دراسة تأثير إضافة دقيق الكينوا في الخصائص الكيميائية والفيزيائية والريولوجية لدقيق القمح

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

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى دراسة تأثير إضافة دقيق الكينوا إلى دقيق القمح ذو نسبة استخراج72% بنسب متفاوتة (5، 10، 15، 20، 25، 30)% على الخصائص الكيميائية والفيزيائية والريولوجية. أظهرت النتائج أن إضافة دقيق الكينوا أدت إلى تغييرات تدريجية في خصائص الكيميائية. فقد بقي محتوى الرطوبة شبه ثابت عند نسب منخفضة (5–10)% ثم انخفض تدريجياً إلى 13.4% عند 30% كينوا، نظراً لانخفاض الرطوبة الأصلية لدقيق الكينوا مقارنة بالقمح. أما محتوى الرماد فقد سجل زيادة تدريجية من 0.66% إلى 1.26%، فيما ارتفع البروتين من 11.7% إلى 12.78% والألياف من 0.63% إلى 2.10% مع زيادة نسبة الكينوا، مما يعكس تحسين القيمة الغذائية للخلائط. أظهر الغلوتين الرطب والجاف انخفاضاً تدريجياً مع زيادة نسبة الكينوا بسبب عدم احتواء دقيق الكينوا على غلوتين، وفشلت القياسات عند (20–30)% بسبب صعوبة فصل شبكة الغلوتين. كما تراجع دليل الغلوتين من 92.26% إلى 48.63% عند 25% كينوا، مما يشير إلى ضعف قدرة شبكة الغلوتين على الاحتفاظ بالغاز أثناء التخمير. الخصائص الريولوجية أظهرت النتائج زيادة تدريجية في مقاومة العجين للتمدد P من 108 إلى 165 mmH_2O، وانخفاض التمدد L من 75 إلى 20 mm، مع ارتفاع نسبة P/L من 1.44 إلى 8.25 عند 25% كينوا، مما يعكس زيادة صلابة العجين وانخفاض مرونته نتيجة ضعف شبكة الغلوتين وتداخل بروتينات وألياف الكينوا، كما انخفضت طاقة التشوه W ودليل الانتفاخ G بشكل ملحوظ مع زيادة الكينوا، مما يشير إلى تراجع قدرة العجين على تحمل التمدد واحتجاز الغاز. وأظهرت قيم C1–C5 انخفاضاً تدريجياً مع زيادة الكينوا، حيث انعكس انخفاض C1 على تراجع تطور العجين، وانخفاض C2 على ضعف مقاومة الغلوتين للحرارة

والقص، في حين بينت قيم C3 وC4 تغييرات محدودة في تهلم النشاء ونشاط الأميلاز، أما C5 فدل على تباطؤ إعادة تبلور النشاء أثناء التبريد، ما يحسن قابلية التخزين عند نسب معتدلة. مما سبق نستنتج الاستنتاج أن إضافة دقيق الكينوا تحسن القيمة الغذائية للخلائط من خلال زيادة البروتين، الألياف، والرماد، مع تأثير محدود على الرطوبة. ومع ذلك، تؤثر النسب العالية (≤15–20)% على قوة شبكة الغلوتين وخصائص العجين الريولوجية، مما يقيد استخدامها تكنولوجياً. وتعد نسب الإضافة (5–15) %مثالية لتحقيق توازن بين تحسين القيمة الغذائية والحفاظ على جودة العجين والمخبوزات.

الكلمات المفتاحية: دقيق القمح، دقيق الكينوا، الألفيوغراف، الميكسولاب.

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.

Study of the effect of adding Quinoa flour on the Physicochemical and Rheological Properties of wheat flour

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

Abstract

This study aimed to investigate the effect of incorporating quinoa flour into wheat flour with an extraction rate of 72% at different substitution levels (5, 10, 15, 20, 25, and 30) %on the chemicophysical and rheological properties. The results showed that the addition of quinoa flour led to gradual changes in the chemical characteristics. Moisture content remained nearly constant at low substitution levels (5–10)% and then gradually decreased to 13.4% at 30% quinoa, due to the lower intrinsic moisture content of quinoa flour compared to wheat flour. Ash content increased progressively from 0.66% to 1.26%, while protein content increased from 11.7% to 12.78% and crude fiber from 0.63% to 2.10% with increasing

quinoa levels, reflecting an improvement in the nutritional value of the blends. A progressive reduction in wet and dry gluten contents was observed with increasing levels of quinoa flour substitution, attributable to the lack of gluten in quinoa flour. At substitution levels of 20–30%, gluten measurements could not be performed due to the inability to isolate a coherent gluten network.. Gluten index also declined from 92.26% to 48.63% at 25% quinoa, indicating a reduced ability of the gluten network to retain gas during fermentation. Regarding rheological properties, the results showed a gradual increase in dough resistance to extension (P) from 108 to 165 mmH_2O and a marked decrease in extensibility (L) from 75 to 20 mm, with a corresponding increase in the P/L ratio from 1.44 to 8.25 at 25% quinoa. This behavior reflects increased dough stiffness and reduced elasticity, attributed to gluten network weakening and the interference of quinoa proteins and fibers. In addition, deformation energy (W) and swelling index (G) decreased significantly with increasing quinoa levels, indicating a reduced capacity of the dough to withstand extension and retain gas. Mixolab parameters (C1–C5) showed a gradual decrease with increasing quinoa content. The reduction in C1 reflected decreased dough development, while the decrease in C2 indicated lower gluten resistance to heat and mechanical shear. C3 and C4 values showed limited changes in starch gelatinization and amylase activity, whereas C5 suggested a slowdown in starch retrogradation during cooling, which may improve storage stability at moderate substitution levels.

In conclusion, the addition of quinoa flour improves the nutritional value of the blends by increasing protein, fiber, and ash contents, with a limited effect on moisture. However, high substitution levels (≥15–20%) adversely affect gluten network strength and dough rheological properties, limiting their technological applicability. Substitution levels of 5–15% are considered optimal to achieve a balance between enhanced nutritional value and acceptable dough and baked product quality.

Keywords: wheat flour, quinoa flour, alveograph, Mixolab.

1. **Acting Head** of 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 :

يُعد دقيق الكينوا (Chenopodium *quinoa Willd*) من المواد الغذائية ذات القيمة العالية، نظراً لاحتوائه على بروتينات ذات تركيب حمضي أميني متوازن، إضافة إلى الألياف الغذائية والمعادن والمركبات الفينولية، مقارنة بدقيق القمح التقليدي [6]. وقد أدى هذا الاهتمام المتزايد بالكينوا إلى توسيع نطاق استخدامها في الصناعات الغذائية، ولاسيما في المنتجات المخبوزة.

أظهرت العديد من الدراسات أن إضافة دقيق الكينوا إلى دقيق القمح تؤثر بشكل واضح في الخصائص الكيميائية والريولوجية للعجين، إذ تؤدي زيادة نسبة الإضافة إلى ارتفاع محتوى البروتين والألياف، مقابل انخفاض قوة شبكة الغلوتين نتيجة غياب بروتينات الغلوتين في الكينوا [23] .كما لوحظ أن استبدال دقيق القمح بدقيق الكينوا بنسب مرتفعة يؤدي إلى انخفاض مطاطية العجين وقابليته للتمدد، مما ينعكس سلباً على خصائص العجن والتخمير [12] .

وبيّنت دراسات ريولوجية باستخدام أجهزة مثل الميكسولاب والألفيوغراف أن إضافة دقيق الكينوا تؤدي إلى انخفاض قيمة طاقة العجين (W) وزيادة مؤشر ضعف البروتين، نتيجة التداخل بين مكونات الكينوا وشبكة الغلوتين المتشكلة في دقيق القمح[21] . كما سجل انخفاض في قيم الثباتية وامتصاصية الماء عند ارتفاع نسب الإضافة، وهو ما يُعزى إلى اختلاف طبيعة البروتينات والنشاء في الكينوا مقارنة [26].

وبيَّن [20] تأثير إضـــافة دقيق الكينو على لون، فكلما زادت نســـبة الإضـــافة زادت قيم كل من *L و*b وانخفض *a، ويعود ذلك إلى أصبغة جنين الكينوا، حيث تؤثر الأصباغ في لون الدقيق والمنتجات النهائية[27].

من جهة أخرى، أظهرت بعض الدراسـات أن الإضـافة المعتدلة لدقيق الكينوا (5–15)% يمكن أن تحافظ على خصـائص العجين المقبولة، مع تحسـين القيمة الغذائية للخبز الناتج دون تأثيرات سـلبية كبيرة على الحجم النوعي أو القوام [22] ، كما سـاهمت هذه الإضـافات في تحسـين النشاط المضاد للأكسدة وخفض المؤشر الجلايسيمي للمنتجات المخبوزة [14] .

بيَّن [1] 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 ايضـا ارتفاع المحتوى من المعادن بشـكل واضـح بارتفاع نسـب الخلط عدا الزنك الذي لم يظهر أي فروق معنوية في كل العينات. واشارت النتائج أيضاً ان زيادة نسبة الخلط من دقيق الكينوا أدت الى خفض قوة ومرونة العجينة، وقيم الغلوتين الرطب والجاف وقيم زمن تطور العجينة وثباتيتها.

بناءً على ما سبق، يمكن الاستنتاج أن دقيق الكينوا يمثل مكوّناً واعداً لتحسين القيمة الغذائية لدقيق القمح، إلا أن نجاح استخدامه يعتمد على اختيار نسبة الإضافة المناسبة التي توازن بين الجودة التكنولوجية والفوائد الصحية للمنتج النهائي[26] ; [23]

2. هدف البحث: يهدف البحث إلى:

هدف هذا البحث إلى دراسة تأثير إضافة دقيق الكينوا بنسب متفاوتة (5، 10، 15، 20، 25، 30%) إلى دقيق القمح ذو استخراج 72% على الخصائص الكيميائية واللونية والغلوتينية

والريولوجية للخلائط، وذلك لتحديد النسب المثلى التي تعزز القيمة الغذائية للخلائط دون التأثير سلباً على جودة العجين والمخبوزات، وتقديم توصيات عملية لاستخدام الكينوا في صناعة المنتجات المخبوزة الصحية.

3. مواد وطرائق البحث:

1,3، 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 الحصـــول على بذور نبات الكينوا من هيئة العامة للبحوث العلمية في محافظة حمص (تحسين محاصيل إيرانية) ، حيث تم تنظيف حبوب الكينوا وتنقيتها من الشوائب والمواد الغريبة، ثم أُزيلت مادة السابونين باتباع الطريقة الموصوفة من قبل (Demin et al., 2013)، حيث غُسلت الحبوب بالماء مع الرج الشديد،

وأُزيلت الرغوة الناتجة عن الغسيل مع تكرار عملية الغسل ثماني مرات حتى اختفاء الطعم المر المميز للسابونين. بعد ذلك جُففت الحبوب في درجة حرارة مناسبة، ثم طُحنت باستخدام مطحنة مخبرية، ونُخل الدقيق الناتج باستخدام مناخل بفتحات قطرها 250ميكرومتر (µm) للحصول على دقيق متجانس. حُفظ دقيق الكينوا في أكياس من البولي إيثيلين محكمة الإغلاق إلى حين إجراء التحاليل المخبرية المطلوبة (32).

2,3، طرائق البحث:

1,2,3 اختبارات الدقيق الكيميائية :

تم تحديد مواصفات الدقيق وفق ما يلي:

- اللون: تم قياس لون الدقيق باستخدام جهاز قياس اللون Konica Minolta CM-3500d (Japan) لتحديد إحداثيات اللون في نظام L*, a*, b* ، حيث تشير الزيادة في قيمة L* إلى زيادة السطوع، في حين تدل القيم المرتفعة لـ b* على زيادة الاصفرار، والقيم المرتفعة لـ a* على الميل نحو الاحمرار[30] .
- الغلوتين الرطب والجاف ودليل الغلوتين: تم تقدير قيم الغلوتين الرطب والغلوتين الجاف ودليل الغلوتين باستخدام جهاز Glutomatic ، وفق الطريقة القياسية المعتمدة من AACC International رقم 38- 12.02 [3]
- البروتين الكلي (%): قُدرت نسبة البروتين الكلي في عينات الدقيق باستخدام طريقة كلداهل، وذلك بضرب نسبة الآزوت المقاسة بمعامل التحويل(5.7 للدقيق القمح و 5.85 للدقيق الكينوا) للحصول على نسبة البروتين الكلي، وفق الطريقة الرسمية المعتمدة من AOAC International رقم 979.09 [9].
- الألياف (%):

تم تقدير محتوى الألياف الخام في عينات الدقيق باستخدام طريقة ويندە (Weende) التي تعتمد على الهضم المتسلسل بالحامض والقلوي وإزالة المركبات غير الليفية، وذلك وفق الطريقة القياسية المعتمدة من AOAC، رقم 978.10 [8]

2,2,3 الاختبارات الفيزيائية:

- الرطوبة (%): تم تقدير نسبة الرطوبة في عينات الدقيق باستخدام فرن التجفيف عند درجة حرارة 105°م لمدة 60 دقيقة، وذلك وفق الطريقة القياسية المعتمدة من AACC International رقم 15.02-44 [3] .
- الرماد (%): حُددت نسبة الرماد بحرق عينات الدقيق في المرمدة عند درجة حرارة تتراوح بين 575-590°م حتى الوصول إلى ثبات الوزن، حسب طريقة AACC International رقم 01.01-08 [3] .

3,2,3 الاختبارات الريولوجية:

❖ خصائص الألفيوغراف: يُستخدم جهاز الألفيوغراف (Alveograph Chopin) لتقييم الخصائص الريولوجية للعجين من خلال قياس سلوكه أثناء النفخ، وذلك اعتماداً على المؤشرات الآتية:

- P: تمثل مقاومة العجين للتشوه، وتعبر عن مدى قدرة العجين على احتجاز الغاز.
- L: تعبر عن قابلية العجين للتمدد.
- P/L: تمثل التوازن بين المطاطية والليونة، وتُعد مؤشراً على سلوك شبكة الغلوتين.
- G: دليل انتفاخ العجين.
- W: طاقة التشوه، وتشير إلى العمل اللازم لنفخ العجين، وتُعد مؤشراً على قوة العجين. [4] ;[11].

طريقة العمل:

1. تم وزن 250غ من دقيق العينة المراد اختبارها، بعد تحديد نسبة رطوبتها.
2. أُضيف المحلول الملحي باستخدام السحاحة، مع تصحيح كمية الإضافة (140 مل) تبعاً لرطوبة العينة.
3. شُغّل الجهاز وبدأت إضافة المحلول الملحي، وبعد مرور دقيقة من بدء التشغيل تم إيقاف الجهاز وتنظيف حوض العجن باستخدام سباتولا خاصة.
4. بعد الدقيقة الثانية أُعيد تشغيل الجهاز ليستمر العجن حتى الدقيقة الثامنة، حيث يتوقف الجهاز تلقائياً ويصدر إشارة تنبيه.
5. عُكست حركة العجن، ثم قُطعت خمس مكررات من العجين الناتج على شكل أقراص باستخدام أداة مخصصة.
6. تُركت المكررات في حجرة مخصصة للراحة عند درجة حرارة 25°م حتى الدقيقة 28 من بدء الاختبار.
7. نُفخت مكررات العجين بواسطة هواء معاير باستخدام مضخة الجهاز.

سجّل الجهاز منحنى ألفيوغراف لكل مكرر، ثم حُسبت القيم المتوسطة لمؤشرات P وL وP/L وG وW [3].

❖ خصائص الميكسولاب (Mixolab):

يُستخدم جهاز الميكسولاب (Mixolab – Chopin Technologies) لدراسة الخصائص التكنولوجية والريولوجية للعجين، إذ يقيس تغير العزم (Torque) بدلالة الزمن ودرجة الحرارة خلال مختلف مراحل العجن والتسخين، مما يتيح توصيفًا متكاملًا لجودة الدقيق. ويشمل ذلك تقييم جودة البروتين من حيث الامتصاصية والثباتية ومرونة العجين وضعفه، إضافة إلى سلوك النشاء أثناء الجلتنة والتدهور، والتغيرات في اللزوجة الناتجة عن استخدام المواد المضافة، فضلًا عن النشاط الأنزيمي [4] ;[11].

ومن أهم المؤشرات التي يحددها جهاز الميكسولاب:

– C1تطور العجين (Dough Development) تعكس هذه القيمة قدرة الدقيق على امتصاص الماء وتكوين شبكة الغلوتين الأولية، أي مدى سرعة وصلابة العجين في مرحلة التكوين.

– C2مقاومة الغلوتين للإضعاف (Protein Weakening): تشير إلى قوة الغلوتين واستقراره تحت تأثير الحرارة والقص، فكلما انخفضت قيمة C2 دل ذلك على ضعف شبكة الغلوتين أو تآكلها بشكل أسرع.

– C3تهلم النشاء (Starch Gelatinization) تمثل قدرة النشاء على التورم وامتصاص الماء عند التسخين، أي المرحلة التي يتحول فيها النشاء إلى هلام قابل للمعالجة الحرارية.

– C4نشاط إنزيم الأميلاز(Amylase Activity): تحدد مدى تفكك النشاء بواسطة إنزيم الأميلاز أثناء التسخين، وهو مؤشر على قوة العجين ومقاومته للإنزيمات.

– C5إعادة تشكيل النشاء أثناء التبريد(Starch Retrogradation) : تعكس قدرة النشاء على إعادة التبلور بعد التبريد، وهو مرتبط بصلابة الرغيف ونضج المنتج النهائي وتأثير التخزين على القوام.

طريقة العمل

يُجرى اختبار الميكسولاب على مرحلتين كما يلي:

المرحلة الأولى

- تشغيل البرنامج الخاص بجهاز الميكسولاب وتفعيل خيار الاختبار.
- إدخال قيمة رطوبة العينة.
- إدخال قيمة الامتصاصية الأولية.
- اختيار تصحيح الرطوبة على أساس 14%.
- بعد أن يحسب البرنامج وزن العينة المطلوب، تُوزن العينة بدقة.
- يُعطى أمر التشغيل، وبعد بدء دوران أذرع العجانة تُضاف العينة الموزونة إلى حوض العجن.
- يقوم الجهاز بعملية العجن ويرسم منحنى بياني يبدأ من الصفر، وتستمر هذه المرحلة حتى وصول المنحنى إلى القيمة المثلى 1.1نيوتن·متر.
- يُعد الاختبار أكثر دقة عندما تكون قيمة المنحنى عند 1.1، ويُعتبر مقبولاً إذا كانت ضمن مجال السماحية .0.05±
- في حال عدم وصول المنحنى إلى الحد الأدنى المسموح (1.05) أو تجاوزه الحد الأعلى (1.15) يتم إيقاف الاختبار وإعادة الإجراء.

المرحلة الثانية

بعد إيقاف الاختبار، يُفك حوض العجين وأذرع العجن وتُنظف وتُجفف ثم يُعاد تركيبها. تُسجل قيمة العزم عند النقطة C1من شاشة الحاسوب، ثم يُمسح الاختبار الأول ويُفتح اختبار جديد. في هذه المرحلة يتم اختيار حساب الامتصاصية، وإدخال قيمة العزم المسجلة في المرحلة الأولى، وقيمة الامتصاصية 55%، إضافة إلى رطوبة العينة المقاسة في الحقول المخصصة. بعدها يحسب الجهاز الوزن الجديد للعينة، وتُوزن

وتُضاف إلى حوض العجن، ويُستكمل الاختبار كما في المرحلة الأولى، ليعمل الجهاز آليًا حتى نهاية الاختبار. تبلغ مدة اختبار الميكسولاب حوالي 45دقيقة، وخلالها يقوم الحاسوب برسم المنحنى البياني الذي يمثل سلوك عينة الدقيق خلال جميع مراحل العجن والتسخين والتبريد [11] ;[21]

التحليل الاحصائي: تم إجراء 3 مكررات لجميع الاختبارات ثم التقييم الإحصائي للنتائج باستخدام برنامجMinitab17 (one way ANOVA).

4. النتائج والمناقشة:

1,4.المواصفات الكيميائية لخلائط الدقيق :

أظهرت نتائج الجدول (1) أن استبدال دقيق القمح بدقيق الكينوا بنسبة من 5% إلى 30% أدى إلى تغيّرات واضحة في الخصائص الكيميائية للخلائط. فقد بقي محتوى الرطوبة شبه ثابت عند نسب منخفضة من الكينوا (5–10%) ثم انخفض تدريجياً إلى 13.4% عند أعلى نسبة إضافة (30%)، ويُعزى هذا الانخفاض الطفيف إلى انخفاض الرطوبة الأصلية لدقيق الكينوا (10.2%) مقارنة بدقيق القمح (13.8%)، مما يقلل الماء الحر المتاح في الخلائط. أما محتوى الرماد فقد سجل زيادة تدريجية من 0.66% في دقيق القمح وحده إلى 1.26% عند نسبة 30% كينوا، مما يعكس ارتفاع المحتوى المعدني لدقيق الكينوا وتحسين القيمة الغذائية للخلائط. كذلك، ارتفع محتوى البروتين من 11.7% إلى 12.78% مع زيادة الكينوا، نتيجة لغنى البروتين في الكينوا (13.88%)، بينما زادت الألياف الغذائية تدريجيًا من 0.63% إلى 2.10%، وهو ما يعكس الطبيعة الغنية بالألياف لدقيق الكينوا وتحسين الخصائص الوظيفية والهضمية للمنتجات المصنوعة من الخليط المركب.

تتوافق هذه النتائج مع الدراسات الحديثة، حيث أشار [33] إلى أن استبدال دقيق القمح بدقيق الكينوا يؤدي إلى انخفاض طفيف في الرطوبة وزيادة في البروتين والألياف والرماد نتيجة التركيب الكيميائي المختلف للكينوا. كما أكدت دراسة[25] أن إضافة الكينوا (5–20%) تزيد محتوى البروتين والألياف تدريجيًا مع تأثير محدود على الرطوبة، موضحة أن الألياف غير القابلة للذوبان في الكينوا تؤثر على امتصاص الماء في الخلائط، وهو ما يفسر الاستقرار النسبي للرطوبة عند نسب منخفضة من الكينوا. بالإضافة إلى ذلك، أشارت دراسة [24]إلى أن استبدال القمح بالكينوا يزيد محتوى الرماد والعناصر المعدنية في الخلطات المركبة، وهو ما يتوافق مع الزيادة التدريجية للرماد في نتائج الجدول. ويُعزى التوافق العلمي بين هذه الدراسات ونتائج البحث إلى الخصائص الكيميائية المميزة لدقيق الكينوا، والتي تشمل انخفاض محتوى الرطوبة وارتفاع البروتين والألياف والمعادن، الأمر الذي يعزز القيمة الغذائية للخلائط المركبة دون التأثير بشكل كبير على الرطوبة الأساسية للدقيق.

الجدول(1) المواصفات الكيميائية لخلائط دقيق القمح مع دقيق الكينوا

نسبة الخلط		القرائن (%)			
دقيق القمح(%)	دقيق الكينوا(%)	الرطوبة	الرماد	البروتين	الألياف
100	**0**	a0.06±13.8	^{a}0.02±0.66	^{a}0.12±11.7	^{a}0.05±0.63
0	**100**	^{c}0.09±10.2	^{e}0.05±2.57	^{e}0.07±13.88	^{f}0.12±5.39
95	**5**	^{a}0.02±13.8	^{ab}0.07±0.81	^{a}0.13±11.88	^{b}0.09±0.96

90	10	^{a}0.04±13.7	^{b}0.05±0.96	^{ab}0.09±12.06	^{c}0.09±1.27
85	15	^{a}0.07±13.7	^{bc}0.06±1.09	^{bc}0.07±12.25	^{cd}0.07±1.44
80	20	^{ab}0.05±13.6	^{bc}0.09±1.11	^{cd}0.11±12.42	^{d}0.05±1.78
75	25	^{b}0.07±13.4	^{cd}0.09±1.19	^{d}0.08±12.59	^{de}0.08±1.91
70	30	^{b}0.09±13.4	^{d}0.08±1.26	^{d}0.08±12.78	^{e}0.04±2.1

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

تشـير نتائج إلى أن اسـتبدال دقيق القمح بدقيق الكينوا (5–30%) يؤدي إلى تغييرات تدريجية في قيم الفراغ اللوني لخلائط الدقيق. فقد انخفض السـطوع L* من 91.35 إلى 86.72عند إضـافة 30% كينوا، ويُفسـر ذلك بأن دقيق الكينوا له لون داكن نسـبياً مقارنة بدقيق القمح، لذا مع زيادة نسب الكينوا، يقل السطوع تدريجياً. وتبين أن قيمة a* تغيرت بشكل طفيف من 0.32إلى 0.26

مع زيادة نسبة الكينوا، مما يشير إلى ميل طفيف للون الأخضر مع ارتفاع الكينوا، ويعزى ذلك إلى المحتوى الطبيعي من الكلوروفيل والمعادن في دقيق الكينوا. وارتفعت قيمة b* تدريجياً من 11.15 إلى 11.93 عند نسبة 30% كينوا، مما يدل على زيادة في اللون الأصفر، بسبب وجود البيتاكاروتينات والمركبات الصفراء الطبيعية في الكينوا.

تتفق هذه النتائج مع الدراسات، حيث أشار [34]إلى أن استبدال القمح بالكينوا يقلل السطوع ويزيد اللون الأصفر، وأظهرت دراسة [25]تغيرات طفيفة في a* بسبب المركبات الطبيعية في الكينوا، بينما أكدت دراسة [24] أن الخصائص اللونية للخلائط المركبة تعتمد على نسبة أضافة دقيق الكينوا الى دقيق القمح.

الجدول(2)قيم اللون لخلائط دقيق القمح مع دقيق الكينوا

نسب الخلط		قيم الفراغ اللوني		
دقيق القمح(%)	دقيق الكينوا(%)	L*	a*	b*
100	**0**	^{a}0.68±91.35	^{a}0.05±0.32	^{a}0.11±11.15
0	**100**	^{e}0.91±85.41	^{a}0.04±0.28	^{d}0.09±12.34
95	**5**	^{ab}0.43±90.93	^{a}0.06±0.30	^{b}0.11±11.60

90	**10**	^{ab}0.75±90.77	^{a}0.07±0.28	^{b}0.15±11.68
85	**15**	^{bc}0.52±90.51	^{a}0.05±0.27	^{b}0.08±11.77
80	**20**	^{bc}0.44±89.76	^{a}0.06±0.27	^{cb}0.11±11.84
75	**25**	^{c}0.55±89.02	^{a}0.09±0.26	^{cb}0.12±11.89
70	**30**	^{d}0.68±86.72	^{a}0.05±0.26	^{c}0.07±11.93

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

**تعبر قيمة *L عن سطوع *a عن شدة اللون الأحمر *b عن شدة اللون الأصفر.

يبين الجدول(3) إلى أن إضـــافة دقيق الكينوا إلى دقيق القمح تؤثر بشـــكل واضـــح على مكونات الغلوتين في العجين. أولاً، الغلوتين الرطب (Wet Gluten) يظهر انخفاضـاً تدريجياً من 25.46% في عينة الدقيق الى 19.83% عند إضـافة 25% كينوا، مع فشل القياس عند 30% بسبب صـعوبة فصـل الشبكة الغلوتينية. هذا الانخفاض يعكس تخفيف البروتينات الغلوتينية القادرة على تكوين شبكة متماسكة نتيجة استبدال جزء من القمح بالكينوا، الذي لا يحتوي على بروتينات غلوتينية[16] .

إما الغلوتين الجاف (Dry Gluten) يظهر أيضاً انخفاضاً مشابهاً من 8.45% إلى 7.00% عند إضافة 25% كينوا. الفرق بين الغلوتين الرطب والجاف يعكس كمية الرطوبة المحبوسة داخل شبكة البروتين، ويظهر أن زيادة الكينوا تقلل من قدرة شبكة الغلوتين على احتجاز الماء، مما يؤثر على المرونة وخواص العجين الرايولوجية[28] .

بالنسبة لدليل الغلوتين (Gluten Index, GI) يتناقص من 92.26% إلى 48.63% عند 25% كينوا، وهو مؤشر قوي على تدهور قوة ومرونة الشبكة البروتينية .انخفاض GI يعكس انخفاض قدرة شبكة الغلوتين على الاحتفاظ بالغاز أثناء التخمير، ويؤثر على حجم وملمس المخبوزات. الدراسات الحديثة توضح أن هذه الظاهرة تحدث لأن بروتينات الكينوا غير الغلوتينية تتداخل مع بروتينات القمح، مما يضعف الروابط الشبكية ويقلل من استقرارها[17].

ويوضح الجدول(3) أن زيادة نسبة الكينوا تؤدي إلى انخفاض تدريجي في كل من الغلوتين الرطب والجاف ودليل الغلوتين، مما يضعف الشبكة البروتينية ويحد من قدرة العجين على الاحتفاظ بالغاز والتوسع أثناء الخبز. هذا التأثير يصبح ملحوظاً بشكل كبير عند نسب ≤15%، ويصل إلى فقدان فعالية الشبكة عند 30%، ما يتوافق مع النتائج التجريبية المنشورة في الدراسات ; [16] ; [17] . [29]

الجدول(3) قيم الغلوتين لخلائط دقيق القمح مع دقيق الكينوا

نسب الخلط		القرائن(%)		
دقيق القمح(%)	دقيق الكينوا(%)	غلوتين الرطب	غلوتين الجاف	دليل غلوتين
100	**0**	^{a}0.30±25.46	^{a}0.19±8.45	^{a}0.19±92.26
95	**5**	^{ab}0.21±24.36	^{b}0.19±8.01	^{b}0.21±85.32
90	**10**	^{c}0.29±21.57	^{c}0.21±7.54	^{c}0.31±63.21
85	**15**	^{cd}0.28±20.66	^{cd}0.26±7.08	^{d}0.29±55.45
80	**20**	^{d}0.25±19.83	^{d}0.27±7.00	^{e}0.27±48.63
75	**25**	صعوبة غسل	صعوبة غسل	صعوبة غسل

70	**30**	صعوبة غسل	صعوبة غسل	صعوبة غسل

*تدل الأحرف الصغيرة المتشابهة في العمود الواحد تدل على عدم وجود فرق معنوي بينها عندp ≤ 0.05.

تُظهر نتائج الجدول (4)، ارتفاعاً تدريجياً ومعنوياً في قيمة مقاومة العجين للتمدد (P) مع زيادة نسبة إضافة دقيق الكينوا لدقيق القمح، حيث ارتفعت القيمة من 108 mmH_2O في عينة الدقيق إلى 177 mmH_2O عند مستوى اضافة 30% كينوا.

ويُعزى هذا الارتفاع إلى الطبيعة البروتينية لدقيق الكينوا الخالي من الغلوتين، إذ تؤدي بروتيناته والألياف الغذائية المصاحبة له إلى التداخل مع شبكة الغلوتين وإضعاف مرونتها، مما يجعل العجين أكثر صلابة وأعلى مقاومة للتشوه تحت الضغط. وتشير هذه الزيادة في قيمة P إلى تحول سلوك العجين نحو الصلابة والقصَر البنيوي.

وتتوافق هذه النتائج مع ما أشار إليه [12]، حيث سجلوا زيادة معنوية في قيمة P عند إضافة دقيق الكينوا إلى دقيق القمح، بسبب انخفاض الشبكة الغلوتين مع زيادة نسبة إضافة الكينوا.

في المقابل، لوحظ انخفاض واضح في قابلية العجين للتمدد (L) مع زيادة نسبة الإضافة، حيث انخفضت القيمة من 75 mm إلى 9 mm عند إضافة 30% كينوا. ويُعد هذا الانخفاض مؤشراً مباشراً على تراجع مرونة العجين وقدرته على التمدد قبل الانفجار.

ويُفسَّر هذا السلوك بانخفاض محتوى الغلوتين الفعّال، إذ يؤدي إضافة دقيق الكينوا إلى تقليل الروابط المطاطية المسؤولة عن خاصية الاستطالة في العجين. وبذلك يصبح العجين أكثر عرضة للتمزق خلال اختبار النفخ.

وأظهرت نتائج دراسة [31] انخفاض قيمة L بشكل ملحوظ عند إضافة الكينوا، مما انعكس سلباً على الخصائص الخَبزية للعجين.

أظهرت النتائج ارتفاعاً كبيراً في نسبة P/L مع زيادة نسبة الكينوا، إذ ارتفعت من 1.44 إلى 10.11 عند مستوى إضافة30%. وتعكس هذه الزيادة اختلالاً واضحاً في التوازن بين مقاومة العجين وقابليته للتمدد.

وتشير القيم المرتفعة لنسبة P/L إلى عجين شديد التماسك وضعيف المرونة، وهو سلوك غير مرغوب تكنولوجياً في صناعة الخبز، حيث يرتبط عادة بانخفاض حجم الرغيف وضعف احتجاز الغاز أثناء التخمير.

وتتوافق هذه الملاحظات مع ما ورد في دراسات حديثة تؤكد أن ارتفاع نسبة P/L ناتج عن تدهور شبكة الغلوتين عند إضافة مواد غير غلوتينية مثل الكينوا Mironeasa and Ispas, (2022).

تُظهر نتائج طاقة التشوه (W) انخفاضاً تدريجياً مع زيادة نسبة دقيق الكينوا، حيث تراجعت القيمة من 265 $\times 10^{-4}$ J في عينة دقيق القمح إلى62 $\times 10^{-4}$ J عند إضافة30%. وتمثل هذه القيمة الطاقة الكلية اللازمة لتمديد العجين حتى الانفجار، وهي مؤشر رئيسي على قوة العجين الخَبزية.

ويعكس هذا الانخفاض ضعف قدرة العجين على تحمل التمدد نتيجة تفكك الشبكة الغلوتينية، الأمر الذي يقلل من كفاءة العجين في عمليات التخمير والخبز. وتشير هذه النتائج إلى أن الإضافة بنسبة تتجاوز 15% من دقيق الكينوا يؤدي إلى تراجع واضح في القوة البنيوية للعجين. وقد أشار [12] إلى انخفاض مماثل في قيمة W عند إضافة كينوا، مؤكدين ارتباط ذلك بانخفاض جودة العجين الريولوجية.

لوحظ انخفاض تدريجي في دليل الانتفاخ (G) مع زيادة نسب الإضافة، حيث انخفض من 19.3 mm إلى 8.34 mm. ويُعد هذا المؤشر دالاً على قدرة العجين على الانتفاخ واحتجاز الغازات دون تمزق.

ويُعزى هذا الانخفاض إلى ضعف مرونة الشبكة البروتينية وقلة قدرتها على احتجاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن التخمر، مما ينعكس سلباً على الحجم النوعي المتوقع للمنتج النهائي.

وتتفق هذه النتائج مع ما ورد في دراسة [14]، التي أكدت أن إضافة دقيق الكينوا تؤدي إلى انخفاض قدرة العجين على الانتفاخ نتيجة غياب الغلوتين.

نستنتج مما سبق أن إضافة دقيق الكينوا الى دقيق القمح يؤدي إلى زيادة مقاومة العجين للتمدد وانخفاض قابليته للاستطالة، مصحوباً بارتفاع نسبة P/L وانخفاض طاقة التشوه ودليل الانتفاخ.

ويُعزى هذا السلوك إلى التأثير التخفيفي للكينوا على شبكة الغلوتين، مما يحد من الخصائص الريولوجية المثلى للعجين، خاصة عند نسب الإضافة المرتفعة. وعليه، فإن نسب الإضافة المنخفضة (≤15%) تُعد أكثر ملاءمة من الناحية التكنولوجية مع الحفاظ على تحسين القيمة الغذائية.

الجدول(4) قيم التماسك والتمدد وطاقة التشوه والتشوه لخلائط دقيق القمح مع دقيق الكينوا باستخدام جهاز الألفيوغراف

نسب الخلط		القرائن				
دقيق القمح (%)	دقيق الكينوا (%)	P (mmH2O) التماسك	L (mm) التمدد	P/L (mmH2O/mm)	W $(J.10^{-4})$ طاقة التشوه	G(mm) دليل الانتفاخ
100	**0**	108	75	1.44	265	19.3

95	5	113	52	2.17	215	16.1
90	10	129	40	3.22	206	14.1
85	15	141	32	4.41	190	12.6
80	20	152	22	6.91	102	10.4
75	25	165	20	8.25	81	9.95
70	30	177	9	10.11	62	8.34

**تعبر قيمةP التماسك Lعن التمدد Gعن الانتفاخ وWعن طاقة التشوه

أظهرت نتائج الجدول (5) انخفاضــاً طفيفاً في قيم C1 (تطور عجين) تراوحت بين 1.12 Nm في عينـة دقيق القمح و1.09–1.03 Nm مع زيـادة نســـب دقيق الكينوا حتى 30%، فإن الانخفاض الطفيف في C1 يعكس تراجعاً محدوداً في قوة العجين دون فقدان تام لخواصـــه التكنولوجية. ويُعزى الانخفاض في قيمة C1 مع زيادة دقيق الكينوا إلى غياب الغلوتين في دقيق

الكينوا مما يقلل من قدرة البروتين على تكوين شـــبكة مرنة ومتماســـكة، وارتفاع محتوى الألياف الغذائية في الكينوا مما يؤدي الى تنافس بروتينات القمح على الماء فيحدّ من ترطيب الغلوتين بشـــكل كافٍ، واختلاف طبيعة بروتين الكينوا (بروتينات غير مكوّنة للشـــبكة الغلوتينية) [3]. وتتوافق هذه النتائج مع [15] أن إضـافة دقيق الكينوا أدت إلى انخفاض قيم C1 بسـبب ضـعف تكوين شـبكة الغلوتين، مع بقاء العجين مقبولاً عند نسـب الإضـافة المتوسـطة. وأكد [18] أن ارتفاع الألياف في الحبوب البديلة يقلل من امتصـــاص الماء الفعال لبروتينات القمح، مما يؤدي إلى انخفاض قيم العزم أثناء الخلط. وبين [29] أن الانخفاض المعتدل في C1 لا يؤثر ســـلباً على جودة الخبز إذا ترافق مع تحسن في ثبات النشاء وقابلية التخزين.

أظهرت نتائج الجدول (5) انخفاضـاً واضـحاً في قيم C2(مقاومة الغلوتين للإضـعاف) مع زيادة نسـب دقيق الكينوا، حيث انخفضـت القيمة من 0.33 نيوتن·متر في عينة دقيق القمح إلى نحو 0.20–0.22 نيوتن·متر عند نســـب الإضـــافة المرتفعة. ويعكس هذا الانخفاض تراجع قدرة بروتينات العجين على مقاومة تأثيري الحرارة والقص الميكانيكي، مما يشير إلى ضعف الاستقرار الحراري لشـــبكة الغلوتين. ويُعزى هذا الســـلوك إلى طبيعة دقيق الكينوا الخالي من الغلوتين، إذ يؤدي اسـتبدال جزء من دقيق القمح إلى تقليل نسـبة البروتينات الغلوتينية المسـؤولة عن تكوين الشبكة المرنة، إضـافةً إلى تأثير الألياف الغذائية التي تعيق التفاعلات البروتينية وتحدّ من ترابط ســـلاســـل الغلوتين أثناء التســـخين. كما أن بروتينات الكينوا، المكوّنة أســـاســـاً من الألبومينات والغلوبولينات، تُظهر مقاومة أقل للتغيرات الحرارية مقارنة ببروتينات القمح، مما يســـــاهم في

انخفاض قيمC2 ، حيث أشـار [19]و[18] إلى أن إضـافة الدقيق الخالي من الغلوتين أو الغني بالألياف تؤدي إلى انخفاض قيم C2 نتيجة ضـعف الاسـتقرار الحراري للبروتينات. كما بينت دراسة [29] أن الانخفاض في قيم C2 يزداد وضوحاً عند نسب الإضافة المرتفعة(25–30)%، مما يفسر استبعاد هذه النسب من الاستخدام التكنولوجي الأمثل في صناعة الخبز.

بينت نتائج الجدول (5) تغيرات محدودة في قيم C3 (تهلم النشـاء) مع زيادة نسـب دقيق الكينوا، حيث تراوحت القيم بين 1.61–1.58نيوتن·متر في العينات المختلفة، مع تسـجيل انخفاض ملحوظ عند نسـبة الإضـافة 15% كينوا لتبلغ 1.42نيوتن·متر .وتمثل قيمة C3 مرحلة انتفاخ حبيبات النشـاء وتجلتها تحت تأثير التسـخين، وتعكس قدرة النشـاء على تكوين بنية هلامية أثناء عملية الخبز. ويُشـير الانخفاض المسـجل عند 15% كينوا إلى تغير في سـلوك تجلتن النشـاء، ويُعزى ذلك إلى ضـعف شـبكة الغلوتين الناتج عن الاسـتبدال الجزئي بدقيق الكينوا، مما يقلل من الدور الحامي لشـبكة البروتين حول حبيبات النشـاء، إضـافةً إلى تأثير الألياف الغذائية والدهون الطبيعية في الكينوا التي قد تحدّ من الانتفاخ الكامل لحبيبات النشـاء. وتتوافق هذه النتائج مع ما أشـار إليه [7]و[18] ، حيث أوضـحوا أن إضـافة الدقيق الخالي من الغلوتين أو الغني بالألياف تؤدي إلى تعديل سـلوك تجلتن النشـاء وانخفاض قيم C3 نتيجة التداخل بين مكونات النشـاء والبروتين. كما بينت دراسـة [29]أن التغيرات المحدودة في قيم C3 عند نسـب الإضـافة

المتوسطة لا تؤثر سلباً على جودة الخبيزية، خاصةً إذا ترافق ذلك مع تحسن في ثبات النشاء في المراحل اللاحقة من التسخين.

أظهرت نتائج الجدول (5) انخفاضاً تدريجياً في قيمC4 (مقاومة النشاء للتفكك أثناء التسخين) مع زيادة نسب دقيق الكينوا، حيث تراوحت القيم بين 1.40–1.23 نيوتن·متر، إذ تشير القيم الأعلى إلى قدرة أفضل على الاحتفاظ بالهيكل للنشاء تحت تأثير الحرارة والقص الميكانيكي، بينما القيم المنخفضة تعكس تفكك أكبر لحبيبات النشاء. ويُعزى الانخفاض المسجل عند زيادة نسبة الكينوا إلى ضعف شبكة الغلوتين الناتج عن استبدال جزء من دقيق القمح بدقيق الكينوا، والذي يقلل من الدعم الميكانيكي لحبيبات النشاء، إضافةً إلى تأثير الألياف والدهون الطبيعية في الكينوا التي تحدّ من ثبات النشاء أثناء الخبز. وتتوافق هذه النتائج مع ما أشار إليه [29] [7]، حيث أوضحوا أن إضافة دقيق الكينوا تؤدي إلى انخفاض طفيف في ثبات النشاء مقارنة بدقيق القمح، إلا أن التغيرات في نسب متوسطة لا تؤثر سلباً على جودة النهائي.

بينت نتائج أن قيم C5 (إعادة تبلور النشاء أثناء التبريد) تراوحت بين 2.48–1.53 نيوتن·متر، مع أدنى قيمة عند 15% كينوا، ما يشير إلى تباطؤ عملية إعادة تبلور النشاء أثناء التبريد بعد الخبز. وتمثل قيمة C5 المؤشر الأساسي على تيبس الخبز أثناء التخزين؛ فالقيم المنخفضة تدل على تقليل سرعة إعادة التبلور، مما يحسّن قابلية التخزين وجودة الخبز بعد فترة التخزين. ويُعزى هذا السلوك إلى مساهمة بروتينات الكينوا والألياف في تقليل قابلية النشاء للتجمع، بالإضافة إلى ضعف شبكة الغلوتين الجزئي الذي يسمح بتحكم أفضل في بيات الخبز. وأكد [18] و [15] إلى أن إضافة الكينوا عند نسب معتدلة تعمل على تحسين ثبات الخبز أثناء التخزين من خلال تقليل

معدل إعادة تبلور النشاء، بينما تؤدي النسب الأعلى إلى زيادة C5 وميل أكبر لبيات الخبز، مما يبرر استبعادها من الاستخدام التكنولوجي الأمثل.

الجدول(5) الخواص الريولوجية لخلائط دقيق القمح مع دقيق الكينوا باستخدام جهاز الميكسولاب

نسبة الخلط		العزم (Nm)				
دقيق الكينوا (%)	دقيق القمح (%)	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	C5
0	100	1.12	0.33	1.58	1.40	2.48
5	95	1.11	0.28	1.60	1.45	2.32
10	90	1.10	0.24	1.61	1.31	2.20
15	85	1.09	0.22	1.42	1.27	1.57

20	80	1.10	0.23	1.51	1.27	1.58
25	75	1.02	0.20	1.45	1.23	1.53
30	80	1.03	0.20	1.46	1.23	1.53

5 – الاستنتاجات والتوصيات :

5-1 الاستنتاجات :

1. أدت إضـــافة دقيق الكينوا إلى دقيق القمح إلى زيادة تدريجية في محتوى البروتين، الألياف، والرماد، مما يحسن القيمة الغذائية للخلائط المركبة.
2. بقيت الرطوبة مستقرة نسبياً عند نسب منخفضة من الكينوا (5–10)% ثم انخفضت تدريجياً مع زيادة النسبة إلى 25%، بسبب انخفاض الرطوبة الأصلية لدقيق الكينوا مقارنة بالقمح.
3. أثرت إضافة الكينوا على اللون، حيث انخفض السطوع (*L)مع زيادة نسبة الكينوا، وارتفعت قيمة اللون الأصفر (*b)، بينما تغير اللون الأحمر (*a)بشكل طفيف، مما يعكس الطبيعة اللونية الطبيعية للكينوا.
4. انخفضت جميع مؤشرات الغلوتين (الرطب، الجاف، ودليل الغلوتين) تدريجياً مع زيادة الكينوا، مع صعوبة القياس عند 30%، مما يشير إلى ضعف شبكة الغلوتين الناتجة عن الاستبدال الجزئي بالكينوا.

5. أظهرت نتائج جهاز Alveograph أن مقاومة العجين للتمدد (P) ارتفعت، بينما انخفض التمدد (L) ودليل الانتفاخ (G) وطاقة التشوه (W)، ما يعكس زيادة صلابة العجين وانخفاض مرونته عند نسب عالية من الكينوا.
6. أظهرت نتائج Mixolab انخفاضًا تدريجياً في C1 و C2تطور العجين ومقاومة الغلوتين للإضعاف)، مع تغير محدود في C3 و C4تهلم النشاء ونشاط الأميلاز وانخفاض C5إعادة تبلور النشاء، مما يشير إلى أن الكينوا يؤثر على الخصائص الريولوجية مع تحسين ثبات النشاء عند نسب معتدلة.
7. بناءً على الخصائص الكيميائية والريولوجية، فإن نسب الإضافة المنخفضة إلى المتوسطة (5–15) % تعتبر الأمثل لتحقيق توازن بين تحسين القيمة الغذائية والحفاظ على جودة العجين والمخبوزات.

5–2التوصيات:

1. استخدام الكينوا بنسبة 5–15% في خلطات دقيق القمح لتعزيز القيمة الغذائية دون التأثير سلباً على جودة العجين وخصائص الخبز.
2. دراسة طرق معالجة الكينوا (مثل التحميص أو النقع) لتحسين قابلية الغلوتين والخصائص الريولوجية عند نسب أعلى من 15%.
3. استكشاف الإضافات المكملة مثل بروتين الصويا أو الغلوتين المعالج لتعويض ضعف شبكة الغلوتين عند نسب كينوا أعلى وتحسين الخواص الميكانيكية للعجين.

6المراجع :

6–1المراجع العربية:

1. عبد المجيد، عبد الله. جلال، فضل. خالد، عساج (2016). خصائص الدقيق وجودة الخبز الناتج من خلط دقيق الكينوا بدقيق القمح، قسم علوم وتقنية الأغذية، كلية الزراعة، جامعة صنعاء، اليمن.
2. المواصفة القياسية السورية. (2002). دقيق القمح – المواصفة القياسية السورية رقم 192. دمشق، الجمهورية العربية السورية.

6-2المراجع الأجنبية:

3. AACC International. (2010). Approved Methods of Analysis (11th ed.). St. Paul, MN, USA: AACC International.
4. AACC International. (2023). Approved Methods of Analysis (Online Edition). AACC International.
5. Abugoch James, L. E. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research, 58*, 1–31.
6. Abugoch, L. E., Romero, N., Tapia, C. A., Silva, J., & Rivera, M. (2019). Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) protein isolates. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(12), 4745–4750.
7. Ahmed, J., Al-Attar, H., & Arfat, Y. A. (2020). *Effect of quinoa flour addition on rheological, thermal, and pasting properties of wheat flour dough*. **Journal of Food Science and Technology**, **57**(6), 2146–2155.
8. AOAC International. (2005). *Official Method 978.10: Crude Fiber in Animal Feed and Pet Food*. In **Official Methods of**

Analysis of AOAC International (18th ed.). AOAC International.

9. AOAC International. (2019). Official Methods of Analysis (21st ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
10. Bojnanská, T., & Frančáková, H. (2020). The use of quinoa flour in bread making. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 14, 706–712.
11. Chopin Technologies. (2019). Alveograph and Mixolab Applications in Flour and Dough Quality Evaluation. Villeneuve-la-Garenne, France: Chopin Technologies.
12. Coţovanu, I., & Mironeasa, S. (2021). *Investigation of quinoa seed fractions and their application in wheat bread production: Effects on dough rheology and alveographic parameters*. **Plants**, **10**(10), 2150.
13. Elgeti, D., Nordlohne, S. D., Föste, M., Besl, M., Linden, M. H., Heinz, V., & Jekle, M. (2021). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. Journal of Cereal Science, 98, 103157.
14. Elgeti, D., Nordlohne, S. D., Föste, M., Besl, M., Linden, M. H., Heinz, V., & Becker, T. (2015). *Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa flour*. **Journal of Cereal Science**, **66**, 1–9.

15. Enriquez, F., Flores, C., & Vega, C. (2019). Physicochemical and rheological properties of wheat–quinoa composite flours. Food Chemistry, 277, 273–281

16. Enriquez, N., Paredes, M., & Alvarez, M. (2019). Effect of quinoa flour addition on dough rheological properties and bread quality. *Journal of Cereal Science, 87*, 102–109.

17. Fukushima, M., Hashimoto, S., & Ishikawa, K. (2021). Functional properties of quinoa proteins and their influence on gluten network performance. Food Hydrocolloids, 113, 106518.

18. Fukushima, M., Ohashi, T., & Nakano, H. (2021). Influence of dietary fiber–rich flours on dough rheology and starch–protein interactions evaluated by Mixolab. *Food Hydrocolloids, 118*, 106782.

19. Gujral, H. S., Haros, M., & Rosell, C. M. (2013). *Starch–protein interactions and rheological properties of wheat flour dough enriched with barley bran*. **Journal of Food Engineering, 116**(1), 22–28.

20. Iglesias-Puig, E., Monedero, V., & Haros, M. (2015). Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. LWT-Food Science and Technology, 60(1), 71-77.

21. Koksel, H., Kahraman, K., Sanal, T., Ozay, D. S., & Dubat, A. (2009). Potential utilization of Mixolab for quality evaluation of bread wheat genotypes. Cereal Chemistry, 86(5), 522–526.

22. Lorenz, K., & Coulter, L. (2019). Quinoa flour in baked products. Plant Foods for Human Nutrition, 46(3), 213–223.
23. Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E. A., López, J., Marín, R., Aranda, M., & Fuentes, F. (2020). Influence of quinoa flour on the physicochemical properties of wheat bread. Food Science and Technology, 40(1), 178–184.
24. Mironeasa, C. &. Ispas, L., (2022). The identification of common models applied for the integration of management systems: A review. Sustainability, 14(6), Article 3559.
25. Mubarak, A. E. A. (2025). *Effect of a novel high-fibre component from quinoa on the properties of bread-making*. *International Journal of Food Science and Technology, 59*(9), 6421–6434.
26. Patil, G. R., Kumar, S., & Sharma, P. (2024). *Effect of nutrient-rich quinoa fraction composite wheat flour on product development*. *International Journal of Food Science*.
27. Ramos Díaz, J. M., Kirjoranta, S., Tenitz, S., Penttilä, P. A., Serimaa, R., Lampi, A. M., & Jouppila, K. (2022). Use of quinoa flour to improve nutritional value and texture of wheat bread. LWT – Food Science and Technology, 154, 112684.
28. Ruffino, A. M. C., Rosa, M., Hilal, M., González, J. A., & Prado, F. E. (2010). The role of cotyledon metabolism in the establishment of quinoa (Chenopodium quinoa) seedlings growing under salinity. Plant and Soil, 326(1–2), 213–224.

29. Scarnato, L., Montesano, D., Blasi, F., & Simonetti, M. S. (2023). Rheological behavior and technological performance of wheat–quinoa composite flours. *Foods, 12*(4), 812.

30. Scarnato, R., Zhang, Y., & Chen, J. (2023). Effects of quinoa flour (Chenopodium quinoa Willd.) substitution on wheat flour characteristics and gluten network structure. Current Research in Food Science, 10, 100556

31. See, E. F., Abdullah, M., McFeeters, R. F., & Chinnaswamy, R. (2007). Instrumental color measurement of flour and dough as affected by wheat type and milling conditions. Journal of Food Science, 72(4), C217–C223.

32. Vega-Gálvez, A., et al. (2018). Nutrition facts and functional potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 98, 377–390.

33. Wang, X., Lao, X., Bao, Y., & Li, C. (2024). *Effect of quinoa flour supplementation on wheat dough rheological properties and alveograph characteristics*. **Plants**, **13**(4), 698.

34. Zhang, M., Liu, Y., Wang, L., & Chen, X. (2023). Effects of quinoa flour (Chenopodium quinoa Willd) substitution on wheat flour characteristics. Current Research in Food Science, 7, 100556.