تأثير إضافة دقيق الكينوا على الخصائص الفيزيوكيميائية والحسية للخبز العربي خلال التخزين

هبة شتور[1] ، محمد مصري[2]، شريف صادق [3]

الملخص

تُعدّ الكينوا من الحبوب عالية القيمة الغذائية، لما تحتويه من بروتينات متوازنة وألياف ومعادن أساسية، وتكتسب إضافتها للخبز أهمية كبيرة لتحسين الخصائص التغذوية والحسية للمنتجات المخبوزة. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5–10–15–20–25–30)% إلى دقيق القمح المستخدم في صناعة الخبز العربي على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للمنتج النهائي، وذلك من خلال دراسة الرطوبة، النشاط المائي، الرماد، الألياف الخام، الصلابة، الوزن ومردود الخبز خلال فترة تخزين 14 يوماً.

أظهرت النتائج أن دمج دقيق الكينوا أدى إلى زيادة معنوية في محتوى الرطوبة، الرماد، الألياف الخام، والوزن مقارنة بعينة الشاهد، مما يعكس تحسين القيمة الغذائية للمخبوزات. كما لوحظ أن النشاط المائي للخبز المدعّم بنسبة متوسطة (15–20)% حافظ على ثباته أثناء التخزين المبرد، ما يشير إلى قدرة أعلى للعجين على الاحتفاظ بالماء وتأخير ظاهرة بيات الخبز. أما الصلابة، فقد ارتفعت مع زيادة نسبة الكينوا، لكنها أظهرت ثباتاً نسبياً خلال فترة التخزين، مما يعكس تأثيراً مزدوجاً للإضافة في زيادة الصلابة الأولية وتقليل التصلب الناتج عن التخزين. من ناحية الحسية، أظهرت العينات المدعمة بنسبة (20)% قبولاً جيدًا من حيث اللون، الطعم والقوام، بينما أصبحت نسب الإضافة الأعلى (25–30)% أقل مقبولية نتيجة

ضـعف بنية الغلوتين ومرونة العجين. أشـارت النتائج أيضـاً إلى أن إضـافة الكينوا يمكن أن تحسـن مردود الخبز واستقراره خلال التخزين

.**الكلمات المفتاحية:** دقيق القمح، دقيق الكينوا، الخبز العربي، الصلابة.

1 قائم بالأعمال في قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة حمص.
2 أستاذ في قسم علوم الأغذية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص.
3 استاذ في قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة حمص.

Effect of Quinoa Flour Addition on the Physicochemical and Sensory Properties of Arabic Bread During Storage

Heba Shatour [1], Mohamed Masry[2], Sharif Sadeq [3]

Abstract

Quinoa is considered a highly nutritious grain due to its balanced proteins, dietary fiber, and essential minerals. Its incorporation into bread is of great importance for improving the nutritional and sensory properties of baked products. This study aimed to evaluate the effect of adding quinoa flour at different levels (5, 10, 15, 20, 25, and 30) % to wheat flour used in Arabic bread production on the physical, chemical, and sensory characteristics of the final product. Parameters such as moisture content, water activity, ash, crude fiber, hardness, weight, and bread yield were monitored over a 14-day storage period.

The results showed that incorporating quinoa flour significantly increased moisture, ash, crude fiber, and weight compared to the control sample, reflecting an enhancement in the nutritional value of the baked goods. It was also observed that the water activity of bread enriched with medium levels of quinoa (15–20) % remained stable during refrigerated storage, indicating a higher water retention capacity and a delayed staling process. Regarding hardness, it increased with higher quinoa levels but exhibited relative stability throughout storage, demonstrating a dual effect of the addition in increasing initial firmness while reducing storage-induced hardening. Sensory evaluation indicated that samples with (20)% quinoa were well accepted in terms of color, taste, and texture, whereas higher addition levels (25–30) % were less acceptable due to weakened gluten

structure and dough elasticity. The findings also suggested that quinoa addition could improve bread yield and its stability during storage.

Keywords: Wheat flour, Quinoa flour, Arabic bread, Hardness

1. **Acting Head** in the Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Homs.
2. **Professor** in the Department of Food Science, Faculty of Agricultural Engineering, University of Homs.
3. **Professor** in the Department of Food Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Homs.

1.مقدمة:

يُعدّ الخبز من أكثر المنتجات الغذائية استهلاكاً على مستوى العالم، مما يجعله وسطاً مناسباً للتدعيم الغذائي بهدف تحسين قيمته التغذوية والصحية. في هذا الإطار، برزت الكينوا كأحد المحاصيل غير التقليدية ذات القيمة الغذائية العالية، لاحتوائها على بروتينات ذات تركيب حمضي أميني متوازن، ونسبة مرتفعة من الألياف الغذائية، إضافة إلى المعادن المهمة مثل الحديد والمغنيسيوم والبوتاسيوم والمنغنيز، فضلاً عن المركبات الفينولية ذات الفعالية المضادة للأكسدة. وقد حظيت إضافة دقيق الكينوا إلى الخبز باهتمام واسع في الدراسات الحديثة، وعلى الرغم من وجود العديد من الدراسات التي تناولت استخدام دقيق الكينوا في المنتجات المخبوزة، إلا أن معظم هذه الدراسات ركزت على الخبز الأوروبي أو المخبوزات الغربية مثل الخبز المقولب، الكعك، والبسكويت، في حين أن الدراسات التي تناولت الخبز العربي تحديداً ما تزال محدودة، وخاصة فيما يتعلق بدراسة تغير خصائصه خلال التخزين .ويُعد هذا الأمر مهماً نظراً للاختلافات الجوهرية بين الخبز العربي والخبز الأوروبي، حيث يتميز الخبز العربي برقة طبقاته وارتفاع نسبة الرطوبة فيه، إضافة إلى اعتماده الكبير على قوة شبكة الغلوتين لتكوين الطبقتين المميزتين له، مما يجعله أكثر حساسية لأي تغيير في تركيب الدقيق المستخدم. ولكينوا دور في تحسين الخصائص التغذوية

والوظيفية للمنتجات المخبوزة، مع إمكانية الاستعاضة الجزئية عن دقيق القمح بنسب مختلفة دون التأثير السلبي الكبير في جودة الخبز. إذ تشير العديد من الدراسات إلى إمكانية تدعيم الخبز بدقيق الكينوا بنسبة تصل إلى 20٪ من وزن دقيق القمح، مما أدى إلى نتائج إيجابية في التأثير في الخصائص الانسيابية للعجين. علاوة على ذلك، ازداد محتوى البروتين في الخبز بنسبة حوالي 2٪ وبنسبة 1٪ من محتوى الزيت والألياف (Stikic *et al.*, 2012). بالإضافة إلى ذلك، ارتفع محتوى Kو Fe و Mn و Mg بمقدار الضعف مقارنة بحالة الخبز بدون إضافات. هناك إمكانية أيضاً أن يدخل دقيق الكينوا في منتجات غذائية مختلفة مثل الحليب والخبز والمشروبات، ففي الاكوادور أضاف برنامج الغذاء العالمي الكينوا إلى أغذية الإفطار لأطفال المدارس (Ritva *et al.*, 2010). بيَّن (عبدالمجيد وأخرون، 2016) نتائج الاستبدال لدقيق القمح بدقيق الكينوا بنسب استبدال قدرها(30,20,10,5)% وجود علاقة طردية بين قيم كل من محتوى الرماد والبروتين والدهون والألياف مع زيادة نسب الاستبدال بدقيق الكينوا، كما لوحظ ايضا ارتفاع المحتوى من المعادن بشكل واضح بارتفاع نسب الخلط عدا الزنك الذي لم يظهر أي فروق معنوية في كل العينات. واشارت النتائج أيضاً ان زيادة نسبة الخلط من دقيق الكينوا أدى الى خفض قوة ومرونة العجينة، وقيم الجلوتين الرطب والجاف وقيم زمن تطور العجينة وثباتيتها. في الدنمارك يتكون خبز الأشخاص الذين يعانون من الاضطرابات الهضمية من الكينوا فقط، وأظهر التقييم الحسي للنكهة والملمس والمظهر أن المنتجات مقبولة إلى حد ما، وذو قوام مقرمش وشكل فريد(Ma *et al.*, 2022) .

كما أكَّد إن إضافة نسبة 10% من دقيق الكينوا لدقيق القمح المعد لصنع الخبز، لم يكن لها تأثير ضار على الخصائص الحسية (الطعم واللون والشكل) وثبات العجين وحجم الرغيف والوزن، بينما نسب الإضافة الأعلى من 30%من دقيق الكينوا كانت ذات مذاق غير مقبول بسبب نقص معالجة البذور. وبالتالي إمكانية دمج دقيق الكينوا في المنتجات المخبوزة الخالية من الغلوتين بنسبة تصل إلى (20-30)% (Turkut *et al.*, 2016). ووضَّح(Rizzello *et al.*, 2016) أن استخدام عجينة الكينوا المخمرة أدت إلى تحسن المواد الكيميائية والصفات الحسية لخبز القمح (قابلية هضم البروتين وجودته ومعدل التحلل المائي للنشاء) مقارنة بخبز الخميرة المصنعة مع أو بدون دقيق الكينوا. فالتخمير يحسن قابلية عمل العجين

وهيكل الخبز والخصائص الحسية والتغذوية للدقيق الخام. علاوة على ذلك، فإنه يزيد من محتوى المركبات البيولوجية وامتصاص المعادن، ويقلل من مستوى العوامل المضادة للتغذية وقيمة استجابة نسبة السكر في الدم (Gobbetti *et al.*,2014). يؤخر دقيق الكينوا بيات الخبز بسبب وجود الألياف الغذائية في دقيق الكينوا التي تمنع تراجع النشاء وهجرة الرطوبة. علاوة على ذلك، زادت قدرة الخبز المضادة للأكسدة وانخفضت قابلية الهضم، والتي يمكن أن تعزى إلى وظيفة البوليفينول والألياف في دقيق الكينوا. مما جعل خبز الكينوا خبزاً وظيفياً ذو الخصائص العالية المضادة للأكسدة والمخفضة لنسبة السكر بالدم أكثر ملاءمة للإنسان من ناحية الصحة، حيث تم تحديد الكينوا على أنها غذاء منخفض المؤشر الغلايسيمي Graf *et al.*, 2014).

2. هدف البحث:

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5، 10، 15، 20، 25 و30) % إلى دقيق القمح المستخدم في صناعة الخبز العربي على الخصائص الخبيزية والفيزيائية–الكيميائية للمنتج النهائي، وذلك من خلال دراسة التغيرات في اللون، الصلابة، النشاط المائي، محتوى الرطوبة، الرماد والألياف الخام، وذلك مباشرة بعد الخبز وبعد فترات تخزين محددة، بهدف تحديد النسبة المثلى للإضافة التي تحقق توازناً بين تحسين القيمة الغذائية والمحافظة على جودة الخبز.

3. مواد وطرائق البحث:

3-1- مواد البحث: أنجز البحث باستخدام:

1. الدّقيق: تمّ استخدام دقيق القمح ذو نسبة استخراج 72 % إنتاج الشركة العامة للمطاحن في سورية. وهو مُنتج وفق المواصفة القياسيّة السّوريّة رقم 192 لعام 2002 (م.ق.س 192/ 2002).

2. الكينوا: تم الحصول على بذور نبات الكينوا من هيئة العامة للبحوث العلمية في محافظة حمص (تحسين محاصيل إيرانية) ، وتمت تنقيتها وتنظيفها وغسيلها لإزالة السابونين وتجفيفها وطُحنت ونُخللت بمناخل بفتحات قطرها 250 ميكرومتر وحفظها إلى حين إجراء الفحوصات اللازمة عليه.

ويبين الجدول (1) التركيب الفيزيوكيميائي لدقيق القمح ودقيق بذور الكينوا المستخدم في البحث.

الجدول (1) التركيب الفيزيوكيميائي (%) لدقيق القمح ودقيق الكينوا

نوع الدقيق	الرطوبة	الرماد	البروتين	الألياف
دقيق القمح	0.06±13.8	0.02±0.65	0.12±11.7	0.05±0.63
دقيق الكينوا	0.09±10.2	0.05±2.57	0.07±13.88	0.12±5.39

3-2تجربة الخبيز للخبز العربي:

أُجريت تجربة الخبيز في المخابز التابعة لـ الشركة العامة للمخابز والمتخصصة بإنتاج الخبز العربي ثنائي الطبقة، وذلك وفق الشروط الصناعية المعتمدة، واتباعاً للخطوات الآتية (AACC International, 2010)، (Al-Dmoor, 2013):

1- تحضير العجين: تم تحضير العجين وفق الطريقة المباشرة (Direct method)، باستخدام المكونات التالية: دقيق القمح، الخميرة، ملح الطعام (NaCl)، والماء. بلغت نسبة الخميرة الطرية المضافة 2%، في حين استُخدم ملح الطعام بنسبة 1.3% من وزن الدقيق. حُددت كمية الماء اللازمة لتحضير العجين اعتماداً على قراءات جهاز الميكسولاب عند أساس رطوبة 14% للدقيق المستخدم في جميع الخلطات. تم العجن باستخدام عجانة مخبرية بسرعة 70 دورة/دقيقة ولمدة 11 دقيقة حتى الوصول إلى التجانس التام للعجين (Chopin Technologies, 2019; Koksel et al., 2009).

2- تخمير العجين: أُعطي العجين فترة تخمير أولي لمدة 50 دقيقة عند درجة حرارة تراوحت بين 28-30°م، لضمان نشاط الخميرة وتكوين البنية المناسبة للعجين (Al-Dmoor, 2013).

3- تقطيع العجين: قُطع العجين يدوياً للحصول على قطع بوزن 200غ لكل قطعة، ثم شُكلت القطع على هيئة كرات لضمان تجانس القوام وسهولة التشكيل اللاحق.

4-التشكيل النهائي: مُررت قطع العجين مباشرة بعد التقطيع على خط الإنتاج الصناعي، حيث أُجريت عمليات التشكيل النهائي والتخمير والخبيز وفق الشروط التشغيلية المطبقة في خطوط إنتاج الشركة العامة للمخابز، حمص. تم رقّ قطع العجين باستخدام أسطوانات باتجاهين متعامدين للحصول على أقراص عجين بقطر يقارب 35 سم (Alomari *et al.*, 2018).

5-استراحة العجين: تُركت قطع العجين للاستراحة لمدة 10 دقائق على قشط متحركة مصنوعة من القطن والكتان والبولي إيتيلين، وذلك لتحسين قابلية العجين للانتفاخ أثناء الخبيز.

6- الخبيز: أُجري الخبيز في أفران ذات إحماء مباشر عند درجة حرارة تراوحت بين 500-550°م ولمدة 18 ثانية، وهي ظروف نموذجية لإنتاج الخبز العربي ثنائي الطبقة (AACC International, 2010؛ Al-Dmoor, 2013).

7-التبريد: بُردت عينات الخبز مباشرة بعد الخروج من الفرن على سيور تبريد مركبة ضمن المنشأة لمدة 14 دقيقة، تلاها تبريد إضافي على عربات متعددة الطبقات حتى الوصول إلى درجة حرارة المخبز.

8-التغليف: تم تغليف عينات الخبز باستخدام أكياس محكمة من البولي إيتيلين (الخشخاش)، وأُجريت جميع الاختبارات الفيزيائية والكيميائية اللاحقة في نفس يوم إجراء تجربة الخبيز لضمان ثبات الخصائص المقاسة (Hadnadev *et al.*, 2019). إذ يوضح الجدول (2) خصائص البولي إيثيلين المستخدم في التغليف.

الجدول (2) خصائص البولي إيثيلين المستخدم في تغليف الخبز.

الخاصية	HDPE
الكثافة	g/cm^3 (0.94–0.96)
درجة المقاومة الحرارية	الثباتية(م°) (120–135)
النفاذية لغاز الأوكسجين	($cm^3/100\mu m/m^2/day.\ atm$) (500–510)
النفاذية لبخار الماء	$g\ /m^2\ /day\ /100\ \mu m$ (0.3–0.6)
النفاذية النسبية للضوء	منخفضة (<20)%

3-3-طرائق البحث:

- الرطوبة (%): قُدرت نسبة الرطوبة في عينات الخبز باستخدام فرن التجفيف عند درجة حرارة 105°م حتى ثبات الوزن، وذلك وفق الطريقة القياسية المعتمدة من AACC International رقم 44-15.02 (AACC International, 2010).

- ❖ الرماد (%): حُددت نسبة الرماد بحرق عينات الخبز في المرمدة عند درجة حرارة 550°م حتى ثبات الوزن، حسب طريقة AACC International رقم 08-01.01 (AACC International, 2010).
- ❖ النشاط المائي (Aw): قيس النشاط المائي لعينات الخبز باستخدام جهاز Novasina (Axair Ltd) عند درجة حرارة 25°م، وفق (Alomari *et al.*,2012)، مع الالتزام بتعليمات التشغيل القياسية للجهاز.
- ❖ الصلابة (Texture): قُدرت صلابة الخبز باستخدام جهاز TA-XT.plus Texture Analyser (Stable Micro Systems, Surrey, U.K)، وذلك بقياس أقصى قوة اختراق (Maximum Force) معبراً عنها بوحدة نيوتن ، الحسّاس رقم P/2 بسرعة مسبر مقدارها0.2mm/sec لعمق أعظمي مقداره 10mm، والتي تُعد مؤشراً على صلابة الخبز، وفق الطريقة المعتمدة في دليل الجهاز و(Stable Micro Systems, 2018; Bentley, 2013).

- ❖ **الألياف (%):** تم تقدير محتوى الألياف الخام في عينات الخبز العربي باستخدام طريقة وينده (Weende) التي تعتمد على الهضم المتسلسل بالحامض $5\%H_2SO_4$ والقلوي NaOH 5% وإزالة المركبات غير الليفية، وذلك وفق الطريقة القياسية المعتمدة من (AOAC International. 2016) ، رقم 978.10.
- ❖ **مردود الخبيز:** بتقسيم وزن الصمونة على وزن العجين حسب طريقة (AACC, 2010).

3-4-التقييم الحسي لعينات الخبز:

تم إجراء التقييم الحسي لعينة الصمون وشملت المعايير المتبعة لتقييم الخبز وهي:

لون القشرة، انفصال الشطرين، بنية اللب، الرائحة، المضغ، الطعم، القابلية للحفظ.

شارك في التقييم لجنة التقيم الحسي في الهندسة الغذائية، وعدد أعضاء لجنة التحكيم عشرة، وتم تقديم العينات لهم بطريقة عشوائية ومرقمة لتجنب التحيز، وتم تسجيل نتائج التقييم مباشرة على استمارات مخصصة لكل عينة.

3-4-الدّراسة الإحصائيّة:

تمّ إجراء جميع الاختبارات بأخذ ثلاثة مكررات لكل اختبار، والتعبير عن النتائج على أساس المتوسط الحسابي والانحراف المعياري. وتمّ التقييم الإحصائي للنتائج التي تمّ التوصل إليها بواسطة البرنامج الإحصائي Minitab 17 باستخدام تحليل التباين ANOVA وذلك عند قيم α=0.05.

4 . النتائج والمناقشة:

4-1 محتوى الرطوبة للخبز: يبين الجدول (3) قيم الرطوبة لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال زمن التخزين (14-10-5-1) يوم ، وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي لمحتوى الرطوبة (%) وجود فروق معنوية ($P < 0.05$) ناتجة عن كل من مدة التخزين ونسبة إضافة دقيق الكينوا، حيث انخفضت رطوبة جميع العينات تدريجياً مع تقدم مدة التخزين من اليوم الأول حتى اليوم الرابع عشر، ويُعزى ذلك إلى ظاهرة بيات الخبز الناتجة عن تراجع النشاء وإعادة تبلور الأميلوز والأميلوبكتين، الأمر الذي يؤدي إلى طرد الماء من بنية فتات الخبز وانخفاض محتواه الرطوبي (Gray & Bemiller, 2003; Chinachoti & Vodovotz, 2000). في المقابل، سجلت العينات المدعمة بدقيق الكينوا محتوى رطوبة أعلى معنوياً مقارنة بعينة الشاهد في جميع فترات التخزين، ويُفسر ذلك بارتفاع محتوى الكينوا من الألياف الغذائية والبروتينات ذات القدرة العالية على الارتباط بالماء، مما يحسن السعة المائية ويحد من فقد الرطوبة أثناء التخزين (Graf *et al.,* 2014; Mironeasa *et al.*, 2022). كما أظهرت النتائج أن نسب الإضافة المتوسطة (15 و20)% حققت أقل معدل فقد للرطوبة خلال التخزين، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه(Rizzello et al., 2016) من أن الإضافة المعتدلة لمكونات غنية بالألياف والبروتين تسهم في تحسين بنية الفتات وإبطاء هجرة الرطوبة دون التأثير السلبي الكبير على الشبكة الغلوتينية. في حين أن نسب الإضافة المرتفعة (25% و30%)، رغم تسجيلها أعلى قيم رطوبة أولية، أظهرت فقدًا أعلى نسبياً أثناء التخزين، ويُعزى ذلك إلى التخفيف المفرط للغلوتين وضعف البنية الهيكلية للخبز، مما يزيد من سرعة فقد الماء مع الزمن (Enriquez *et al.*, 2003; Turkut *et al.,* 2016).
وبناءً على ذلك، تؤكد هذه النتائج أن إضافة دقيق الكينوا بنسبة 15–20% تُعد من أنسب النسب لتحسين ثبات الرطوبة وتقليل ظاهرة البيات أثناء التخزين المبرد، وهو ما يدعم إمكانية استخدام الكينوا كمكوّن وظيفي في تحسين جودة الخبز المخزن.

4-2 محتوى النشـــاط المائي للخبز: النشـــاط المائي (a_w) هو مقياس لمدى توفر الماء الحر في المنتج الغذائي، وهو مرتبط مباشـــرة بقابلية نمو الميكروبات وتفاعلات الإنزيمات، كما يؤثر على ملمس وجودة الخبز أثنـاء التخزين (Gray & BeMiller, 2003) . من الجدول (4) لوحظ أن عينـات الخبز بـدون إضـــافات (الشـــاهد) بدأت بقيمة عالية للنشـــاط المائي (0.873 ± 0.07) في اليوم الأول ثم انخفضـــت تدريجياً مع التخزين المبرد حتى وصـلت إلى 0.866 ± 0.14 في اليوم 14. هذا الانخفاض يعكس فقدان الماء الحر وتوزيعه داخل شـــبكة النشـــا والجلوتين، وهو ما يؤدي عادة إلى تصـــلب القشـــرة الداخلية (Wettasinghe & Fan, 2021).

الجدول (3) قيم الرطوبة(%) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين(يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{eA}0.26±25.42	^{fB}0.23±25.02	^{fC}0.19±24.52	^{fD}0.24±23.56
5	^{eA}0.43±25.60	^{eB}0.29±25.22	^{eC}0.24±24.91	^{eD}0.25±24.52
10	^{dA}0.27±25.84	^{dB}0.28±25.44	^{dC}0.28±25.17	^{dD}0.39±24.70
15	^{cA}0.37±26.04	^{cB}0.24±25.71	^{cC}0.26±25.46	^{cD}0.32±25.17
20	^{bA}0.29±26.48	^{bB}0.29±26.10	^{bC}0.32±25.85	^{bD}0.21±25.53
25	^{aA}0.33±26.92	^{aB}0.26±26.63	^{aC}0.38±26.24	^{aD}0.37±25.71
30	^{aA}0.19±27.42	^{aB}0.16±27.11	^{aC}0.47±26.62	^{aD}0.49±26.15

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

أما العينات المضافة لها كينوا بنسبة (5–10)%، فقد أظهرت قيمة أعلى للنشاط المائي في الأيام 5 و10 (0.862–0.864) ثم انخفاض طفيف في اليوم 14، مما يشير إلى قدرة الألياف والبروتينات في الكينوا على امتصاص الماء وتثبيته داخل العجينة، وبالتالي توفير ماء حر أكثر من العينة الشاهد لفترة مؤقتة.

بالنسبة للعينات ذات (15–20)% كينوا، فقد حافظت على نشاط مائي منخفض ومستقر (0.859–0.861) طوال فترة التخزين، مما يدل على توازن الماء داخل الشبكة العجينية وتقليل فقده الحر بفعل زيادة محتوى الألياف القابلة للامتصاص. أما العينات (25–30)% أظهرت نمطاً مماثلاً للعينة (5–10)%، حيث كان هناك انخفاض تدريجي مع الزمن، ما يعكس تأثير التخزين المبرد على توزيع الماء الحر، لكن مع زيادة الكينوا كان النشاط المائي أعلى نسبيًا مقارنة بالعينات (15–20)%.

تشـــير هذه النتائج إلى أن إضـــافة الكينوا تؤثر بشـــكل ملحوظ على توزيع الماء الحر داخل الخبز أثناء التخزين المبرد، مما يدعم الدراسات السابقة التي أظهرت أن دقيق الكينوا يحسن القدرة على الاحتفاظ بالماء ويقلل من فقد الرطوبة أثناء التخزين (Rizzello *et al.*, 2016; Mironeasa *et al.*, 2022). كما أن التحكم في نســبة الكينوا يمكن أن يكون أداة مهمة لتحســين الملمس، الاســتقرار ومدة صــلاحية الخبز في المنتجات المخبوزة.

الجدول (4) قيم النشاط المائي لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	**5**	**10**	**14**
عينة الشاهد	^{cC}0.07±0.873	^{bB}0.17±0.869	^{bB}0.09±0.867	^{aA}0.14±0.866
5	^{bC}0.15±0.866	^{aB}0.11±0.864	^{aB}0.06±0.863	^{aA}0.09±0.863
10	^{bC}0.16±0.863	^{aB}0.08±0.862	^{aB}0.04±0.862	^{aA}0.07±0.861
15	^{aA}0.09±0.860	^{bA}0.07±0.859	^{bA}0.13±0.859	^{bA}0.13±0.859
20	^{aA}0.08±0.861	^{bA}0.09±0.860	^{bA}0.17±0.859	^{bA}0.05±0.859
25	^{bC}0.14±0.868	^{aB}0.12±0.866	^{aB}0.09±0.865	^{aA}0.11±0.864
30	^{bC}0.12±0.869	^{aB}0.17±0.867	^{aB}0.11±0.865	^{aA}0.16±0.864

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،

أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-3 محتوى الرماد للخبز: الرماد (%) هو مقياس للمحتوى المعدني في الخبز، ويعكس كمية الأملاح والمعادن المتبقية بعد الحرق الكامل للمادة العضوية عند درجات حرارة مرتفعة .يبين الجدول (5) قيم الرماد لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال زمن التخزين (1-5-10-14) يوم ، لوحظ أن محتوى الرماد ارتفع تدريجياً مع زيادة نسبة إضافة دقيق الكينوا؛ فمثلاً، الشاهد سجل 0.86-0.90% خلال 14 يوماً من التخزين المبرد، بينما عينة 30% كينوا بلغت (1.25-1.30)%. كما أظهرت النتائج زيادة طفيفة في محتوى الرماد مع الزمن لكل نسبة، ما يعكس تأثير تبخر الرطوبة وتركيز المعادن أثناء التخزين. أما تأثير النسبة، فكان أكبر بكثير من تأثير مدة التخزين، إذ أن العينات ذات نسب الكينوا العالية حافظت على محتوى مرتفع ومستقر نسبياً. يمكن تفسير هذه الزيادة بأن الكينوا غنية بالمعادن الأساسية مثل الكالسيوم، المغنيسيوم، الحديد، والبوتاسيوم، مما يجعل أضافتها للعجين يعزز القيمة المعدنية للخبز .(Turkut *et al.*, 2016) كما أن الزيادة الطفيفة مع التخزين المبرد تدعم ما أشارت إليه الدراسات السابقة حول تأثير فقد الرطوبة على تركيز الأملاح والمعادن في المنتجات المخبوزة .(Rizzello *et al.*, 2016; Enriquez *et al.*, 2003)هذه النتائج تؤكد أن إضافة الكينوا في الخبز لا يزيد القيمة الغذائية فحسب، بل يسهم أيضاً في استقرار خصائص الخبز المعدنية خلال التخزين المبرد.

الجدول (5) قيم الرماد(%) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	$^{Aa}0.04\pm0.86$	$^{Aa}0.09\pm0.87$	$^{Ba}0.12\pm0.88$	$^{Ba}0.07\pm0.90$
5	$^{Ab}0.09\pm0.90$	$^{Ab}0.06\pm0.91$	$^{Bb}0.11\pm0.92$	$^{Bb}0.09\pm0.94$
10	$^{Ac}0.06\pm0.95$	$^{Ac}0.04\pm0.95$	$^{Bc}0.09\pm0.97$	$^{Bc}0.11\pm0.98$
15	$^{Ad}0.12\pm1.09$	$^{Ad}0.11\pm1.09$	$^{Bd}0.08\pm1.10$	$^{Bd}0.13\pm1.11$
20	$^{Ae}0.09\pm1.17$	$^{Ae}0.16\pm1.18$	$^{Ae}0.16\pm1.18$	$^{Be}0.17\pm1.19$

25	^{Af}0.08±1.21	^{Af}0.14±1.22	^{Bf}0.14±1.23	^{Bf}0.16±1.25
30	^{Ag}0.11±1.25	^{Ag}0.09±1.26	^{Bg}0.09±1.28	^{Bg}0.12±1.30

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-4 محتوى الألياف الخام للخبز: يوضح الجدول (6) قيم الألياف لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال زمن التخزين (1-5-10-14) يوم أظهرت نتائج جدول الألياف الخام (%) وجود زيادة معنوية واضحة ($P \leq 0.05$) في محتوى الألياف مع ارتفاع نسبة إضافة دقيق الكينوا ، إذ ارتفع محتوى الألياف من 0.55% في عينة الشاهد إلى (1.09-1.14)% في عينات 30% كينوا، وهو ما تؤكده الأحرف الصغيرة المختلفة ضمن العمود الواحد، مما يعكس التأثير القوي لنسبة الإضافة. ويُعزى هذا الارتفاع إلى أن دقيق الكينوا يُعد مصدرًا غنيًا بالألياف الغذائية، خاصة الألياف غير الذائبة، مقارنة بدقيق القمح التقليدي، مما يؤدي إلى رفع المحتوى الكلي للألياف في الخبز الناتج، وهو ما يتفق مع ما ذكره (Tang *et al.*, 2015) و(Kaur *et al.*, 2022). كما أظهرت النتائج، من خلال الأحرف الكبيرة داخل الصف الواحد، وجود زيادة طفيفة لكنها معنوية في محتوى الألياف مع تقدم مدة التخزين المبرد، حيث لوحظ الانتقال من الحرف A في اليوم الأول إلى B أو C في اليومين 10 و14 لبعض العينات، ويمكن تفسير ذلك بتأثير التخزين المبرد في تقليل الرطوبة النسبية للخبز وزيادة تركيز المواد الصلبة، مما ينعكس بزيادة ظاهرية في محتوى الألياف. إضافة إلى ذلك، فإن الألياف الغذائية في الكينوا تمتلك قدرة عالية على الارتباط بالماء والتفاعل مع مكونات العجين مثل النشاء والبروتين، مما يساهم في استقرار البنية الداخلية للخبز أثناء التخزين ويحد من التغيرات السلبية في الجودة .(Rosell *et al.*, 2014) وقد أشارت دراسات حديثة إلى أن تدعيم الخبز بمكونات غنية بالألياف، مثل الكينوا، لا يقتصر تأثيره على تحسين القيمة الغذائية فحسب، بل يسهم أيضاً في تحسين الخصائص الوظيفية خلال التخزين، خاصة في ظروف التخزين المبرد

(Sahu *et al.*, 2021)وبناءً على ذلك تؤكد هذه النتائج أن إضافة دقيق الكينوا، تُعد استراتيجية فعالة لزيادة محتوى الألياف الخام في الخبز والحفاظ على استقراره الغذائي خلال التخزين.

الجدول (6) قيم الألياف الخام(%) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{Ag}0.08±0.55	^{Ag}0.11±0.56	^{Bg}0.10±0.58	^{Bg}0.11±0.59
5	^{Af}0.06±0.57	^{Af}0.08±0.58	^{Bf}0.07±0.59	^{Bf}0.07±0.60
10	^{Ae}0.11±0.59	^{Ae}0.08±0.60	^{Be}0.11±0.61	^{Be}0.03±0.62
15	^{Ad}0.09±0.62	^{Ad}0.09±0.62	^{Ad}0.06±0.63	^{Bd}0.05±0.64
20	^{Ac}0.08±0.66	^{Ac}0.08±0.67	^{Bc}0.04±0.68	^{Bc}0.08±0.69
25	^{Ab}0.09±0.84	^{Ab}0.08±0.85	^{Bb}0.08±0.86	^{Cb}0.11±0.88
30	^{Aa}0.06±1.09	^{Ba}0.12±1.11	^{Ba}0.13±1.12	^{Ca}0.07±1.14

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-3 صلابة الخبز: تُظهر النتائج الجدول (7) من حيث نسبة الإضافة، لوحظ ارتفاع معنوي ($P \leq 0.05$) في قيم الصلابة مع زيادة نسبة الإضافة من 5% حتى 30% في جميع أيام التخزين، حيث سجلت عينة الشاهد أقل قيم صلابة (9.38–11.73) N، في حين حققت عينة 30% أعلى القيم (13.91–14.26) N. ويُعزى هذا السلوك إلى الزيادة في محتوى الألياف والبروتينات غير الغلوتينية المصاحبة

للإضافة، والتي تؤدي إلى تقليل مرونة شبكة الغلوتين وزيادة كثافة بنية اللب، مما ينعكس على ارتفاع مقاومة الانضغاط وزيادة الصلابة. وقد أشار (Mironeasa *et al.*, 2022) و (Abugoch James 2009)إلى أن إدخال دقيق غني بالألياف والبروتينات، مثل الكينوا، يؤدي إلى تكوين بنية أكثر تماسكاً وأقل مرونة مقارنة بالخبز المصنوع من دقيق القمح وحده.

أما من حيث مدة التخزين، فتُظهر البيانات زيادة تدريجية في الصـــلابة مع تقدم زمن التخزين، وكانت هذه الزيادة أكثر وضوحاً في عينة الشاهد، كما يتضح من اختلاف الأحرف الكبيرة (A–C)، بينما بدت العينات المدعمة أكثر ثباتاً نســـبياً عبر أيام التخزين (ثبات الحرف A) .ويُفســـر ذلك بظاهرة تراجع النشـــاء (Starch retrogradation) وفقدان الرطوبة الحرة أثناء التخزين، والتي تؤدي إلى تصـــلب اللب بمرور الوقت، وهي ظاهرة شائعة في الخبز الأبيض. في المقابل، ساهمت الإضافات الغنية بالألياف في الاحتفاظ بالماء داخل البنية الداخلية للخبز، مما أبطأ من معدل التصلب خلال التخزين. وقد أكدت دراسات (Gray & Bemiller, 2003) و(Mironeasa & Codină, 2013) أن وجود الألياف والمكونات البروتينية غير النشوية يقلل من سرعة تراجع النشاء ويحد من زيادة الصلابة أثناء التخزين.

نستنتج مماسبق أن الإضافة رفعت الصلابة الابتدائية للخبز، لكنها حسّنت ثبات القوام أثناء التخزين مقارنة بعينة الشاهد، مما يشير إلى دور مزدوج للإضافة في تعديل الخواص القوامية: زيادة الصلابة الهيكلية من جهة، وتقليل التأثير السلبي للتخزين من جهة أخرى. وتتفق هذه النتائج مع ما ورد في الدراسات السابقة حول تأثير الدقيق البديل والمواد الغنية بالألياف على الخصائص الريولوجية وخصائص القوام للمخبوزات.

الجدول (7) قيم الصلابة (N) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14

عينة الشاهد	^{gA}0.12±9.38	^{gAB}0.06±9.94	^{gBC}0.08±10.69	^{gC}0.07±11.73
5	^{fA}0.22±11.04	^{fA}0.15±11.11	^{fA}0.16±11.19	^{fA}0.17±11.23
10	^{eA}0.09±11.89	^{eA}0.08±11.94	^{eA}014.±12.01	^{eA}0.07±12.08
15	^{dA}0.21±12.27	^{dA}0.18±12.32	^{dA}0.22±12.38	^{dA}0.12±12.49
20	^{cA}0.17±12.76	^{cA}0.08±12.83	^{cA}0.09±12.99	^{cA}0.15±13.01
25	^{bA}0.09±13.71	^{bA}0.21±13.89	^{bA}0.16±13.99	^{bA}0.08±14.05
30	^{aA}0.25±13.91	^{aA}0.16±14.12	^{aA}0.07±14.21	^{aA}0.13±14.26

* تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$، أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-4-تأثير إضافة نسبة مختلفة من دقيق الكينوا في وزن الخبز خلال زمن التخزين: يوضح الجدول (8) تأثير نسب الإضافة المختلفة ومدة التخزين (1، 5، 10 و14) يوماً في وزن الخبز، حيث أظهرت النتائج وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) بين المعاملات المختلفة.

أظهرت النتائج ارتفاعاً معنوياً في وزن الصمون بزيادة نسبة الإضافة مقارنة بعينة الشاهد في جميع فترات التخزين، إذ سجلت عينة الشاهد أقل وزن، في حين حققت المعاملات ذات نسب الإضافة المرتفعة، ولاسيما 25% و30%، أعلى قيم للوزن. ويُعزى هذا الارتفاع إلى زيادة قدرة العجين على امتصاص واحتجاز الماء نتيجة احتواء مادة الإضافة على نسب أعلى من الألياف الغذائية والبروتينات، والتي تمتلك قابلية عالية للارتباط بالماء وتكوين شبكة أكثر تماسكاً داخل العجين. وقد انعكس ذلك بشكل مباشر على الوزن النهائي للمنتج بعد الخَبز.

وأظهرت النتائج انخفاضاً تدريجياً ومعنوياً في وزن الصمون مع زيادة مدة التخزين من اليوم الأول حتى اليوم الرابع عشر لجميع المعاملات. ويُفسر هذا الانخفاض بفقدان الرطوبة نتيجة انتقال بخار الماء من داخل المنتج إلى الوسط المحيط أثناء التخزين، إضافة إلى حدوث ظاهرة إعادة تبلور النشاء (Starch

retrogradation) ، والتي تؤدي إلى تحرير الماء المرتبط داخل بنية النشـــاء–البروتين، مما يســـرّع من فقدان الوزن بمرور الزمن.

وعلى الرغم من الانخفاض العام في الوزن مع تقدم مدة التخزين، إلا أن العينات المدعّمة بنســـب إضـــافة مرتفعة احتفظت بأوزان أعلى مقارنة بعينة الشـــاهد خلال جميع فترات التخزين. ويشـــير ذلك إلى الدور الإيجابي للإضافة في تحسين ثبات الرطوبة وتقليل معدل الفقد الوزني أثناء التخزين، الأمر الذي يُعد مؤشراً على تحسن الخصائص التخزينية وإمكانية إطالة العمر التخزيني للمنتج.

كما لوحظ أن الفروق بين فترات التخزين كانت أقل وضـــوحاً في المعاملات ذات نســـب الإضـــافة المرتفعة مقارنة بالشاهد، مما يدل على أن زيادة نسبة الإضافة ساهمت في تقليل تأثير التخزين السلبي على الوزن.

تتفق هذه النتائج مع ما توصـــل إليه (Mironeasa *et al.*, 2022) ، حيث أشـــاروا إلى أن تدعيم المخبوزات بمكونات غنية بالألياف يؤدي إلى زيادة امتصـــاص الماء وتحســـين ثبات الخصـــائص الفيزيائية أثناء التخزين. كما أوضـــح (Gómez *et al.*, 2012)أن الانخفاض في وزن الخبز أثناء التخزين يرتبط بفقدان الرطوبـة وإعـادة تبلور النشـــاء، وهو مـا يتطـابق مع الاتجـاه العـام للنتـائج الحـاليـة. وأكـد (Rosell *et al.*, 2009) أن وجود الألياف الغذائية في تركيبة الخبز يســـهم في تقليل الجفاف والمحافظة على جودة المنتج لفترة أطول، في حين أشـــار (Abdelghafor *et al.* 2011) إلى أن اســـتخدام الدقيق المركب يزيد من الوزن النهائي ويحسّن الاستقرار الفيزيائي للمنتج خلال التخزين.

نستنتج أن زيادة نسبة الإضافة أسهمت في رفع وزن الخبز وتحسين ثباته خلال مدة التخزين، في حين أدت زيادة مدة التخزين إلى انخفاض الوزن نتيجة فقدان الرطوبة. كما أظهرت النتائج أن المعاملات المدعّمة كانت أكثر قدرة على مقاومة الفقد الوزني مقارنة بعينة الشـــاهد، مما يعكس تحســـن الخصـــائص الخزنية للمنتج المدعّم.

الجدول (8) قيم الوزن (غ) لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{dA}2.55±176.71	^{dAB}1.76±175.21	^{dBC}2.83±173.62	^{dC}1.96±171.13
5	^{cA}2.47±178.38	^{cAB}2.99±177.61	^{cB}1.21±176.87	^{cC}1.57±175.72
10	^{bcA}3.01±178.83	^{bcA}3.05±178.10	^{bcAB}2.12±177.62	^{bcB}1.67±176.17
15	^{bcA}1.99±179.22	^{bA}1.81±178.88	^{bcB}1.88±177.53	^{bcB}1.37±176.64
20	^{bA}2.21±179.42	^{bAB}2.19±178.51	^{bcB}1.96±177.47	^{bcB}2.11±176.61
25	^{abA}3.14±180.45	^{abAB}1.76±179.32	^{abB}2.58±178.67	^{abC}1.78±177.31
30	^{aA}1.97±181.76	^{aB}2.76±179.76	^{aB}3.12±178.99	^{aB}2.56±178.45

تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،
أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-7-تأثير إضافة نسبة مختلفة من دقيق الكينوا في مردود الخبز خلال زمن التخزين: تشير نتائج مردود الخبز إلى وجود فروق معنوية ($P \leq 0.05$) بين نسب الإضافة المختلفة ومدة التخزين، كما هو موضح بالأحرف الصغيرة والكبيرة في الجدول. فقد سجلت عينة الشاهد أقل قيمة لمردود الخبز في جميع أيام التخزين، في حين حققت المعاملات المدعمة بنسبة إضافة مرتفعة، وخاصة 15% و20%، أعلى قيم للمردود. يُعزى ذلك إلى أن المواد المضافة، مثل دقيق الكينوا، تحتوي على نسب عالية من الألياف الغذائية والبروتينات، مما يزيد من قدرة العجين على امتصاص الماء واحتجاز الرطوبة أثناء الخَبز، وبالتالي رفع وزن العجين بعد الخَبز وزيادة مردوده النهائي، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه (Mironeasa *et al.*, 2022) و(Rosell *et al.*, 2009) حول تأثير الألياف على تحسين ثبات الرطوبة والمردود في المخبوزات.

كما لوحظ انخفاض تدريجي في مردود الخبز مع زيادة مدة التخزين من اليوم الأول حتى اليوم الرابع عشر لجميع المعاملات، حيث يمثل اليوم 14 أقل قيمة. يُعزى هذا الانخفاض إلى فقدان الرطوبة وإعادة تبلور

النشـــاء (starch retrogradation) أثناء التخزين، مما يؤدي إلى تحرير الماء المرتبط داخل شـــبكة النشـــاء–البروتين وتقليـل الوزن النهـائي للمخبوزات، وهو مـا ذكره (Gómez *et al.*, 2012) و(Abdelghafor *et al.*, 2011) في دراساتهم حول تأثير التخزين على الخبز.

على الرغم من الانخفاض العام، حافظت المعاملات المدعمة بنسبة إضافة (15–20)% على مردود أعلى مقارنة بالشاهد خلال فترة التخزين، مما يدل على أن زيادة نسبة الإضافة ساهمت في تحسين ثبات المردود وتقليل الفقد الوزني، وبالتالي تحسـين الخصـائص التخزينية للمنتج. تشـير الأحرف الكبيرة ضـمن السـطر الواحد إلى الفروق المعنوية بين أيام التخزين لكل نسبة إضافة، حيث لوحظ أن العينات ذات نسب الإضافة العالية أظهرت انخفاضاً أبطأ في المردود مقارنة بالعينات ذات النسب المنخفضة أو الشاهد.

الجدول (9) قيم المردود (%) الخبيز لعينات الصمون بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال زمن التخزين

نسبة الإضافة(%)	مدة التخزين (يوم)			
	1	5	10	14
عينة الشاهد	^{Da}1.26±77.96	^{dAB}1.39±77.30	^{dBC}1.74±76.44	^{dC}1.19±75.79
5	^{Ca}1.29±79.94	^{cAB}1.26±79.31	^{cBC}1.65±78.91	^{cC}1.32±78.56
10	^{bcA}1.64±80.45	^{bcAB}1.76±79.94	^{bcAB}1.52±79.54	^{bcC}1.72±79.25
15	^{aA}1.01±80.89	^{aAB}1.53±80.37	^{aAB}1.62±80.05	^{aC}1.57±79.78
20	^{abA}1.42±80.37	^{abAB}1.66±79.92	^{bcAB}1.73±79.54	^{bcC}1.53±79.19
25	^{Da}1.73±78.26	^{dAB}1.63±77.58	^{dAB}1.15±77.16	^{dC}1.79±76.80
30	^{dA}1.69±78.79	^{dAB}1.57±78.13	^{dAB}1.52±77.56	^{dC}1.63±77.01

تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة في السطر الواحد على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$،

أما الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عند $p \geq 0.05$.

4-9 التقييم الحسي للخبز:

يظهر الجدول (10) التقيم الحسي للخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة (5-10-15-20-25-30)% خلال التخزين (14-10-5-1) يوم ، حيث أظهرت نتائج أن الإجمالي الكلي للقيم الحسية للصمون ينخفض تدريجياً مع زيادة نسبة دقيق الكينوا من 0% إلى 30% وكذلك مع طول فترة التخزين من 1 إلى 14 يوماً، حيث سجل الشاهد عند اليوم الأول أعلى تقييم كلي (33.6) وأدنى تقييم كان عند إضافة 30% بعد 14 يوماً (24.7)، ويعكس هذا التراجع تأثير انخفاض محتوى الغلوتين وزيادة البروتينات غير الغلوتينية ونوع النشويات المختلفة في الكينوا على مرونة العجينة وقوام الخبز، مع تأثير التخزين على فقدان الرطوبة والنكهة؛ كما لوحظ انخفاض تدريجي في لون القشرة من 4.8 للشاهد يوم 1 إلى 3.4 عند 30% بعد 14 يوماً، نتيجة انخفاض تفاعل ميلارد، بينما انخفضت بنية اللب وانفصال الشطرين تدريجياً بسبب ضعف الشبكة الغلوتينية، وانخفضت أيضاً الرائحة والطعم والمضغ مع إضافة الكينوا وزيادة مدة التخزين، حيث أضاف الكينوا نكهة خفيفة (تشبه طعم المكسرات) قد لا تكون مفضلة لكل المتذوقين، وانخفضت القابلية للحفظ من 4.7 إلى 3.5 مع زيادة النسبة وطول التخزين، مما يعكس سرعة جفاف الخبز وتفتته، وتتفق هذه النتائج مع دراسات (Mironeasa et al., 2022) و(Abdel-Migid et al., 2016) و(Zhang et al., 2019) . التي أشارت إلى أن إضافات الكينوا تقلل من اللون البني، ومرونة العجين، والطعم والمضغ عند نسب عالية أو تخزين طويل، بينما تعتبر إضافات 10-15% مثالية لتحقيق التوازن بين القيمة الغذائية والحفاظ على الخصائص الحسية، ويُنصح بعدم تجاوز 25% للحفاظ على اللون والنكهة وبنية الخبز وقابليته للحفظ.

الجدول (10) التقييم الحسي لعينات الخبز بإضافة دقيق الكينوا بنسب مختلفة خلال مدة التخزين

الإضافة	التخزين (يوم)	لون القشرة	انفصال الشطرين	الطعم	المضغ	الرائحة	بنية اللب	القابلية للحفظ	الإجمالي
الشاهد	1	4.8 ± 0.30^{Aa}	4.7 ± 0.17^{Aa}	4.9 ± 0.15^{Aa}	4.8 ± 0.32^{Aa}	4.9 ± 0.11^{Aa}	4.8 ± 0.11^{Aa}	4.7 ± 0.28^{Aa}	33.6^{Aa}
	5	4.7 ± 0.25^{Aa}	4.6 ± 0.32^{Aa}	4.8 ± 0.23^{Aa}	4.7 ± 0.22^{Aa}	4.8 ± 0.25^{Aa}	4.7 ± 0.32^{Aa}	4.6 ± 0.15^{Ba}	33^{Ba}
	10	4.6 ± 0.15^{Aa}	4.5 ± 0.34^{Aa}	4.7 ± 0.17^{Aa}	4.5 ± 0.35^{Ba}	4.8 ± 0.19^{Aa}	4.6 ± 0.14^{Aa}	4.5 ± 0.28^{Ca}	32.2^{Ca}
	14	4.5 ± 0.14^{Ba}	4.1 ± 0.19^{Bb}	4.4 ± 0.15^{Bb}	4.2 ± 0.25^{Cb}	4.6 ± 0.14^{Ba}	4.4 ± 0.15^{Ba}	4.1 ± 0.22^{Da}	30.3^{Dd}
5%	1	4.7 ± 0.08^{Aab}	4.6 ± 0.16^{Aab}	4.8 ± 0.23^{Aab}	4.7 ± 0.18^{Aab}	4.8 ± 0.11^{Aab}	4.7 ± 0.13^{Aab}	4.6 ± 0.25^{Aa}	32.9^{Aab}
	5	4.6 ± 0.14^{ab}	4.5 ± 0.07^{Aab}	4.7 ± 0.22^{Aab}	4.6 ± 0.22^{Aab}	4.7 ± 0.24^{Aab}	4.6 ± 0.28^{Aab}	4.5 ± 0.29^{Ba}	32.2^{Bab}
	10	4.5 ± 0.16^{Aab}	4.4 ± 0.19^{Aab}	4.6 ± 0.18^{Aab}	4.5 ± 0.14^{Aab}	4.6 ± 0.32^{Aab}	4.5 ± 0.17^{Aab}	4.4 ± 0.21^{Ca}	31.5^{Cab}
	14	4.4 ± 0.22^{Ba}	4.3 ± 0.17^{Aa}	4.5 ± 0.17^{Ba}	4.4 ± 0.16^{Ba}	4.6 ± 0.18^{Aa}	4.4 ± 0.19^{Ba}	4.3 ± 0.19^{Db}	30.9^{Ca}
10%	1	4.6 ± 0.16^{Ab}	4.5 ± 0.25^{Abc}	4.7 ± 0.30^{Abc}	4.6 ± 0.32^{Ab}	4.7 ± 0.26^{Ab}	4.6 ± 0.11^{Ab}	4.6 ± 0.17^{Aa}	32.3^{Abc}
	5	4.5 ± 0.12^{Ab}	4.4 ± 0.12^{Abc}	4.6 ± 0.16^{Ab}	4.5 ± 0.13^{Ab}	4.6 ± 0.22^{Ab}	4.6 ± 0.17^{Aab}	4.5 ± 0.32^{Ba}	31.7^{Bb}
	10	4.4 ± 0.19^{Bb}	4.4 ± 0.13^{Aab}	4.6 ± 0.32^{Aab}	4.4 ± 0.11^{Ab}	4.6 ± 0.17^{Aab}	4.5 ± 0.24^{Aab}	4.5 ± 0.19^{Ca}	31.4^{Bb}
	14	4.3 ± 0.20^{Ca}	4.3 ± 0.17^{Aa}	4.5 ± 0.24^{Aa}	4.3 ± 0.10^{Bab}	4.5 ± 0.19^{Bab}	4.4 ± 0.19^{Ba}	4.3 ± 0.15^{Db}	30.7^{Ca}

32.1^{Abc}	4.6 ± 0.32^{Aa}	4.5 ± 0.27^{Abc}	4.6 ± 0.32^{Abc}	4.6 ± 0.22^{Ab}	4.6 ± 0.11^{Ac}	4.5 ± 0.24^{Abc}	4.5 ± 0.08^{Abc}	1	15%
31.4^{Bb}	4.5 ± 0.18^{Ba}	4.5 ± 0.22^{Ab}	4.5 ± 0.19^{Abc}	4.5 ± 0.24^{Ab}	4.5 ± 0.12^{Ab}	4.4 ± 0.10^{Ab}c	4.4 ± 0.11^{Bbc}	5	
31.3^{Bb}	4.5 ± 0.25^{Ca}	4.5 ± 0.32^{Aab}	4.5 ± 0.14^{Ab}	4.5 ± 0.29^{Aab}	4.6 ± 0.16^{Aab}	4.4 ± 0.21^{Aab}	4.3 ± 0.13^{Cbc}	10	
30.7^{Ca}	4.4 ± 0.11^{Da}	4.4 ± 0.22^{Ba}	4.5 ± 0.26^{Aab}	4.4 ± 0.15^{Ba}	4.5 ± 0.22^{Aa}	4.3 ± 0.15^{Aa}	4.2 ± 0.09^{Db}	14	
30.7^{Ac}	4.4 ± 0.19^{Ab}	4.3 ± 0.17^{Ac}	4.4 ± 0.19^{Ac}	4.3 ± 0.14^{Ac}	4.6 ± 0.08^{Ac}	4.4 ± 0.16^{Ac}	4.3 ± 0.19^{Ac}	1	20%
30^{Bc}	4.3 ± 0.18^{Bb}	4.2 ± 0.16^{Ac}	4.3 ± 0.13^{Ac}	4.2 ± 0.19^{Ac}	4.5 ± 0.17^{Ab}	4.3 ± 0.17^{Ac}	4.2 ± 0.25^{Bc}	5	
29.8^{Bc}	4.3 ± 0.21^{Cb}	4.1 ± 0.17^{Bb}	4.3 ± 0.22^{Ac}	4.2 ± 0.14^{Ab}	4.5 ± 0.18^{Ab}	4.3 ± 0.19^{Ab}	4.1 ± 0.26^{Cc}	10	
29.2^{Cc}	4.2 ± 0.10^{Db}	4.1 ± 0.13^{Bb}	4.2 ± 0.14^{Bb}	4.1 ± 0.17^{Bb}	4.4 ± 0.15^{Bb}	4.2 ± 0.22^{Bb}	4.0 ± 0.33^{Dc}	14	
27.8^{Ad}	3.9 ± 0.12^{Ac}	4.0 ± 0.25^{Ad}	4.1 ± 0.22^{Ad}	3.9 ± 0.26^{Ad}	4.0 ± 0.19^{Ad}	3.9 ± 0.18^{Ad}	4.0 ± 0.18^{Ad}	1	25%
27.1^{Bd}	3.8 ± 0.13^{Bc}	3.9 ± 0.32^{Ad}	4.0 ± 0.17^{Ad}	3.8 ± 0.32^{Ad}	3.9 ± 0.22^{Bc}	3.8 ± 0.16^{Ad}	3.9 ± 0.17^{Bd}	5	
26.4^{Cd}	3.7 ± 0.17^{Cc}	3.8 ± 0.22^{Bc}	3.9 ± 0.25^{Bd}	3.7 ± 0.13^{Bc}	3.8 ± 0.32^{Cc}	3.7 ± 0.15^{Bc}	3.8 ± 0.23^{Cd}	10	
25.4^{Dd}	3.5 ± 0.16^{Dc}	3.7 ± 0.28^{Cc}	3.8 ± 0.33^{Cc}	3.6 ± 0.19^{Cc}	3.5 ± 0.16^{Dc}	3.6 ± 0.22^{Cc}	3.7 ± 0.29^{Dd}	14	
27.1^{Ad}	3.8 ± 0.18^{Ac}	3.9 ± 0.26^{Ad}	4.0 ± 0.26^{Ad}	3.8 ± 0.13^{Ad}	3.9 ± 0.13^{Ad}	3.8 ± 0.16^{Ad}	3.9 ± 0.25^{Ad}	1	30%
26.4^{Bd}	3.7 ± 0.19^{Bc}	3.8 ± 0.31^{Ad}	3.9 ± 0.24^{Ad}	3.7 ± 0.15^{Ad}	3.8 ± 0.19^{Bc}	3.7 ± 0.11^{Ad}	3.8 ± 0.22^{Bd}	5	

	10	3.7 ± 0.27^{Cd}	3.6 ± 0.23^{Bc}	3.7 ± 0.26^{Cc}	3.6 ± 0.18^{Bc}	3.8 ± 0.31^{Bd}	3.7 ± 0.22^{Bc}	3.6 ± 0.24^{Cc}	25.7^{Cd}
	14	3.6 ± 0.29^{Dd}	3.5 ± 0.32^{Cc}	3.4 ± 0.31^{Dc}	3.4 ± 0.19^{Cc}	3.7 ± 0.22^{Cc}	3.6 ± 0.27^{Cc}	3.4 ± 0.29^{Dc}	24.7^{Dd}

تدل الأحرف الكبيرة المتشابهة على عدم وجود فرق معنوي بين أيام التخزين بينها عند $p \geq 0.05$،

أما الأحرف الصغيرة المتشابهة تدل على عدم وجود فرق معنوي عند نسبة الإضافة عند $p \geq 0.05$.

5 – الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 الاستنتاجات:

1. إضافة دقيق الكينوا بنسبة 15–20٪ يحقق توازناً مثالياً بين تحسين القيمة الغذائية والحفاظ على جودة الخبز.
2. زيادة النسبة فوق 25٪ تؤثر سلباً على القوام والقبول الحسي للخبز.
3. الكينوا تسهم في تحسين ثبات الرطوبة، تأخير البيات، وزيادة محتوى الألياف والمعادن.

5-2 -التوصيات:

1. يُوصى باستخدام دقيق الكينوا بنسبة 15–20٪ لتطوير خبز عربي وظيفي غني بالبروتينات والألياف.
2. يمكن استكشاف إضافة الكينوا في منتجات مخبوزة أخرى لتعزيز القيمة الغذائية دون التأثير الكبير على القوام والطعم.
3. إجراء دراسة مستقبلية على التأثير طويل المدى للتخزين وتحليل المؤشر الغلايسيمي للخبز المدعّم.

6-المراجع:

AACC International. (2010). **Approved Methods of Analysis** (11th ed.). Method 54–30.02: Alveograph Method.

Abdelghafor, R. F., Mustafa, A. I., Ibrahim, A. M. H., & Krishnan, P. G. (2011). **Quality of bread from composite flour of sorghum and hard white winter wheat**. Journal of Food Science and Nutrition, 62, 91–97.

Abdel-Migid, H., Jalal, F., & Asseg, K. (2016). **Characteristics of flour and quality of bread produced from wheat–quinoa blends**. Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, University of Sana'a, Yemen.

Abugoch James, L. E. (2009). **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties**. Advances in Food and Nutrition Research, 58, 1–31.

Al-Dmoor, H. M. (2013). **Quality characteristics of Arabic and Samoon bread as affected by flour properties and baking conditions**. Journal of Food Science and Technology, 50(5), 925–933.

Alomari, D. Z., et al. (2012). **Water activity and quality changes of Arabic bread during storage**. Journal of Food Quality, 35, 1–9.

Alomari, D. Z., et al. (2018). **Physicochemical and textural properties of Middle Eastern breads**. International Journal of Food Properties, 21(1), 112–125.

AOAC International. (2016). **Official methods of analysis** (20th ed.). AOAC International.

Bentley, A. (2013). **Texture analysis of baked products**. Stable Micro Systems Application Note.

Chinachoti, P., & Vodovotz, Y. (2000). **Water activity and food quality**. In Y. H. Hui (Ed.), Handbook of Food Science, Technology, and Engineering (pp. 1–12). CRC Press.

Chopin Technologies. (2019). **Mixolab Applications Handbook**. France.

Enriquez, N., Peltzer, M., Raimundi, A., Tosi, V., Pollio, M.L., (2003). **Characterization of the wheat and quinoa flour blends in relation to their bread making quality**. Journal of the Argentine Chemical Society 91, 47e54.

Enriquez, P., Rosell, C. M., & Rojas, J. A. (2003). **Quinoa flour in wheat bread: Effect on dough rheology and bread quality**. Journal of Food Science, 68(7), 2452–2457.

Gobbetti, M., (2014). **Manufacture and characterization of pasta made with wheat flour rendered gluten-free using fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria**. J.Cereal Sci. 59, 79-87.

Gómez, M., del Real, S., Rosell, C. M., Ronda, F., & Blanco, C. A. (2012). **Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of bread**. Food Hydrocolloids, 26(1), 158–164.

Graf, B. L., Poulev, A., Kuhn, P., Grace, M. H., Lila, M. A., & Raskin, I. (2014). **Quinoa seeds leach phytoecdysteroids and other compounds with anti-diabetic properties**. Food Chemistry, 163(3), 178–185.

Gray, J. A., & BeMiller, J. N. (2003). **Bread staling: Molecular basis and control**. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2(1), 1–21.

Hadnadev, M., et al. (2019). **Texture and staling of flat breads during storage**. Journal of Texture Studies, 50, 312–321.

Kaur, B., Sharma, S., & Singh, R. (2022). **Impact of quinoa supplementation on the nutritional and functional properties of baked bread: A comprehensive review**. Food Chemistry, 368, 130800.

Koksel, H., et al. (2009). **Potential utilization of Mixolab in quality evaluation of wheat flour**. Cereal Chemistry, 86(5), 522–526.

Konica Minolta Inc. (2020). **Precise Color Communication**. Japan.

Linnemann, A., Dijkstra, S., (2002). **Toward sustainable production of protein-rich foods: appraisal of eight crops for Western Europe. Part I**. Analysis of the primary links of the production Chain. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 42, 377e401.

Ma, Y., Wu, D., Guo, L., Yao, Y., Yao, X., Wang, Z., Wu, K., Cao, X., & Gao, X. (2022). **Effects of quinoa flour on wheat dough quality**, baking quality, and in vitro starch digestibility. Frontiers in Nutrition, 9, 846808.

Mironeasa, S., & Codină, G. G. (2013). **Effect of dietary fiber on wheat bread quality**. Food Technology and Biotechnology, 51(3), 331–337.

Mironeasa, S., Codină, G. G., & Codină, M. (2022). **Effect of quinoa flour addition on dough rheology and bread quality: A review**. Foods, 11(3), 412.

Mironeasa, S., Codină, G. G., & Mironeasa, C. (2022). **Effect of dietary fiber addition on bread quality and shelf life**. Journal of Cereal Science, 105, 103457.

Mironeasa, S., et al. (2022). **Impact of non-wheat flours on texture and staling of bread**. Foods, 11, 1–15.

Mironeasa, S., Stefanescu, I., & Codina, G. G. (2022). **Effect of storage conditions on the textural properties and in vitro digestibility of wheat bread containing whole quinoa flour**. Food Science and Technology International, 28(7), 592–605.

Ritva, A. M.; Repo-Carrasco-Valencia., Christian, R., Encina, Maria, J., Binaghi, Carola, B., Grecob, and Patr´ıcia A. Ronayne de Ferrer. (2010). **Effects of roasting and boiling of quinoa, kiwicha and ka˜niwa on composition and availability of minerals in vitro**. J. Sci. Food & Agric. 90: 2068 – 2073.

Rizzello, C. G., Calasso, M., Campanella, D., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2016). **Use of quinoa flour and quinoa sourdough in wheat bread making: Effects on protein digestibility, starch hydrolysis and sensory properties**. Food Microbiology, 59, 46–55.

Rizzello, C. G., Lorusso, A., Montemurro, M., & Gobbetti, M. (2016). **Use of sourdough made with quinoa (Chenopodium quinoa) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread**. Food Microbiology, 56, 1-13.

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2009). **Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources**. Food Research International, 42, 176–184.

Rosell, C. M., Santos, E., & Collar, C. (2014). **Protein–polysaccharide interactions in dough and bread quality**. Trends in Food Science & Technology, 36(1), 39–55.

Sahu, M., Rout, S., & Mishra, S. (2021). **Effect of refrigerated storage on quality characteristics of functional bread**. LWT – Food Science and Technology, 140, 110857.

See, E. F., Wan Nadiah, W. A., & Noor Aziah, A. A. (2007). **Physico-chemical evaluation of bakery products**. ASEAN Food Journal, 14(2), 123–130.

Stable Micro Systems. (2018). **TA-XT.plus Texture Analyser User Manual**. UK.

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S.E., Milovanovic, M.,(2012). **Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.) as an ingredient in bread formulations**. J.Cereal Sci. 55, 132-138.

Tang, Y., Li, X., & Zhang, B. (2015). **Nutritional and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)**. Food Science and Human Wellness, 4(2), 54–59.

Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). **Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality**. Journal of Cereal Science, 69, 174-181.

Turkut, S., Yildirim, E., & Demir, T. (2016). **Incorporation of quinoa flour in wheat bread: Effects on dough rheology and bread quality**. Journal of Cereal Science, 70, 27–33.

Wettasinghe, M., & Fan, M. Z. (2021). **Water activity and quality changes in bakery products during storage**. Journal of Food Science, 86(4), 1234–1245.

Wu, K., Sung, W. and Yang, C. (2009). **Characteristics of dough and bread as affected by the incorporation of sweet potato paste in the formulation**. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 17, No. 1. pp 13-22.

Zhang, Y., Li, H., & Chen, F. (2019). **Influence of quinoa flour substitution on the physical, chemical, and sensory properties of wheat bread**. Journal of Cereal Science, 86, 93–101.