

The Role of Roasting and Fermentation in Enhancing the Functional and Technological Properties of Oat Grains and its Flour

Amel Ali Eshdog¹  , Alfathe Abobakar Elbarkoli¹  , Salah Ali Alhebeli²  , Muna Abdulsalam Ilowefah^{1*}  

¹Department of Food Technology, Faculty of Food Sciences, Wadi Al-Shatti University, Libya

²Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tripoli, Libya

ARTICLE HISTORY

Received 02 October 2025
Revised 05 November 2025
Accepted 11 November 2025
Online 14 November 2025

KEYWORDS

Oat flour;
Roasting;
Fermentation;
Functional properties;
Dough strength.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the impact of both fermentation and roasting on the functional properties of oat grains and its flour. Wheat dough volume enriched with fermented and roasted oat flour were also measured. Oat grains were roasted at 250°C for 20 min, and they were milled to obtain roasted oat flour. These roasting conditions were selected after testing three different temperatures (150, 200, and 250°C) for three other times (10, 20, 30 min), to identify the optimal condition based on the highest total dietary fiber content. Fermentation was carried out by mixing oat flour with 2.5% of baker's yeast and fermented for 2.5h. Thereafter, the fermented flour was dried at 40°C until reaching a safe moisture level (10-12%). Then the fermented dough re-milled to have fermented oat flour. Both roasted and fermented oat flours were incorporated into white wheat flour at levels of 10, 20, 30, and 40% and dough volume was measure as an indicator of the dough strength. The study also evaluated the alterations occurs in the functional properties of oat flour as a result of roasting and fermentation, included water and oil holding capacity, swelling power, solubility, and foaming capacity. The results showed that fermented oats recorded the highest values of water and oil holding capacity, solubility, and foam formation and stability. While, roasted oat flour recorded the highest value of swelling capacity. The highest dough volume was found at a 30% addition rate of fermented and roasted oat flour. As for the dough containing raw oats, its highest volume was recorded at an addition rate of 20%. Thus, it was noted that both roasting and fermentation processes were effective in improving the functional and technological properties of oat flour.

دور عمليتي التخمير والتحميص في تحسين الخصائص الوظيفية والتصنيعية لحبوب ودقيق الشوفان

امل علي اشدوق¹، فتحي ابوبكر البركولي¹، صلاح علي الهبيل²، منى عبد السلام لويقة^{1*}

المخلص	الكلمات المفتاحية
هدفت هذه الدراسة الى تقييم تأثير كل من عمليتي التخمير والتحميص على الخصائص الوظيفية لحبوب ودقيق الشوفان وايضا التعرف على مدى تأثير ذلك على قوة عجينة دقيق القمح الابيض المدعم بالشوفان الخام والمتخمّر والمحمص. تم أولا تحميص الشوفان على درجة حرارة 250 °م لمدة 20 دقيقة و ثم طحن الحبوب المحمصة للحصول على دقيق الشوفان المحمص. تم اختيار هذه الظروف من خلال تحميص حبوب الشوفان على ثلاثة درجات حرارة مختلفة ولأزمنة مختلفة (150، 200 و 250 °م لمدة 10، 20 و 30 دقيقة) وتم تقدير نسبة الالياف الكلية ومن خلال أعلى نسبة للألياف تم اختيار ظروف التخمير (250 °م لمدة 20 دقيقة). كما تم تخمير دقيق الشوفان لمدة ساعتين ونصف بإضافة خميرة الخبز بنسبة 2.5% ومن ثم تم تجفيفه على 40°م حتى الوصول للرطوبة الآمنة (10-12%) وتم إعادة طحنه للحصول على دقيق شوفان المتخمّر. ايضا تم اضافة كل من دقيق الشوفان المحمص والمتخمّر لعجينة دقيق القمح الابيض بالنسب 10، 20، 30 و 40% وتم قياس حجم العجين كمؤشر على قوة الدقيق المدعم بالشوفان. في هذه الدراسة ايضا تم تقييم التغيرات التي حدثت في الخصائص الوظيفية لدقيق الشوفان بعد التخمير والتحميص والتي اشتملت على الارتباط بالماء والزيت، الانتفاخ، الذوبانية، القدرة على تكوين الرغوة وذلك مقارنة بخصائص دقيق الشوفان الخام. أظهرت النتائج أن الشوفان المتخمّر سجل أعلى قيم لكل من القدرة على الارتباط بالماء والزيت والذائبة وتكوين الرغوة، في حين سجل الشوفان المحمص أعلى قدرة على الانتفاخ. هذا وقد سجلت نسبة الاضافة 30% من دقيق الشوفان المتخمّر والمحمص أعلى حجم للعجين، اما بالنسبة للعجين المحتوي على الشوفان الخام فقد كان أعلى حجم له عند نسبة الاضافة 20%. وبهذا نلاحظ ان كلا من عمليتي التخمير والتحميص كانت فعالة في تحسين الخصائص الوظيفية والتصنيعية لدقيق الشوفان مقارنة بالشوفان الخام.	دقيق الشوفان التخمير الخصائص الوظيفية قوة العجين

*Corresponding author

https://doi.org/10.63318/waujpasv3i2_38

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

وعليه كانت اهداف هذه الدراسة اولا: اجراء عمليتي التحميص والتخمير لحبوب ودقيق الشوفان. ثانيا: تقييم التغيرات في الخصائص الوظيفية لدقيق الشوفان المتخمّر والمحمص. ثالثا: استبدال جزء من دقيق القمح الأبيض بدقيق الشوفان المحمص والمتخمّر ودراسة تأثير ذلك على قوة العجين وخصائصه التكنولوجية.

المواد وطرق العمل

المواد

تم الحصول على عينة حبوب الشوفان من منطقة براك الشاطئ. اما دقيق القمح الابيض فتم الحصول عليه من مدينة سها (شركة المواسم لطحن الغلال)، وتم استخدام خميرة الخباز الفورية *S.cerevisiae* (باكمايا، تركيا)

طرق العمل

عملية التحميص

بعد تنظيف حبوب الشوفان من الشوائب وبعد ازالة الغلاف الخارجي Husk تم اجراء عملية التحميص على درجة حرارة 250°م لمدة 20 دقيقة، وقد تم اختيار هذه الظروف من خلال تحميص حبوب الشوفان على ثلاثة درجات مختلفة وأزمنة مختلفة (150، 200 و 250 °م ولمدة 10، 20 و 30 دقيقة) وتم تقدير نسبة الألياف الكلية، ومن خلال أعلى نسبة للألياف تم اختيار ظروف التحميص (250°م لمدة 20 دقيقة) وتم بعد ذلك طحنه بواسطة مطحنة كهربائية للحصول على دقيق الشوفان المحمص وحفظه في عبوات مبردة لحين الاستخدام.

عملية التخمير

تم التخمير باستخدام خميرة الخباز بنسبة 2.5% لمدة ساعتين ونصف وقد تم تحديد هذه المدة وفقا لقياسات الرقم الهيدروجيني pH حيث استمر التخمير حتى وصوله الى الحموضة المتعادلة (PH5.5) [5]، وتم تجفيف الشوفان المتخمّر في فرن التجفيف الهوائي على درجة حرارة 40 °م حتى الوصول الى نسبة رطوبة امنة 10-12% لمدة . وبالتالي أصبح لدينا ثلاثة عينات: عينة الشوفان الخام، عينة الشوفان المحمص وعينة الشوفان المتخمّر والتي تم حفظها في عبوات محكمة مبردة.

قياس القدرة على ربط الماء والزيت

تم اجراء هذا الاختبار بناء على ما ذكره [7] وتم حساب القدرة على ربط الماء والزيت (جم/جم).

قياس القدرة على تكوين الرغوة

تم قياس القدرة على تكوين الرغوة وثباتها بناء على ما ذكره [8] .

قياس القدرة على الانتفاخ

تم قياس القدرة على الانتفاخ بناء على ما ذكره [9] وتم حساب نتائج القدرة على الانتفاخ وفقا للمعادلة الآتية:

وزن الأنبوبة مع العينة بعد الطرد المركزي - وزن الأنبوبة فارغ / وزن العينة = جم/جم

قياس الذوبانية

تم تقدير الذوبانية بناء على ما ذكره [10] كنسبة مئوية.

قياس حجم العجينة

تم قياس حجم العجين بناء على ما ذكره [11] وذلك باستخدام مخبار مدرج.

التحليل الاحصائي

يعاني العالم اليوم من تزايد معدلات الإصابة بالأمراض المزمنة، مثل السمنة ومرض السكري من النوع الثاني، وذلك نتيجة الأنماط الغذائية غير الصحية، وقلة استهلاك الألياف الغذائية والكربوهيدرات المعقدة. لذلك أصبح من الضروري تطوير منتجات غذائية ذات قيمة صحية عالية، بما في ذلك المنتجات التي تستهلك يوميا كمنتجات المخازن [1].

دقيق القمح الأبيض الأكثر استخداما في صناعة المخبوزات يعاب عليه بانخفاض قيمته الغذائية، حيث يعد الخبز المصنوع من الدقيق الأبيض غنيا بالكربوهيدرات وسهل الهضم، ولكنه يفتقر الى البروتينات والفيتامينات والمعادن والألياف الغذائية. نتيجة عملية التكرير، في حين يحتفظ الخبز المصنوع من الحبوب الكاملة بهذه المكونات، مما يمنحه قيمة غذائية أعلى ويسهم في تحسين وظائف الجهاز الهضمي. لذلك يجب تدعيمه بالألياف والبروتينات الحيوية والفيتامينات والمعادن للتغلب على مشكلة سوء التغذية. أيضا يمكن تحضير الخبز من دقيق القمح الأبيض المدعم بدقيق حبوب أخرى مثل دقيق الشوفان الكامل الذي يعتبر مصدرا جيدا للألياف الغذائية وخاصة الذائبة (الببتاجلوكان) والتي تتميز بتأثيرات صحية ايجابية عديدة مثل خفض مستوى الكوليسترول والسكر في الدم [2].

تعد الحبوب الكاملة اختيارا غذائيا بارزا للحد من سوء التغذية او ما يعرف بالجوع الخفي، نظرا لما تحتويه من ألياف غذائية، فيتامينات، معادن، ومركبات نشطة حيوية. ويعد الشوفان (*Avena sativa*) من أبرز هذه الحبوب، حيث يحتل المرتبة الرابعة عالميا بعد القمح والارز والذرة الصفراء، بفضل محتواه الغني بالمغذيات، وخصائصه الصحية المتعددة [3].

يتميز الشوفان بكونه خاليا من الجلوتين، ومصدرا جيدا للفيتامينات مثل مجموعة فيتامين B، وفيتامين E، والمعادن (الكالسيوم، المغنيسيوم، البوتاسيوم، السيليونيوم، النحاس، الزنك، والحديد)، اضافة الى الالياف الغذائية الذائبة (الببتاجلوكان) التي أظهرت الدراسات فعاليتها في خفض مستويات الكوليسترول وتنظيم سكر الدم [2, 4]. كما يحتوي الشوفان على مركبات حيوية نشطة مثل الفينولات، البروتينات ذات القيمة الحيوية العالية، والاحماض الدهنية غير المشبعة [3].

وبسبب هذه الخصائص التي يتسم بها الشوفان، أصبح مكونا أساسيا في صناعة العديد من الأغذية المصنفة كأغذية صحية، مثل الخبز، الحلويات، وبعض أغذية الأطفال. ومع ذلك يعتمد استخدام الشوفان في صناعة تلك المنتجات على اجراء بعض العمليات التصنيعية مثل التخمير، التحميص، والإنبات، والتي قد تحسن من خصائصه الوظيفية والفيزيائية وتسهل استخداماته الغذائية [5].

تظهر الأبحاث أن التخمير يعد من العمليات الفعالة في تعزيز القيمة الغذائية للشوفان، من خلال تقليل العوامل المضادة للتغذية مثل (الفيتات)، وزيادة محتوى البوليفينولات، وتحسين النشاط المضاد للأكسدة، الى جانب انتاج ببتيدات نشطة حيوية [6]، بينما تؤدي عملية التحميص، والتي تتم عند درجات حرارة تتراوح بين 280 و 350°م، لفترة زمنية قصيرة الى تحسين الخصائص الحسية والوظيفية، لكنها قد تؤثر على بعض المركبات الحيوية الحساسة للحرارة. بناء على ما سبق تبرز أهمية الشوفان كمادة غذائية وظيفية يمكن استثمارها في تطوير منتجات مخبوزة صحية من خلال الاستفادة من خصائصه الغذائية وتعزيزها بالمعالجات التصنيعية المناسبة،

الدراسة أكثر تم وضع القيم المتحصل عليها على هيئة منحني (شكل 1) حيث نلاحظ ان العلاقة خطية ايجابية بين الزمن ونسبة الالياف الكلية عند درجة الحرارة 150 °م و200 °م ومع ارتفاع درجة الحرارة اختلفت هذه العلاقة، بناء على ذلك يمكن التنبؤ بأن درجة الحرارة والزمن عاملان مهمان يجب التحكم فيهما اثناء عملية التخميص لتفادي التأثير السيئ على القيمة الغذائية لحبوب الشوفان والتي تمثلت في هذه الدراسة في الالياف الغذائية حيث تم الحصول على اعلى نسبة لها عند درجة الحرارة 250 °م ولمدة 20 قد يرجع السبب في زيادة كمية الالياف اثناء التخميص الى تحول جزء من النشا الجاهز الى النشا المقاوم وكذلك تفاعلات النشا مع البروتين وتكون مركبات معقدة او بسبب تبخر الرطوبة اثناء التخميص [17].

الجدول 1: نسبة الالياف الغذائية الكلية في حبوب الشوفان المحمصة

الزمن (ق)	نسبة الالياف الكلية (%)	نسبة الالياف الكلية (%)	نسبة الالياف الكلية (%)
	250 (°م)	200 (°م)	150 (°م)
10	0.02 ± 6.25	0.25 ± 5.73	0.13 ± 5.37
20	0.03 ± 8.38	0.08 ± 7.94	0.20 ± 6.57
30	0.03 ± 6.85	0.07 ± 8.05	0.11 ± 7.27

القيم الجدولية متوسط لثلاثة مكررات $\pm$ الانحراف المعياري. القيم التي تحمل نفس الحرف في العمود ليس بينها اختلافات معنوية عند مستوى $p \leq 0.05$.

القدرة على ربط الماء والزيت

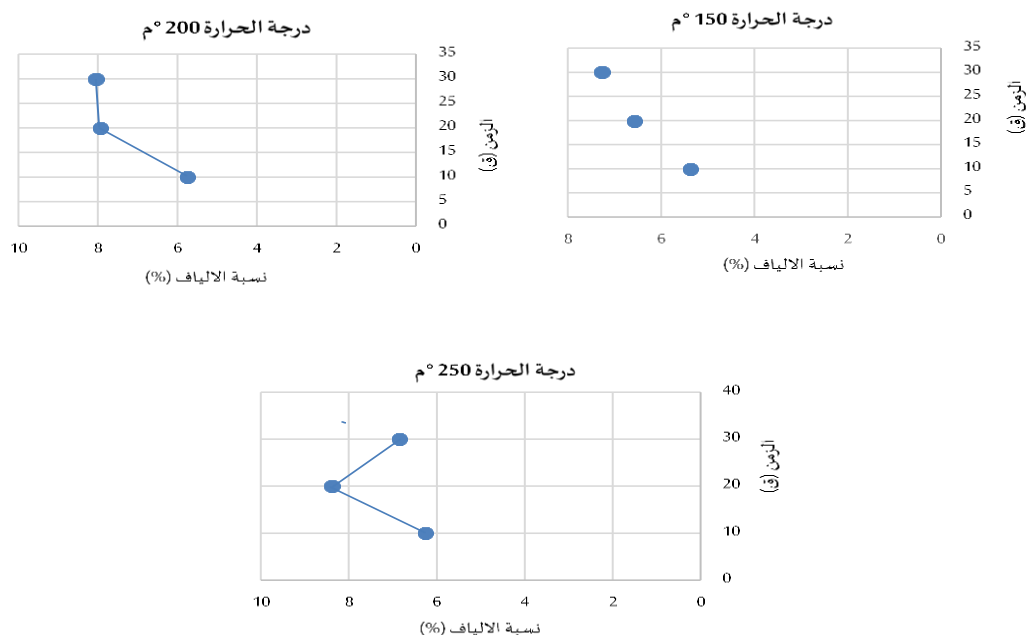
تشير النتائج المدرجة في الجدول (2) الى ارتفاع قدرة الشوفان على الارتباط بالماء والزيت بشكل معنوي عند التخمير مقارنة بالشوفان الخام والمحمص، قد يرجع ذلك الى النشاط الإنزيمي الذي يؤدي الى تحليل بعض المركبات ذات الوزن الجزيئي العالي مثل البروتينات والنشويات الى مركبات أقل في الوزن

تم اجراء التحليل الإحصائي باستخدام البرنامج الاحصائي SPSS اصدار (IBM Corp., Armonk, NY, USA 2022). وفقا للطريقة الموضحة في [12] steel ANOVA عند مستوى معنوية $P \leq 0.05$ وكذلك حساب المتوسطات و الانحراف المعياري للبيانات وتم استخدام اختبار LSD لتحديد الفروق المعنوية بين المعاملات.

النتائج والمناقشة

عملية التخميص ونسبة الالياف الكلية

تعتبر حبوب الشوفان مصدر جيد جدا للألياف الغذائية حيث تشكل ما نسبته 8.32% من وزن الحبة [13]. ومن المعروف ان عملية التخميص لها تأثير واضح على كمية الألياف في الحبوب المحمصة. عليه تمت عملية التخميص على درجات حرارة مختلفة ولأزمنة مختلفة لمعرفة الظروف المثلى للحصول على اعلى نسبة للألياف الكلية في حبوب الشوفان المحمصة [14]. يشير جدول (1) الى ان العلاقة بين نسبة الالياف الكلية وزمن التخميص عند درجة الحرارة 150 °م و200 °م كانت إيجابية، حيث لوحظ ارتفاع معنوي في نسبة الالياف الغذائية مع الزيادة في زمن التخميص من 10 الى 30 ق، بينما نلاحظ ان عند ارتفاع درجة الحرارة الى 250 °م كانت اعلى نسبة للألياف الغذائية عند الزمن 20 ثم انخفضت مع الزيادة في زمن التخميص. اشارت دراسة [15] ان عملية التخميص على درجة حرارة 160 °م سببت في تغيرات طفيفة في الالياف الغذائية الكلية، هذا ولم تتأثر محتويات حبوب الشوفان من الدهن والنشا والالياف الذائبة (الببتا جلوكان). كما وجدت دراسة اخرى [14] انخفاض كمية الالياف الذائبة في حبوب الشوفان عند درجة حرارة التخميص 80 °م ولكن مع ارتفاع درجة الحرارة الى 200 °م ازدادت نسبة الببتا جلوكان معنويا مقارنة بالعينة الضابطة. وأشارت دراسة اخرى انخفاض في نسبة الالياف الكلية مع الارتفاع في درجة الحرارة اثناء تخميص حبوب الترمس على درجة حرارة 150 م ولمدة 15 ق [16]. ولتوضيح نتائج هذه



الشكل 1: نسبة الالياف الغذائية الكلية في حبوب الشوفان بعد التخميص

الجزيئي وتصبح لديها أكثر قدرة على الارتباط بالماء بسبب تحرر عدد من المجاميع القطبية المحبة للماء، ونلاحظ أيضا ارتفاع في القدرة على الارتباط

الماء لدقيق الشوفان المحمص أقل بشكل ملحوظ (4.85%-5.87%) مقارنةً بدقيق الشوفان المرجعي (7.83%). وتم تفسير ذلك بسبب تكون معقدات أميلوز والدهون أثناء المعالجة الحرارية، حيث لوحظ تحرر الدهن أثناء عملية التخمير وخاصة عند استخدام درجات الحرارة العالية [22].

على الرغم من أن كلا العمليتين (التخمير والتحميص) تؤديان إلى تفكك الروابط الكيميائية، إلا أن التخمير يعزز المسامية في التركيبة الخلوية ويحسن من القدرة على امتصاص الماء والانتفاخ، أما التخمير فيعمل على تحليل الروابط بين المكونات مما يقلل من القدرة الشوفان على الاحتفاظ بالماء ويقلل الانتفاخ أثناء التسخين [27]. قوة الانتفاخ هي أحد جوانب قياس امتصاص الماء أثناء تهلم النشا. قد يُعزى انخفاض قدرة انتفاخ الدقيق المتخمير إلى انخفاض محتوى النشا والتغيرات التي طرأت على بنيته. وقد وجد أن زيادة قوة الانتفاخ للنشا ترجع إلى زيادة كمية سلاسل الأميلوبكتين القصيرة، في حين أن السلاسل الطويلة لها تأثير معاكس [28].

الذوبانية

الذوبانية أحد أهم المؤشرات العملية للخصائص الفيزيائية والكيميائية للبروتين والكربوهيدرات، حيث أنها تحدد مدى قابلية استخدام المادة الغذائية في الأنظمة الغذائية المختلفة، وايضا مدى جاهزيتها للجسم [29]. أظهرت نتائج الدراسة (جدول 2) فروق معنوية في الذائبة بين عينات الشوفان قيد الدراسة. حيث سجلت العينة المتخمرة أعلى قيمة لتلها العينة الخام، بينت النتائج زيادة الذائبة في العينة المتخمرة مقارنة بالعينة الخام ويرجع ذلك إلى أن التخمير يعزز نشاط الأنزيمات التي تحلل المركبات المعقدة في الشوفان إلى جزيئات أصغر وأكثر ذوبانية، ومقارنة مع التخمير فإن التخمير يحلل الروابط بين الجزيئات. يرجع الانخفاض في ذائبة عينة الشوفان بعد التخمير إلى التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تقلل من قابلية البروتينات للذوبان (الدنترة)، كما ذكرت بعض الدراسات إلى أن مؤشر ارتفاع الذائبة مرتبط بزيادة تفكك جزئ النشا، وما ينتج عنه من نقص في طول سلاسل الأميلوز والأميلوبكتين، بينما يرتبط انخفاض الذائبة بتحلل النشا وتحوله إلى دكستريانات منخفضة الذوبان أثناء التخمير، كما أن الدكستريانات تلعب دورا في احتجاز المواد القابلة للذوبان في كتلتها، حيث أن اكتمال تحويل النشا إلى دكسترين يحدث عند درجات حرارة أعلى من 170 °م [30]. اتفقت هذه النتائج مع دراسة أخرى والتي لوحظ فيها أن التخمير يمكن أن يقلل من الذائبة بسبب تكون مركبات ناتجة عن تفاعل ميلارد منخفضة الذوبانية [31]. عدد من الدراسات الأخرى أفادت بانخفاض ذائبة دقيق الفول، والفاصوليا الكاريوكا (*Phaseolus vulgaris* L.) والفاصوليا الملونة وذلك بعد التخمير مقارنة بالعينات الضابطة [33,32,30].

الذائبة من العوامل الأساسية التي تؤثر بشكل كبير على الخاصية الهضمية للمكونات الغذائية، حيث أشار [34] إلى أن تحسين الذائبة لبعض مكونات الدقيق أثناء المعالجة مثل (التخمير والأنزيمات المساعدة) يؤدي إلى تحسين القابلية الهضمية، وخصوصا هضم النشا والبروتين حيث يتم تفكيك المركبات المعقدة إلى جزيئات أكثر قابلية للذوبان والهضم، فكلما زادت قدرة المادة على الذوبان في الماء زادت قابليتها للتعرض للأنزيمات الهاضمة، وبالتالي زادت جاهزيتها للجسم. من خلال نتائج الخصائص الوظيفية يمكن استخدام الشوفان المحمص في المنتجات التي تتطلب ذوبانية عالية وقدرة على تكوين

بالزيت في عينة الشوفان المتخمير مقارنة بالخام والمحمصة. تتفق هذه النتائج مع نتائج سابقة كان للتخمير تأثير في زيادة ملحوظة في القدرة على الارتباط بالزيت من 0.8 إلى 0.95 جم/جم بعد تخمير الأرز البني لمدة 6 ساعات [18]. ترتبط القدرة على الاحتفاظ بالزيت بالسلاسل الجانبية البروتينية غير قطبية. الأمر الذي يشير إلى أن تغيرات حدثت في بنية البروتين أثناء التخمير وعززت قدرته على امتصاص المزيد من الزيت، أو قد يكون سبب ارتفاع القدرة على ربط الزيت إلى زيادة المحتوى من البروتين [19]. كما أشار [20] إلى أن البروتين المعزول من نخالة الأرز المتخمّر بخميرة الخبز يحتوي على كمية أعلى من الأحماض الأمينية غير القطبية مقارنة بعينة البروتين المعزول من نخالة الأرز البني الخام، الأمر الذي يدعم التوقعات السابقة.

أما بالنسبة للعينة المحمصية فقد ارتفعت قدرتها معنويا على الارتباط بالزيت عند مقارنتها مع عينة الشوفان الخام. قد يكون بسبب تغير في البنية البروتينية وتكوين مركبات ناتجة عن تفاعلات ميلارد قد ترتبط بالزيت، توافقت نتائج هذه الدراسة مع دراسة أخرى التي أظهرت أن التخمير يعزز من قدرة الحبوب على امتصاص الماء والزيت من خلال تحليل البروتينات والدهون [19]. في حين ذكرت دراسة أخرى انخفاض قدرة بذر الكتان المحمص على الارتباط بالزيت بعد التخمير [21]. أما بالنسبة للقدرة على الارتباط بالماء فارتفعت في عينة الشوفان المحمص بشكل غير معنوي عن قدرة الشوفان الخام. أظهرت دراسة سابقة أن عملية التخمير لحبوب الشوفان أدت إلى زيادة ملحوظة في مؤشر امتصاص الماء مقارنةً بدقيق الشوفان المرجعي أرجع سبب ذلك إلى ارتفاع نسبة حبيبات النشا التالفة نتيجة عملية التخمير مما سمح بدخول المزيد من الماء إلى جزيئات دقيق الشوفان والاحتفاظ به [22]. تدل هذه النتائج على أن كلا المعالجتين تؤثران بشكل إيجابي على ارتباط الشوفان بالزيت ولكن التخمير كان أكثر فاعلية. تُعدّ قدرة المواد الغذائية أو معزولاتها البروتينية العالية على الاحتفاظ بالزيت خاصية مهمة لتعزيز نكهة المنتج النهائي، وبالتالي يُمكن استخدامها في منتجات المخازن التي تتطلب إضافة كميات كبيرة من الزيت [23].

القدرة على الانتفاخ

أظهرت نتائج الدراسة (جدول 2) وجود فروق معنوية في القدرة على الانتفاخ بين العينات الثلاثة من الشوفان (الخام، المحمص، والمتخمير)، حيث سجل الشوفان المحمص أعلى معدل انتفاخ (5.17 ± 0.14 جم/جم)، في حين كان أقل معدل انتفاخ في الشوفان المتخمير (3.13 ± 0.10 جم/جم). أما بالنسبة للشوفان الخام فقد أظهر معدل الانتفاخ متوسط (4.57 ± 0.01 جم/جم) وهو ما يمثل المستوى الطبيعي للانتفاخ في الشوفان غير المعامل وفقا لما ذكره [24]. يؤدي التخمير إلى تفكك بعض الروابط بين الجزيئات النشا مما يسمح بامتصاص كميات أكبر من الماء أثناء التسخين. من ناحية أخرى سجل الشوفان المتخمير أقل معدل انتفاخ مما يشير إلى تأثير عملية التخمير على هذه الخاصية بسبب النشاط الميكروبي والأنزيمي الذي يعمل على تحليل بعض المركبات النشوية وتهتك الحبيبات النشوية وانخفاض قدرتها على امتصاص الماء حيث أن الحبيبة النشوية السليمة تمتص حوالي 50% من وزنها ماء [25]. وقد توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسات سابقة والتي وجد فيها انخفاض قوة الانتفاخ لنشا الذرة المتخمير طبيعياً مقارنةً بالعينة القياسية [26]، كما انخفضت قدرة الأرز البني على الانتفاخ بعد التخمير مقارنة بالعينة غير المتخمرة [18]. أيضا، كانت قيم مؤشر الذوبان في

التحميص وزمنه، أيضا أفادت دراسة أخرى ان حجم الرغوة وثبات الرغوة أعلى بشكل معنوي في دقيق بذر الكتان الخام مقارنةً بدقيق البذور المحمص [21].

الجدول 3: القدرة على تكوين الرغوة لعينات الشوفان المدروسة			
العينة (مل)	0	30	60
الزمن (دقيقة)			
شوفان خام	0.57 ± 5.66^a	1.00 ± 5.00^a	1.00 ± 0.5^a
شوفان محمص	0.57 ± 2.66^a	0.57 ± 2.33^b	0.57 ± 1.66^c
شوفان متخمّر	0.57 ± 11.67^a	0.00 ± 10.00^b	0.57 ± 7.66^c

القيم الجدولية متوسط لثلاثة مكررات $\pm$ الانحراف المعياري. القيم التي تحمل نفس الحرف في العمود ليس بينها اختلافات معنوية عند مستوى $p \leq 0.05$.

حجم العجين

تبين نتائج الدراسة الحالية (جدول 4) وجود تأثير واضح لمعالجة الشوفان بالتخمير او التحميص على قوة عجينة دقيق القمح الابيض، فقد أدى استخدام الشوفان الخام الى انخفاض حجم العجين عند نسبة الاضافة 30%، قد يعزى هذا التأثير الى تأثير الألياف غير القابلة للذوبان التي تعيق تكوين شبكة الجلوتين، مما يقلل من قدرة العجين على احتجاز الغازات الناتجة أثناء التخمير، تتفق هذه النتائج مع ما ذكر سابقا أن زيادة استبدال دقيق القمح الابيض بالشوفان الخام يؤدي الى تقليل محتوى الجلوتين مما يضعف شبكة البروتين ويقلل من قدرة العجين على الاحتفاظ بالغازات وبالتالي يقلل حجم العجين [37]. أكدت دراسات [38, 39] أن زيادة نسبة الحبوب الكاملة غير المعالجة في الخبز تسبب ضعفا في تكوين شبكة الجلوتين مما يقلل من حجم العجين. في حين اظهرت عجينة دقيق القمح المدعمة بالشوفان المحمص والمتخمّر ارتفاع معنوي في الحجم مع زيادة نسبة الاستبدال الى 30% مقارنة بالعجينة المحتوية على الشوفان الخام. تتفق هذه النتائج مع ما أشار اليه [40] والذي ذكر أن استخدام دقيق الشوفان المتخمّر أدى الى تحسن حجم الرغيف. كما أظهرت دراسة أخرى أن التحميص يؤدي الى تغييرات في تركيبة البروتينات والنشا تحسن من قدرة الشوفان على التفاعل مع دقيق القمح [24] مما يدعم نتائجنا التي أظهرت زيادة حجم العجين عند استخدام الشوفان المحمص. أفادت دراسة ان إضافة الدقيق البني المتجلت جزئيا الى دقيق القمح البني في صناعة الخبز الى انه أدى الى زيادة نسبة الامتصاص للماء للوصول الى القوام المطلوب للعجينة، وتم تفسير ذلك ان الهلم الجزئي للنشا أدى الى فقدان الحبيبة النشوية لترتيبها الجزيئي والجزء المتبلور فيها الامر الذي قلل قدرتها على

الجدول 4: حجم عجين دقيق القمح الأبيض المدعم بعينات الشوفان المدروسة				
نسبة الإضافة (%)	عجين شوفان خام (مل)	عجين شوفان محمص (مل)	عجين شوفان مخمر (مل)	
10	10.11 ± 163.6^c	1.73 ± 110.0^d	5.00 ± 175.0^c	
20	11.54 ± 173^a	0.57 ± 189.33^b	5.19 ± 187.0^b	
30	8.66 ± 125.0^b	1.154 ± 209.0^a	1.15 ± 191.33^a	
40	-	0.57 ± 159.66^c	2.51 ± 172.33^c	

القيم الجدولية متوسط مكررات $\pm$ الانحراف المعياري. القيم التي تحمل نفس الحرف في العمود ليس بينها اختلافات معنوية عند مستوى $p \leq 0.05$.

الرغوة مثل منتجات المخابز. كما يفضل استخدامه بشكل محدود في المنتجات التي تتطلب ارتفاعا في الانتفاخ وفي المنتجات التي تعتمد على الذوبانية.

الجدول 2: الخصائص الوظيفية لعينات الشوفان قيد الدراسة			
الخاصية	نوع العينة		
	شوفان خام	شوفان محمص	شوفان متخمّر
الارتباط بالماء (جم/جم)	0.04 ± 1.69^b	0.02 ± 1.74^b	0.03 ± 2.46^a
الارتباط بالزيت (جم/جم)	0.01 ± 1.42^c	0.06 ± 1.71^b	0.07 ± 2.47^a
القدرة على الانتفاخ (جم/جم)	0.01 ± 4.57^a	0.14 ± 5.17^a	0.10 ± 3.13^b
الذوبانية (%)	0.01 ± 23.3^a	0.28 ± 22.2^c	0.03 ± 24.6^b

القيم الجدولية متوسط لثلاثة مكررات $\pm$ الانحراف المعياري. القيم التي تحمل نفس الحرف في الصف ليس بينها اختلافات معنوية عند مستوى $p \leq 0.05$.

القدرة على تكوين الرغوة وثباتها

تعد القدرة على تكوين الرغوة وثباتها من الخصائص الوظيفية المهمة التي تستخدم في تقييم جودة البروتينات وتعتمد قدرة مكونات الغذاء بشكل كبير على تكوين الرغوة وثباتها بشكل أساسي على ذوبان بروتيناته في الماء. تعتبر هذه الخاصية مهمة في الصناعات الغذائية مثل المشروبات النباتية وبعض المخبوزات. بينت نتائج هذه الدراسة (جدول 3) وجود فروق معنوية واضحة بين العينات الثلاثة من الشوفان (الخام، المحمص، المتخمّر) في قدرتها على تكوين الرغوة وثباتها. سجلت عينة الشوفان المتخمّر أعلى قدرة على تكوين الرغوة عند الدقيقة صفر وبعد مرور 30 دقيقة (11.67 ± 0.57 مل) انخفضت الى 0.00 ± 10 مل واستمر هذا الانخفاض معنويا الى 7 مل بعد مرور ساعة من الزمن، قد يرجع ذلك الى النشاط الانزيمي حيث تحللت البروتينات الى ببتيدات صغيرة تكون أكثر ذوبانا وانتشارا في الوسط مما يحسن من تكون الرغوة واستقرارها وقد تتحل بعض السكريات وتصبح قابلة للذوبان تساعد في تثبيت الرغوة [35]. البيتا جلوكان قد تسهم ايضا في زيادة لزوجة الوسط وتكوين رغوة مستقرة [5].

أما الشوفان الخام فقد أظهر قدرة اعلى على تكوين الرغوة مقارنة بالمحمص، قد يكون بسبب النسبة العالية للبروتينات الذائبة (الجلوبولينات)، وهي من البروتينات الحساسة للحرارة والتي من المتوقع انه حصل لها دنترية السبب الذي ادى الى انخفاض ذائبية البروتين في الشوفان المحمص والتالي قدرة اقل على تكوين الرغوة، حيث تلعب البروتينات الذائبة دورا مهما في تكوين الرغوة من خلال تكوين طبقة رقيقة حول فقاعات الهواء تقلل التوتر السطحي وتعزز استقرارها [35]. كما تؤدي عملية الدنترة الى انكشاف او تلف في البنية الثالثة للبروتين مما يؤدي الى فقدان خصائصها الوظيفية مثل الذوبانية وبالتالي انخفاض القدرة على تكوين الطبقات الحامية للفقاعات الهوائية من الانهيار، كما أن التحميص يمكن أن يقلل من محتوى السكريات الذائبة والألياف القابلة للذوبان مما ينعكس سلبا على ثبات الرغوة [36].

اتفقت هذه النتائج مع نتائج دراسة أخرى والتي وجد فيها ان دقيق الفول المحمص سجل قدرة اقل على تكوين الرغوة مقارنة بالعينة القياسية [30]، كما لوحظ في نفس الدراسة ان هذه الخاصية تقل مع ارتفاع درجة حرارة

سجل الشوفان المحمص أعلى قدرة على الانتفاخ، بينما سجل الشوفان المتخمّر أعلى قدرة على ربط الزيت والماء. أظهر الشوفان المتخمّر أعلى ذائبية وسجل أيضاً أعلى قدرة على تكوين وثبات الرغوة تلاه الشوفان الخام. أظهرت نسبة الإضافة 30% لكل من الشوفان المتخمّر والمحمص أعلى حجم لعجينة دقيق القمح الأبيض وتعتبر هذه النسبة جيدة جداً من حيث زيادة كمية الألياف المستهلكة اليومية وكذلك المركبات النشطة حيويًا المتوافرة في دقيق الشوفان. نوصي باستخدام التقنيات التصنيعية الأولية مثل التخمير والتخمير لتعزيز الخصائص الوظيفية لدقيق الشوفان ليسهل إدامجه ضمن الخلطات الغذائية المختلفة. الدراسة المستقبلية ستكون حول تقييم تأثير استبدال دقيق القمح الأبيض بدقيق الشوفان المتخمّر والمحمص على الصفات الفيزيائية للخبز وقيمته الغذائية.

Authors Contribution: Alfathe and Salah Conceptualization and methodology, writing—original draft preparation, Muna and Amel data collection, and results analysis and discussion. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: No data were used to support this research.

Conflicts of Interest: The authors declared that no conflict of interest.

Acknowledgments: The authors would like to express their appreciations to Faculty of Food Science, Wadi Alshatti University, Brack-Libya for the support to accomplish this research.

References

- [1] B. Mickiewicz, and I. Britchenko. "Main trends and development forecast of bread and bakery products market." *VUZF Review*, vol. 7, no. 3, pp. 113-123, 2022. <https://doi.org/10.38188/2534-9228.22.3.11>.
- [2] O. E. Mäkinen, and E. K. Arendt. "Oat malt as a baking ingredient—A comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties". *Journal of Cereal Science*, vol. 56, no. 3, pp. 747-753, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.009>
- [3] P. Rasane, A. Jha, L. Sabikhi, A. Kumar, and V. S. Unnikrishnan. "Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods—a review". *Journal of food science and technology*, vol. 52, no. 2, pp. 662-675, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1072-1>
- [4] A. A. Gulvady, R. C. Brown, and J. A. "Bell. Nutritional comparison of oats and other commonly consumed whole grains". *Oats nutrition and technology*, pp. 71-93, 2013. <https://doi.org/10.1002/9781118354100.ch4>
- [5] A. Decker, Rose, D. J. and Stewart, D. "Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits". *British Journal of Nutrition*, vol. 112, no. S2, pp. S58-S64, 2014. <https://doi.org/10.1017/S000711451400227X>.
- [6] R. Djorgbenoo, J. Hu, C. Hu, and S. Sang. "Fermented oats as a novel functional food". *Nutrients*, vol. 15, no. 16, pp. 3521. 2023. <https://doi.org/10.3390/nu15163521>
- [7] A. Elkhailifa, and R. Bernhardt. "Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour". *Food Chemistry*, vol. 121, no. 2, pp. 387-392, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.041>
- [8] K. Maninder, K. S. Sandhu, and N. Singh. "Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars". *Food chemistry*, vol. 104, no. 1, pp. 259-267, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.037>.
- [9] Y. Liu, M. Xu, H. Wu, L. Jing, B. Gong, M. Gou, and W. Li. "The compositional, physicochemical and functional properties of germinated mung bean flour and its addition on quality of wheat flour noodle". *Journal of food science and technology*, vol. 55, no. 12, pp. 5142-5152, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3460-z>.
- [10] A. Elkhailifa, R. Bernhardt, G. Cardone, A. Marti, S. Iametti, and M. Marengo. "Physicochemical properties of sorghum flour are selectively modified by combined germination-fermentation". *Journal of food science and technology*, vol. 54, pp. 3307-3313, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2781-7>.
- [11] A. Shah, R. Shah, and D. Madamwar. "Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*". *Bioresource technology*, vol. 97, no. 16, pp. 2047-2053, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.006>.
- [12] R. Steel, and J. Torrie. "Principles and procedures of statistics. A biometrical approach", 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York. 1980. https://books.google.com.ly/books/about/Principles_and_Procedures_of_Statistics.html?id=XBbvAAAAAAAJ&redir_esc=y.
- [13] M. Alsadiq, and M. Ilowefah. "Enhancement of Nutritional and Technological Properties of Oat Grains through Germination". *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 104-108, 2024. <https://www.waujpas.com/index.php/journal/article/view/89/62>.
- [14] S. Berggren. "Water holding capacity and viscosity of ingredients from oats: the effect of b-glucan and starch content, particle size, pH and temperature". 2018. Bachelor thesis project in chemistry. Linnaeus University, Sweden. <chromeextension://efaidnbmnnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1180722/FULLTEXT01.pdf>.
- [15] W. Schlörmann, S. Zetzmann, B. Wiege, N. Haase, A. Greiling, S. Lorkowski, and M. Glei. "Impact of different roasting conditions on sensory properties and health-related compounds of oat products". *Food Chemistry*, vol. 307, pp. 125548, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125548>.
- [16] B. Abera, Z. Adimas, M. Adimas, A. Alemayehu, and M. Geletu. "Effect of Blending Ratios of Roasted and Unroasted Lupine Flour on the Physicochemical Properties, Antinutritional Factors, and Organoleptic Qualities of Wheat-Lupine Composite Bread". *Applied Food Research*, pp. 101345, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101345>.
- [17] M. Ewunetu, Z. Woldie, and A. Asemu. "Effect of Roasting Time and Method on Physicochemical and Functional Properties of Roasted Maize Grain (Asharo)". *Applied Food*

الارتباط بالماء، فحبيبة النشا السليمة تمتص حوالي 50% من وزنها ماء، الأمر الذي أدى إلى الحاجة إلى المزيد من الماء للحصول على القوام المثالي للعجينة [25]. كما يمكن تفسير ذلك بزيادة قوة العجين بسبب مساهمة النشا المعامل حرارياً في تحسين البنية الثانوية للجلوتين. قد يعود ذلك إلى أن النشا المعامل حرارياً يكشف عن روابط هيدروجينية أكثر، مما يؤثر على تفاعلات بروتين الجلوتين، وبالتالي يعزز ترابط شبكة الجلوتين لتكوين عجينة أقوى [41].

الاستنتاجات والتوصيات

كان لعملية التخمير والتحميص تأثير معنوي على الخصائص الوظيفية لدقيق الشوفان مما يعكس دور المعالجة في تحسين خواص الدقيق. فقد

- Research, pp. 101266, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101266>.
- [18] M. Ilowefah, J. Bakar, H. Ghazali, A. Mediani, and K. Muhammad. "Physicochemical and functional properties of yeast fermented brown rice flour". *Journal of food science and technology*, vol. 52, no. 9, pp. 5534-5545, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1661-7>.
 - [19] W. Xu, X. Wu, C. Xia, Z. Gou, Z. Zhai, Y. Cheng, and J. Qiu. "Optimization of Enzymatic Hydrolysis and Fermentation Processing for Set- Type Oat Yogurt with Favorable Acidity and Coagulated Texture". *Foods*, vol. 13, no. 24, pp. 4180, 2024. <https://doi.org/10.3390/foods13244180>.
 - [20] C. Chinma, M. Ilowefah, B. Shammugasamy, Y. Ramakrishnan, and K. Muhammad. "Chemical, antioxidant, functional and thermal properties of rice bran proteins after yeast and natural fermentations". *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 49, pp. 2204–2213, 2014. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12533>.
 - [21] A. Khan, and C. Saini. "Effect of roasting on physicochemical and functional properties of flaxseed flour". *Coqent Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1145566, 2016. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1145566>.
 - [22] Y. Gu, X. Qian, B. Sun, X. Tian, X. Wang, and S. Ma. "Effect of roasting treatment on the micromorphology, gelatinization, structure, and digestibility of whole oat flour". *LWT- Food Science and Technology*, vol. 168, pp. 113828, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113828>.
 - [23] B. Noyola-Altamirano, L. Méndez-Lagunas, J. Rodríguez-Ramírez, S. Sandoval-Torres, L. Aquino-González, and L. G. Barriada-Bernal. "Techno-functional properties and antioxidant capacity of the concentrate and protein fractions of *Leucaena* spp. Seeds". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 72, no. 3, pp. 196-204, 2022. <https://doi.org/10.37527/2022.72.3.005>.
 - [24] E. Jaksics, R. Zémeth, E. Schall, M. Szentmiklóssy, G. Bidló, K. Simon, and S. Tömösközi. "Study of effects of heat treatment on the composition, functionality, and oxidative and hydrolytic stability of oat". *Cereal Chemistry*, vol. 100, no. 3, pp. 708-720, 2023. <https://doi.org/10.1002/cche.10646>.
 - [25] O. Parenti, L. Guerrini, V. Canuti, G. Angeloni, P. Masella, and B. Zanon. "The effect of the addition of gelatinized flour on dough rheology and quality of bread made from brown wheat flour". *LWT- Food Science and Technology*, vol. 106, pp. 240-246, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.066>.
 - [26] Y. Yang, and W. Tao. "Effects of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour". *Food Research International*, vol. 41, pp. 937–940, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.011>.
 - [27] J. L. Dong, M. Yang, R. L. Shen, Y. F. Zhai, X. YU, and Z. Wang. "Effects of thermal processing on the structural and functional properties of soluble dietary fiber from whole grain oats". *Food Science and Technology International*, vol. 25, no. 4, pp. 282-294, 2019. <https://doi.org/10.1177/1082013218817705>.
 - [28] Y. Cornejo-Ramírez, O. Martínez-Cruz, C. L. Del Toro-Sánchez, F. J. Wong-Corral, J. Borboa-Flores, and F. J. Cinco-Moroyoqui. "The structural characteristics of starches and their functional properties". *CyTA-Journal of Food*, vol. 16, no. 1, pp. 1003-1017, 2018. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>.
 - [29] Małecki, J., Muszyński, S., and Sołowiej, B. G. "Proteins in food systems—bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities". *Polymers*, vol. 13, no. 15, pp. 2506, 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13152506>.
 - [30] R. Byarugaba, A. Nabubuya, J. Muyonga, and A. Mwakha. "Effects of roasting conditions on the proximate composition and functional properties of common bean (*Phaseolus vulgaris*) flours". *Tanzania Journal of Science*, vol. 49, no. 2, pp. 546-558, 2023. <https://doi.org/10.4314/tjs.v49i2.23>.
 - [31] H. S. Gujral, P. Sharma, and S. Rachna. "Effect of sand roasting on beta glucan extractability, physicochemical and antioxidant properties of oats". *LWT-Food Science and Technology*, vol. 44, no. 10, pp. 2223-2230, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.001>.
 - [32] P. Jogihalli, L. Singh, K. Kumar and V. S. Sharanagat. "Novel continuous roasting of chickpea (*Cicer arietinum*): Study on physico-functional, antioxidant and roasting characteristics". *LWT-Food Science and Technology*, vol. 86, pp. 456-464, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.029>.
 - [33] J. A. C. Bento, P. Z. Bassinello, R. N. Carvalho, M. A. D. Souza Neto, M. Caliar and M. S. Soares Junior. "Functional and pasting properties of colorful bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours: Influence of the cooking method". *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 45 no. 11, pp. e15899, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15899>.
 - [34] A. Costantini, A. Da Ros, O. Nikoloudaki, M. Montemurro, R. Di Cagno, B. Genot, and C. G. Rizzello. "How cereal flours, starters, enzymes, and process parameters affect the in vitro digestibility of dough bread". *Food Research International*, vol. 159, pp. 111614, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111614>.
 - [35] M. Bruckner-Guhmann, T. Heiden-Hecht, N. Sozer, and S. Drusch. "Foaming characteristics of oat protein and modification by partial hydrolysis". *European Food Research and Technology*, vol. 244, no. 12, pp. 2095-2106, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3118-0>.
 - [36] K. S. Sandhu, P. Godara, M. Kaur, and S. Punia. "Effect of toasting on physical, functional and antioxidant properties of flour from oat (*Avena sativa* L.) cultivars". *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 197-203, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.06.004>.
 - [37] A. Czubaszek, and Z. Karolinski-Skaradzińska. "Effects of wheat flour supplementation with oat products on dough and bread quality." *Polish journal of food and nutrition sciences*, vol. 55, no. 3, pp. 281-286, 2005. <https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://journal.pan.olsztyn.pl/pdf9788530327?filename=EFFECTS%20OF%20WHEAT%20FLOUR.pdf>.
 - [38] A. Hager, A. Wolter, F. Jacob, E. Zannini, and E. K. Arendt. "Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours". *Journal of Cereal Science*, vol. 56, no. 2, pp. 239-247, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.005>.
 - [39] S. Al-Hebeil, A. Elfeturi, A. Elbarkoli, S. Shniba. "The Effect of Some Hydrocolloids on Physical and Sensory Properties of Gluten-free Cake". *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 32-43, 2025. https://doi.org/10.63318/waujpasv3i2_04.
 - [40] A. Rieder, A. K. Holtekjølen, S. Sahlstrøm, and A. Moldestad. "Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread". *Journal of Cereal science*, vol. 55, no. 1, pp. 44-52, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.10.003>.
 - [41] B. Sun, X. Qian, S. Ma, C. Liu, and X. Wang. "Impact of roasted oat flour on the gas cell structure of steamed oat cake and its underlying mechanism". *Food Hydrocolloids*, vol. 154, pp. 110122, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110122>.