موضح بالشكل (1 و 2) (Labuza, 1986).

يتم إيجاد محتوى الرطوبة الحرج (تقع عند بداية تحول الخط المستقيم المفروض على المنحنى المرسوم إلى منحنى وإسقاط خط مستقيم يوازي محور الصادات ويقطعه في نقطة، هذه النقطة تمثل الرطوبة الحرجة). ثم إيجاد ميل الخط المستقيم (b) المفروض على منحنى التوازن الحراري والموضح في الشكل (2) (Viollaz *et. al.*, 1978).

تم إدخال بقية البيانات التلية, نفاديه الغلاف المستخدم في تغليف عينات الزميطة باستخدام جهاز (FTIR25) ضغط بخار الماء عند كل درجة حرارة موضوع الدراسة مساحة مادة التغليف المستخدمة ووزن المواد الصلبة في العينة حسب النموذج الرياضي التالي :

$$ln\left[\frac{me-mi}{me-mc}\right] = \frac{k}{x} * \frac{po}{b} + \frac{A}{ws} * t$$

me: محتوى الرطوبة المتزن.

mi: محتوى الرطوبة الابتدائي.

mc: محتوى الرطوبة الحرج (تقاطع خط منحنى التحارر مع محور محتوى الرطوبة)

k/x: نفاذية الغلاف المستخدم ($gH_{2o}/day/m^2$/) (mmHg)

A: المساحة الكلية.

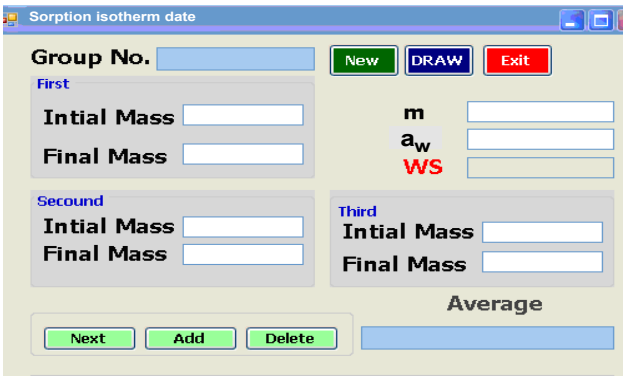
ws : وزن المواد الصلبة الجافة.

po: ضغط بخار الماء النقي عند درجة الحرارة المعينة.

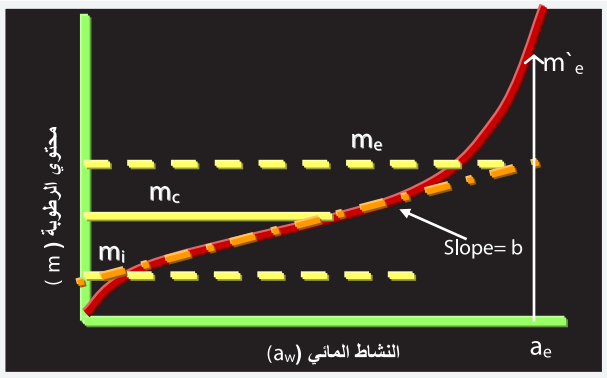
b الميل: يمكن الحصول عليه من منحنى التوازن الحراري (الجزء المستقيم منه الذي يمثل معظم التغيرات التي يمكن أن تحصل للمادة الغذائية الجافة أثناء التخزين).

t: الزمن باليوم (مدة الصلاحية).

وتعتبر هذه الاختصارات هي عبارة عن البيانات المدخلة والمخرجة في البرنامج الرياضي.



شكل1. البرنامج المستخدم لإيجاد منحنيات التوازن الحراري (Sorption isotherm)



شكل 2. منحنى التوازن الحراري (Isothermal curve)

6. استخدام جهاز FTIR25 (Fourier Transfer Infrared Spectroscopy):

يستخدم هذا الجهاز لمعرفة نوع الغلاف المستخدم والتعرف على مدى نفاذية بخار الماء، وهو يستخدم في التحليل الكمي والنوعي للمجموعات الفعالة التي تختلف طبيعة امتصاصها للأشعة وإن الامتصاص الناتج يتعلق بنوع الذرات والمجاميع الوظيفية للمركب.

يقيس هذا الجهاز عند رقم موجي 600 -4000 سم$^{-1}$ ، حيث يتم إدخال العينات آليا ومن تم مقارنتها بالقياسي (Standard) حتى يتسنى التعرف على نوع الغلاف المستخدم والتأكد من أنه عديد الاثيلين منخفض الكثافة (LDPE) ومن تم التعرف على مدى نفاذيته لبخار الماء.

النتائج والمناقشة

1. الرطوبة المبدئية للعينات المدروسة:

يبين الجدول (3) محتوى الرطوبة المبدئية للعينات المدروسة باستخدام طريقة الفرن الهوائي حيثُ سجلت عينات الزميطة أقل محتوى رطوبة بـ 3.5 جرام/ 100 جرام لعينة الزاوية يليها عينة قصر الأخيار 5.8 جرام/ 100 جرام وأعلاها عينة الزميطة بمسلاته بـ 6 جرام/ 100 جرام.

جدول 3. متوسط محتوى الرطوبة المبدئي (جرام / 100 جرام) عينة باستخدام الفرن الهوائي.

العينة	محتوى الرطوبة المبدئي
مسلاته	0.3 ± ^{a} 6.00
الزاوية	0.1 ± ^{b}3.57
قصر الأخيار	0.2 ± ^{c}5.89

2. الرطوبة النسبية وقيم النشاط المائي للمحاليل الملحية المشبعة:

يتبين من الجدول (4) قيم النشاط المائي والمدى الذي يوفره كل ملح من الأملاح المستخدمة عند درجات الحرارة موضوع الدراسة (20 م° ، 25 م°، 30 م° ، 35 م° ، 40 م°) المقاسة بواسطة جهاز (VAISALA Humidity & Temperature Indicator HTI) 31 حيثُ كانت قيمة النشاط المائي مابين 0.134 عند درجة حرارة 20 م° و 0.142 عند درجة حرارة 40 م° وارتفعت قيمة النشاط المائي إلى 0.35 عند درجة حرارة 20 م° باستخدام كلوريد الماغنسيوم، وازداد ارتفاع النشاط المائي باستخدام كربونات البوتاسيوم إلى 0.463 عند نفس درجة الحرارة يليها نيتريت الماغنسيوم، نيترات الصوديوم، كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم بـ 0.554، 0.676،

0.842 عـلى التـوالي. بحيـث يكـون عنـد مـدى مـا بـين 0.134 - 0.842 عنـد كل درجـة حـرارة مـع اختـلاف بسـيط مـع كل ارتفـاع في درجـات الحـرارة، وهـذا يتفـق مـع الدراسـة التـي أجراهـا(1983) Scottوالتـي ذكـر فيهـا إن التشريعـات المذكـورة سـابقاً في منضمـة الأغذيـة والأدويـة (FDA) التـي نشرتهـا AOAC في طـرق معايـرة قياسـية والتـي تحتـاج لاسـتعمال خمسـة أمـلاح عـلى الأقـل في درجـة حـرارة 25 ± 1 م^0 لتحديـد التـوازن بتسـجيل القياسـات عـلى فـترات دوريـة حتـى يصبـح الاختـلاف في النشـاط المائـي أقـل مـن 0.01 وحـدة. وتـم مقارنـة هـذه النتائـج مـع مـا توفـر مـن هـذه الأمـلاح مـن قيـم للنشـاط المائـي حسـابياً باسـتخدام النـماذج الرياضيـة الموضحـة بجـدول (5)، وبالرغـم مـن الاختـلاف بـين النتائـج المسـجلة بواسـطة جهـاز قيـاس النشـاط المائـي مـع نتائـج النـماذج الرياضيـة يبقـى وجـود فـروق بسـيطه لا تؤثـر في منحنيـات التـوازن الحـراري.

3. منحنيات التوازن الحراري لعينات الزميطة.

انشـأت منحنيـات التـوازن الحـراري حسـب الطريقـة التـي ذكرهـا كلا مـن (Labuza, 2002) و (Pioter,1997). يتضـح مـن خـلال الأشـكال (3)، (4)، (5) لعينـات الزميطـة انخفـاض محتـوى الرطوبـة نتيجـة لتعريضهـا لعمليـة التحميـص أثنـاء إعـداد العينـات ولوحـظ أن أفضـل هـذه المنحنيـات كانـت عنـد درجـة حـرارة 25 °م، 30 °م، 35 °م، بينـما لم تمثـل منحنـى التـوازن الحـراري بشـكل جيـد عنـد درجـة حـرارة 20 °م، 40 °م وهـذا راجـع إلى أن عنـد درجـة حـرارة 20 °م حصـل تذبـذب بارتفـاع وانخفـاض في قيـم النشـاط المائـي والرطوبـة المتزنـة للعينـات حيـث حدثـت بهـا نمـوات فطريـة عنـد مسـتويات

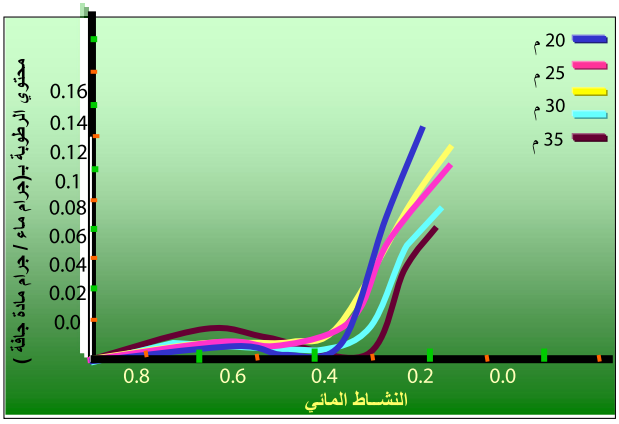
جدول 4. قيم النشاط المائي الذي تم الحصول عليه باستخدام المحاليل الملحية المشبعة عند درجات الحرارة لهذه الدراسة.

درجة الحرارة / الملح	20 °م	25 °م	30 °م	35 °م	40 °م
			a_w		
LiCl	0.134	0.144	0.147	0.143	0.142
$MgCl_2$	0.350	0.341	0.367	0.35	0.322
K_2CO_3	0.463	0.445	0.475	0.438	0.431
$Mg(NO_3)_2$	0.554	0.542	0.546	0.546	0.531
$NaNO_2$	0.676	0.659	0.651	0.632	0.629
NaCl	0.756	0.778	0.752	0.743	0.738
KCl	0.842	0.850	0.848	00.82	0.812

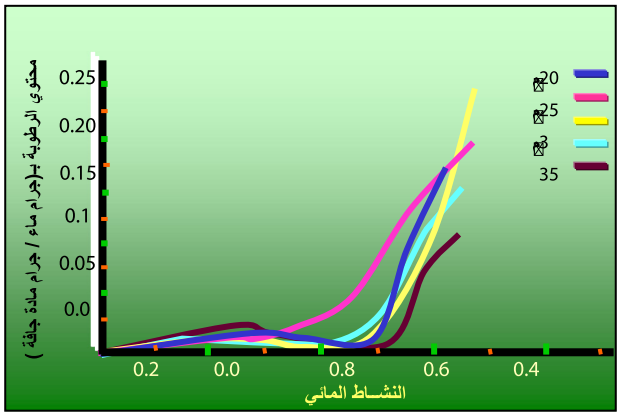
جدول 5. قيم النشاط المائي المتحصل عليها من خلال النماذج الرياضية النظرية عند درجات حرارة موضوع الدراسة.

درجة الحرارة / الملح	20 °م	25 °م	30 °م	35 °م	40 °م
			a_w		
LiCl	0.117	0.114	0.111	0.108	0.105
$MgCl_2$	0.334	0.328	0.323	0.318	0.313
K_2CO_3	0.447	0.443	0.439	0.436	0.433
$Mg(NO_3)_2$	0.547	0.536	0.525	0.515	0.506
$NaNO_2$	0.675	0.658	0.643	0.628	0.614
NaCl	0.772	0.761	0.752	0.743	0.734
KCl	0.873	0.855	0.837	0.821	0.806

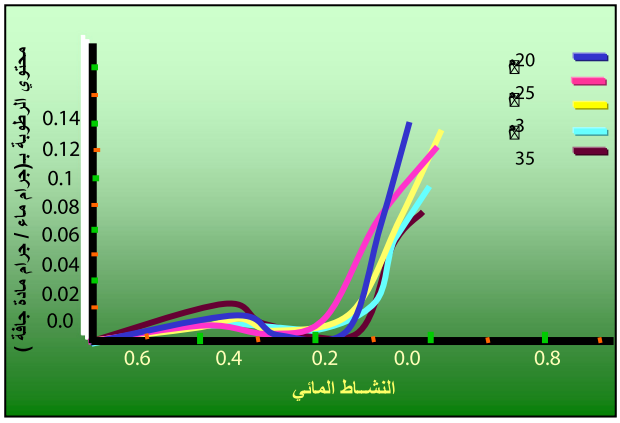
عالية من الرطوبة مما أدى إلى تأخر عملية الاتزان حتى الأسبوع السابع، أما في درجة حرارة 40 °م حدثت عملية الاتزان سريعاً فقد استغرقت ثلاث أسابيع فقط وقد استبعد منحنى التوازن الحراري عند هذه الدرجة, ونلاحظ من هذه الأشكال أن النشاط المائي يزداد بزيادة درجات الحرارة عند محتوى رطوبة ثابتة بينما محتوى الرطوبة النسبية المتزنة ينخفض مع زيادة درجة الحرارة.



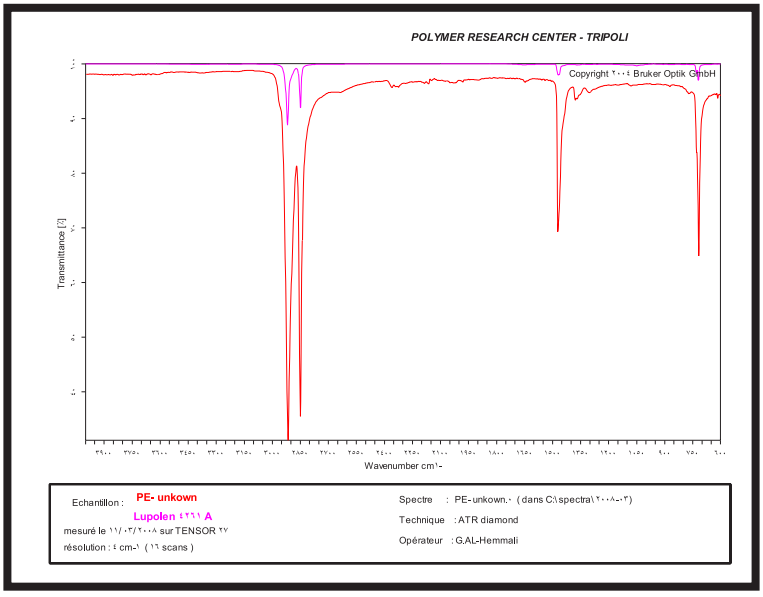
شكل 3. منحنى التوازن الحراري Isotherm لعينة الزميطة (مسلاته) .



شكل 4. منحنى التوازن الحراري isotherm لعينات الزميطة (الزاوية).



شكل 5. منحنى التوازن الحراري isotherm لعينات الزميطة) قصر الاخيار).

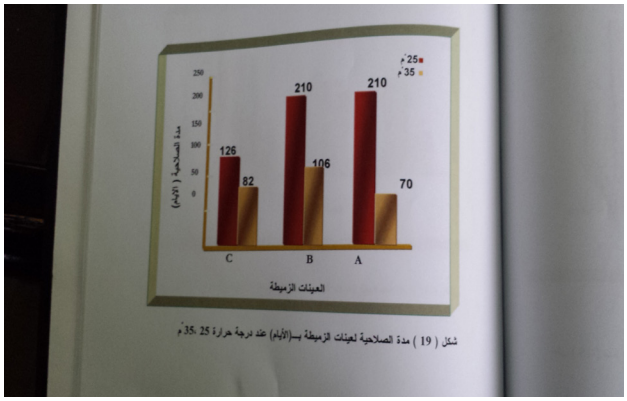


شكل 6. كيفية التعرف على نوع مادة التغليف.

يوضح الشكل (6) كيفية التعرف على نوع مادة التغليف المستخدمة باستخدام جهاز FTIR25 حيث يتضح من خلال الأطياف الضوئية السبكترا (Spectra) للعينة الموضحة باللون البنفسجي ومقارنتها بالقياسي (Standard) لعديد الإثيلين منخفض الكثافة، وهو موضح باللون الأحمر أنها من نوع بولي إثيلين منخفض الكثافة. وبما أن نفاذية البولي إثيلين منخفض الكثافة لبخار الماء = (0.64 - 0.16) $gH_2O/day/m^2/mmHg$ وبذلك يمكننا حساب مدة الصلاحية باستخدام النموذج الرياضي المشار إليه في مواد وطرق البحث حيث كانت مساحة مادة التغليف 0.2 م ^{2} ووزن المادة الجافة 1000 جرام واختلاف ضغط بخار الماء النقي باختلاف درجة الحرارة المستخدمة, حيثُ تم حساب مدة الصلاحية عند درجتي 25 °م وضغط 163 ملم زئبق و35 °م و ضغط 290.7 ملم زئبق.

4. تقدير صلاحية عينات الزميطة على أساس النموذج الرياضي:

أخذت العينات عند درجتي حرارة 25 °م و35 °م لأنهما كانتا أحسن درجتي حرارة تمثل منحنى التوازن الحراري، حيث نلاحظ من الشكل رقم (7) أن مدة الصلاحية المقدرة لعينات الزميطة الثلاث (مسلاتة A, الزاوية B، قصر الاخيار C) عند درجة حرارة 25 °م كانت 210 ، 210 ، 126 يوماً ثم انخفضت إلى 70، 106، 82 يوم عند درجة حرارة 35 °م على التوالي، هذه النتائج تتفق مع Nobile *et al.*, (2003).



شكل (19) مدة الصلاحية لعينات الزميطة بـ(الأيام) عند درجة حرارة 25 ،35 م°

شكل 7. مدة الصلاحية لعينات الزميطة الثلاث عند درجات حرارة 25 °م و35 °م.

المراجع

1. Anthony, J. and Foatana, J. 2002. Measurement of water activity. Journal of Food Engineering. 30 (3): 15-45.
2. Arya, S.S. and Parihar, D.B. 1981. Effect of moisture and temperature on storage changes in lipids and carotenoids of ATTA (wheat flour). Journal of Food Science. 48 (25):121-126.
3. Arya,S.S.1981.Effect of water activity on storage changes in total carotenoids and lipids in bengalgram (Cicer arietinum) Dhal and flour. Journal of Food Science and Technology .18 (4):139-143.
4. AOAC.1980.Official Methods of Analysis.13th.ed. Association of official Analytical Chemists, Washinton. DC. U.
5. Jose, F.C.; Antonio,C. and Alberto,M.S. 2001. Water activity at 35°C in sugar + water and sugar + sodium chloride + water systems. International Journal of Food Science and Technology. 36:655-661.
6. Khalloufi, S.; Glasson, J. and Ratti, C. 2000. Water activity of freeze dried mushrooms and barriers. Canadian Agriculture Engineering 42 (1) : 51-56.
7. Labuza, T.P. 2002 . IFT short course water activity and

sorption Isotherms. Journal of Food Engineering. 30 (18): 120- 223.

8. Labuza, T. P. 1986. Moisture sorption practical aspects of isotherm measurements and use .1st ed. St. Paul, MN. American Association of Cereal Chemist.

9. Labuza, T.P.; Kanane, A. and Chen, J.Y. 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. Journal of Food Science. 50 (2):385-391.

10. Labuza, T. P. 1984. Moisture sorption particle aspects of isotherm measurement and use. Journal of Food Science. 62 (10):118-203.

11. Nobile, M. A.; Baonocore, G.G.; Limbo, S. and Fara, P. 2003.Shelf life prediction of cereal- based dry food packed in moisture- sensitive films. Journal of Food Science. 68 (4):1292-1300.

12. Pioter, P. L. 1997. Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures. Journal of Food Engineering. 52 (32):47-68.

13. Prior, B. A. 1979. Measurement of water activity in foods: A review. Journal Food Protection. 42 (8):668-674.

14. Scott, V. N. and Bernard, D. T. 1983. Influence of temperature on the measurement of water activity of food and salt systems. Journal of Food Science .50 (48):552-554.

15. Viollaz, P.; Chirife, J. and Iglesius, A. 1978. Slopes of moisture sorption isotherm of foods as a function of moisture content. Journal of Food Science. 62(43):606-608..