SEBHA UNIVERSITY JOURNAL OF PURE & APPLIED SCIENCES VOL.25 NO. 2 2026
DOI: 10.51984/PD9Z2E76

مجلة جامعة سبها للعلوم البحتة والتطبيقية
Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences

Journal homepage: http://www.sebhau.edu.ly/journal/jopas

الخصائص الفيزيوكيميائية لخبز الشوفان المدعم بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي

الفتحي البركولي[a]، إبراهيم إمحمد[b]*، فاطمة المرهاق[c]، نور الهدى خلف الله[a] ومنى لويفة[a]

[a]قسم تقنية الأغذية، كلية علوم الأغذية، جامعة وادي الشاطئ، براك، ليبيا.
[b]قسم علوم وتقنية الأغذية، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا.
[c]كلية التربية، قسم الاحياء، جامعة غريان، غريان، ليبيا.

الملخص

الشوفان من الأغذية الوظيفية والذي من الممكن زيادة الكمية المستهلكة منه باستخدامه في صناعة الخبز. لكن نظرا لارتفاع كمية الألياف في حبته وخاصة غير الذائبة، يستلزم ذلك بعض المعاملات التصنيعية أو المضافات الغذائية. عليه هدفت هذه الدراسة إلى تدعيم دقيق الشوفان بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي وتصنيع خبز القوالب ودراسة تأثير ذلك على خواص الخبز الفيزيائية والفيزيوكيميائية. أشارت النتائج إلى وجود فروق معنوية($P \leq 0.05$) في وزن عينتي الدراسة حيث سجل الخبز المدعم بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي وزنا أعلى من الخبز القياسي (82.23 جم و78.75 جم) على التوالي. أظهرت النتائج فروقا معنوية بين العينتين في الحجم والحجم النوعي وذلك بتفوق العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت. بينت النتائج ارتفاعا معنويا في نسبة البروتين في عينة الخبز المدعمة بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي بحوالي 5% مقارنة بالعينة الضابطة. أظهرت النتائج ارتفاعا معنويا في نسبة الألياف الغذائية في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت بما يقارب 2% مقارنة بالعينة القياسية، بينما انخفض محتواها من الرماد بنسبة 1% مقارنة بالعينة القياسية. أوضحت النتائج ارتفاعا معنويا في نسبة المركبات الفينولية الكلية في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت مقارنة بالعينة الضابطة. كما بينت النتائج المتحصل عليها انخفاضا معنويا في نسبة الحديد والمغنسيوم في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت، بينما ارتفعت بها نسبة كل من الزنك والبوتاسيوم والفسفور مقارنة بالعينة القياسية.

الكلمات المفتاحية:

الجلوتين الحيوي.
الألياف.
خبز الشوفان.
الخواص الفيزيوكيميائية.
الشوفان المنبت.

Physicochemical Properties of Fortified Oat Bread with Germinated Oat and Vital Gluten

Fathi Albarkouli[a], Ibrahim Emhemmed[b]*, Fatma Almrhag[c], Nour Alhoda KhalafAllah[a], Muna Ilowefah[a]

[a]Department of Food Technology, Faculty of Food Science, Wadi Al-Shatti University, Brak, Libya.
[b]Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tripoli,Tripoli, Libya.
[c]Deparment of Biology, Faculty of Education, University of Gharyan, Gharyan, Libya.

Keywords:

Germinated Oats.
Oat Bread.
Fiber.
Physicochemical Properties.
Vital Gluten.

ABSTRACT

Oats are a functional food, and their consumption can be increased by using them in bread making. However, due to their high fiber content, especially insoluble fiber processing treatments or food additives are needed. Therefore, this study aimed to fortify oat flour with sprouted oats and vital gluten,produce pan bread, and investigate the effect of this fortification on the bread's physicochemical properties. The results showed a significant increase in the weight of the fortified bread compared with the control sample, with the bread fortified with sprouted oats and vital gluten weighing more than the controlbread (82.23 g and 78.75 g, respectively). The results also showed significant differences between the two samples in both volume and specific volume, with the sample fortified with vital gluten and sprouted oats being superior. Furthermore, the results showed a significant increase in protein content in the bread sample fortified with sprouted oats and vital gluten, by approximately 5%, compared to the control sample. The results showed a significant increase in dietary fiber content in the sample fortified with vital gluten and sprouted oats by

*Corresponding author.
E-mail addresses: i.greiby@uot.edu.ly, (F. Albarkouli) a.albarkoliy@wau.edu.ly, (F. Almrhag) m.ilowefah@wau.edu.ly, (N. KhalafAllah) m.ilowefah@wau.edu.ly, (M. Ilowefah) m.ilowefah@wau.edu.ly.
Article History : Received 04 February 26 - Received in revised form 12 July 26 - Accepted 18 July 26

approximately 2% compared to the control sample, while its ash content decreased by 1% compared to the control sample. The results also showed a significant increase in total phenolic compounds in the sample fortified with vital gluten and sprouted oats compared to the control sample. Furthermore, the results indicated a significant decrease in iron and magnesium levels in the sample fortified with vital gluten and sprouted oats, while zinc, potassium, and phosphorus levels increased compared to the control sample.

1. المقدمة

الشوفان من المحاصيل الحبوبية التي اكتسبت شعبية كبيرة بسبب تركيبته الغذائية وفوائده المتعددة نتيجة احتوائه على العديد من المركبات النشطة حيويا، فهو مصدر جيد للأحماض الأمينية الأساسية فعلى النقيض من الحبوب الأخرى فإن الشوفان غني بمحتواه من اللايسين، بسبب وجود النسبة الأعلى للبروتينات الذائبة [1]، أيضا تعتبر حبة الشوفان مصدرا للأحماض الدهنية غير المشبعة والمعادن والفيتامينات والمركبات الفينولية والألياف الغذائية وخاصة الذائبة منها (البيتا جلوكان) [2,3,4]. يعتبر الشوفان غذاءً وظيفيًا بسبب احتوائه على البيتا جلوكان ومضادات الأكسدة، فالبيتا جلوكان عرف بفعاليته في خفض مستويات الكوليسترول في الدم وتنظيم مستويات السكر[5].كما تحتوي حبوب الشوفان على مركبات فعالة حيويًا مثل المركبات الفينولية، التي تعمل كمضاد للجذور الحرة وتساهم في تقليل خطر تصلب الشرايين وبعض أنواع السرطان وأمراض القلب التاجية[6]، ولكن نظرا لارتفاع نسبة الألياف به وخاصة غير الذائبة وصغر بذرته مقارنة بغلافها الخارجي ينخفض استخدامه في التغذية البشرية. وهذا قد يستلزم إجراء بعض العمليات التصنيعية أو إضافة مكونات وظيفية أخرى مثل الجلوتين الحيوي لبذور ودقيق الشوفان لتحوير تركيبها الكيميائي والبنية الخلوية لتسهيل استخدامه في التطبيق الغذائي. تعد العمليات التصنيعية مثل الإنبات، التحميص، والتخمير من الأساليب المهمة لتحسين القيمة الغذائية والخصائص الوظيفية لحبوب ودقيق الشوفان [7,8] . تعمل العمليات التصنيعية السابقة الذكر على إزالة بعض المركبات المضادة غذائيا وتثبيط نشاط الإنزيمات غير المرغوب فيها وتعزيز القيمة الغذائية. فالإنبات مثلا كأحد هذه التقنيات الغذائية يعتبر تقنية تقليدية منخفضة التكلفة وسهلة التطبيق، حيث يسهم في زيادة نشاط الإنزيمات المحللة، وتحسين محتوى الأحماض الأمينية الأساسية، والسكريات الكلية، ومجموعة فيتامين ب، كما يُقلل من النشا ومضادات التغذية، مما يعزز هضم البروتينات والنشا نتيجة التحلل المائي الإنزيمي) [8,9].الجلوتين بروتين فريد يُوفر خصائص المرونة واللزوجة التي تتميز بها عجينة دقيق القمح، تشير التقديرات إلى أن الإنتاج العالمي من النشا يتراوح بين 88.1 و 97.7 مليون طن في عام 2020 [10]. وبالتالي يعتبر الجلوتين منتج ثانوي من هذه الصناعة الأمر الذي يشجع على استخدامه كمضاف غذائي. من الممكن استخدام الشوفان في تحضير الخبز الوظيفي، ولكن نظرا لارتفاع نسبة الألياف فيه وانعدام محتواه من الجلوتين قد يؤدي ذلك إلى إنتاج خبز غير مقبول من الناحية الحسية. تحتوي حبوب الشوفان على بروتينات مخزونة مشابهة للجلوتين تسمى بالأفينين، ولكنها لا تتصف بخصائص المرونة والمطاطية التي يتميز بها بروتين الجلوتين [11]، وبالتالي دمج الجلوتين في حبوب خالية من الجلوتين قد يعمل على تحسين قوة العجين ومرونتها وقدرتها على الاحتفاظ بالغاز أثناء التخمير، عليه يمكن التغلب على مشاكل الخبز المحضر من الحبوب الخالية من الجلوتين مثل انخفاض امتصاص الماء، وانخفاض حجم الخبز، وخشونة القوام مما يحسن جودة الخبز بشكل عام [12,13]. يعد الخبز منتجًا غذائيًا وظيفيًا أساسيًا في النظام الغذائي اليومي، يتميز الشوفان بقدرته على الاحتفاظ بالرطوبة، مما يساهم في تحسين جودة الخبز وإطالة فترة صلاحيته، ومع ذلك تعد البروتينات في الشوفان غير قادرة على توفير اللزوجة والمرونة المميزة لبروتين الجلوتين في القمح، مما يؤثر سلبًا على جودة الخبز عند استخدام الشوفان بكميات كبيرة أو استخدامه مفردا في تصنيع الخبز [14]. من الممكن تدعيم خبز الشوفان بالدقيق المنبت والجلوتين الحيوي المستخلص من دقيق القمح للحصول على خبز مشابه في خواصه الفيزيائية والحسية لخبز دقيق القمح. تسعى هذه الدراسة إلى تطوير منتج غذائي وظيفي من دقيق حبوب الشوفان يلبي احتياجات المستهلكين من حيث الصفات الحسية، والقيمة الغذائية وبناء على ذلك كان هدف الدراسة الحالية تحسين جودة خبز الشوفان من خلال التحقق من تأثير تدعيم دقيق الشوفان الخام بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي على القيمة الغذائية والخصائص الفيزيائية لخبز الشوفان.

2. المواد وطرق العمل

2-1. المواد

تم الحصول على عينة حبوب الشوفان صنف (Enterpriseالأسترالية) من أحد مزارع مدينة سمنو بالجنوب الغربي الليبي، وتم الحصول على دقيق محلي(الموسم)من أسواق مدينة براك الشاطئ بنسبة استخلاص 75% وذلك لاستخدامه في استخلاص الجلوتين الحيوي.

2.2. طرق العمل

1.2.2. استخلاص الجلوتين

تم تحضير مسحوق الجلوتين الحيوي عن طريق استخلاص الجلوتين من دقيق القمح الأبيض (دقيق الموسم نسبة استخلاص 75%) بالطريقة اليدوية وتم التجفيف على درجة حرارة الغرفة °C (25-35)ومن ثم طحن الجلوتين المجفف إلى مسحوق ناعم [15].

2.2.2. عملية الإنبات

بعد تنظيف حبوب الشوفان والحصول على الحبوب الخالية من الشوائب تم إجراء عملية الإنبات، وذلك بنقع حبوب الشوفان في محلول من ثايوكبريتات الصوديوم تركيز 2% لمدة 40 د وذلك لمنع النمو الفطري، بعد مرور زمن النقع غسلت الحبوب بالماء المقطر، ثم بعد ذلك نقعت الحبوب في الماء المقطر لمدة 20 د لإزالة تأثير محلول الثايوكبريتات وكذلك حتى تصل الحبة إلى درجة التشبع بالماء، ثم أزيل الماء الزائد وتركت الحبوب المندية لتنمو على قماش من الجوخ على درجة حرارة الغرفة لمدة 72 ساعة[16] .

3.2.2. تصنيع الخبز

تم تحضير عينتين من الخبز، العينة الأولى (العينة القياسية) تكونت من 100 % شوفان خام مع إضافة 3% سكر،1% ملح، 2% خميرة، والعينة الثانية تكونت من 90% شوفان خام، 6% جلوتين حيوي، 4% شوفان منبت بالإضافة إلى جميع المكونات الأخرى السابقة الذكر وبنفس النسب. تم خلط المكونات وعجن العجين حتى الوصول إلى القوام المناسب، ثم تم تشكيله

ووضعه في قوالب الخَبز ومن ثم تمت عملية التخمير على درجة حرارة 30 ± 2 °م، وتمت عملية الخبيز على درجة حرارة 280 °م، وقد تم اختيار هذه الخلطة من حيث نسبة الشوفان المنبت والجلوتين الحيوي وذلك لأنها أعطت أعلى قدرة على تكوين الرغوة والذائبية والانتفاخ في نتائج لدراسة سابقة[17] (حيث إن هذه الخصائص الوظيفية من أهم الخصائص المؤثرة في جودة الخبز.

4.2.2. قياس حجم الخبزوالحجم النوعي

تم قياس حجم الخبز بطريقة الإزاحة باستخدام بذور الدخن، تعتمد نظرية القياس على أساس إزاحة حجم معلوم من حبوب الدخن الصغيرة الحجم والدائرية الشكل، مع قياس حجم الحبوب المزاح ليكون معبرا عن حجم الخبز وذلك من خلال وضع الحبوب في عبوة يتناسب حجمها مع الحجم المتوقع لقطعة الخبز وذلك وفقا للطريقة [18].

5.2.2. تقدير التركيب التقريبي وكمية الألياف في الخبز

تم تقدير كل من البروتين، الدهن، الرماد والألياف الكلية في عينتي الدراسة تبعا للطرق المعتمدة من [19].

6.2.2. تقدير العناصر المعدنية في الخبز

تم تقدير الصوديوم بجهاز JENWAY PFP7C Flame photometer، بينما تم تقدير الحديد والزنك والكالسيوم والفوسفور باستخدام جهاز مطياف الامتصاص الذري (Spectrophotometer (Atomic Absorption: Thermo scientific ثم أجري التحليل على أساس الوزن الرطب وبواقع ثلاث مكررات لكل عينة [19].

7.2.2. تقدير المركبات الفينولية الكلية

تمت عملية الاستخلاص بوزن 2 جم من العينة وخلطها مع 16مل من الميثانول المحتوي على 1% حمض الهيدروكلوريك، وتركت لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة الغرفة وتم تكرار هذه الخطوة مرتين، ثم تم فصل المستخلص الميثانولي باستخدام جهاز الطرد المركزي لمدة 15 دقيقة(- 4000 X9.81 MS 2)، فصل الراشح كمستخلص للمركبات الفينولية الكلية وتم تقديرها باستخدام طريقة Folin- Ciocalteua [20].وذلك بإضافة 0.5 مل من محلول العينة مع 2.5 مل Folin-Ciocalteua عياري وبعد خمس دقائق تمت إضافة 2.5 مل من كربونات الصوديوم تم التحضين في الظلام على درجة حرارة الغرفة لمدة ساعتين، ومن ثم قيست الامتصاصية للعينات والمحلول القياسي على طول موجي 760 نانوميتر باستخدام جهاز المطياف Aquamte plus UV\.

8.2.2. التحليل الإحصائي

تم تحليل البيانات إحصائياً باستخدام برنامج19 SPSS Version ، وتم اختبار الفروق المعنوية بين المتوسطات باستخدام One-way ANOVA عند مستوى معنوية.$p \leq 0.05$ (Version 19; SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. 3-النتائج والمناقشة:

3-1 الخصائص الفيزيائية للخبز

الوزن والحجم النوعي هي قياسات تظهر معلومات مباشرة عن كفاءة الشبكة البروتينية وجودة التخمير للخبز وعملية الخبيز بشكل عام. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 1) وجود فروق معنوية بين عينتي الدراسة، فكان الوزن لعينة خبز الشوفان الخام (القياسي) 78.75جم، بينما شهدت عينة خبز الشوفان المدعم بالشوفان المنبت (4%) والجلوتين الحيوي (6%) تفوقا معنويا من حيث زيادة الوزن تقدر بـ 82.23 جم. قد يعزى هذا التفوق إلى قدرة العجين على الاحتفاظ بمزيد من الماء بسبب وجود الجلوتين الحيوي الذي يحسن من خصائص الارتباط بالماء وإضافة الشوفان المنبت الذي يتميز بامتصاص أفضل للماء بسبب تفكك جدران خلاياه أثناء الإنبات، بينما الشوفان الخام يفتقر للخصائص الهيكلية القادرة على احتجاز الماء بشكل فعال [21].

تشير نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 1) إلى وجود فروق معنوية في الحجم والحجم النوعي بين عينتي الدراسة، حيث تفوقت العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت بارتفاع كل من الحجم والحجم النوعي. عرف الحجم النوعي للخبز بأنه نسبة حجم الرغيف إلى وزنه، ويعد من المؤشرات المهمة لتقييم جودة الخبز ودرجة انتفاخه كما يدل على نفاشية ومسامية الخبز، والتوزيع الجيد للغازات الناتجة أثناء التخمير. يمكن تفسير هذه الفروقات إلى أن حبوب الشوفان لا تحتوي على الجلوتين الموجود في القمح، ولكنه يحتوي على بروتين مشابه يسمى الأفينين(Avenin) ، والذي لا يمتلك نفس الخصائص التكنولوجية للجلوتين".مما نتج عنه عجين أقل مرونة وأقل نفاشية بسبب ضعف القدرة اللازمة لاحتجاز الغازات أثناء التخمير. الشوفان المنبت يحتوي على مستويات جيدة من الإنزيمات النشطة التي تحلل النشويات إلى سكريات بسيطة مما يعزز نشاط الخميرة أثناء التخمير مما يزيد من إنتاج الغاز. كما ان إضافة الجلوتين الحيوي قد تعمل على تقوية الشبكة البروتينية المتكونة في العجين مما يساعد على احتجاز غازات أكثر أثناء التخمير، الأمر الذي أدى إلى تحسين مرونة العجين وقابليته للانتفاخ وزيادة نفاشيته، وبالتالي ارتفاع حجم الخبز النهائي. العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي 6% والشوفان المنبت 4% شهدت زيادة في الحجم بفضل وجود الجلوتين الحيوي والشوفان المنبت، حيث إن الجلوتين الحيوي دعم تكوين شبكة قوية احتجزت المزيد من الغاز، والشوفان المنبت عزز نشاط التخمير من خلال توفير السكريات البسيطة[21,22] .

كما يعزز الجلوتين الحيوي من قدرة العجين على امتصاص الماء، مما يحسن خصائص التمدد والمرونة، وبالتالي يؤدي إلى عجين يتمدد بسهولة أثناء التخمير والخبيز، قد تكون عملية تدعيم عجينة دقيق الشوفان بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي حقق توازنا بين المرونة والانسيابية، وهو أمر أساس لتحقيق حجم نوعي عالي، الخبز ذو الحجم النوعي العالي يكون أكثر مسامية وخفة، مما يعزز سهولة الهضم، تقليل السعرات الحرارية لكل شريحة وزيادة من تقبل المستهلك لصفاته الحسية[22]. من خلال هذه النتائج يتضح أهمية إجراء بعض العمليات التصنيعية مثل الإنبات، أو إضافة مكونات وظيفية أخرى مثل الجلوتين الحيوي لتحسين الخصائص الفيزيائية والوظيفية لمنتجات دقيق الحبة الكاملة [9].

جدول 1: الخصائص الفيزيائية لخبز الشوفان

العينة	الوزن (جم)	الحجم (سم^3)	الحجم النوعي (سم^3/جم)
الخبز القياسي	0.43±^{a}78.70	3.16±^{a}123.0	0.03±^{a}1.57
الخبز المدعم	0.32±^{b}82.23	2.65±^{b}152.0	0.02±^{b}1.83

القيم الجدولية متوسط لثلاثة مكرر± الانحراف المعياري، القيم التي تحمل نفس الحرف في العمود ليس بينها اختلافات معنوية عن مستوى .$p \leq 0.05$.

2.3. الخواص الكيميائية للخبز:

1.2.3. البروتين

أشارت نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 2) إلى إن عينة الخبز المدعمة

بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي سجلت زيادة في محتوى البروتين بلغت حوالي 5% مقارنة بعينة الخبز القياسية".، قد تكون هذه الزيادة ناتجة عن تأثير الإنبات على محتوى البروتين بتحفيز النشاط الأيضي. أثناء عملية الإنبات تنشط العمليات الأيضية في الحبوب لتوفير الطاقة والمواد البنائية اللازمة لنمو الجنين". مما يؤدي إلى زيادة تكوين البروتينات، حيث إن الإنبات يحفز تخليق الإنزيمات والبروتينات المرتبطة بالنمو. أكدت الدراسات زيادة محتوى البروتينات في الشوفان بعد الإنبات نتيجة لتحلل البروتينات والأحماض الامينية المخزنة في الحبوب عن طريق امتصاص الماء وتحويلها إلى أميدات قابلة للنقل، يعتمد المحتوى البروتيني على التوازن بين تحلل البروتين وتخليق البروتين أثناء الإنبات[3,23].

كما ان إضافة الجلوتين الحيوي عاملا مؤثرا في ارتفاع نسبة البروتين، حيث إن الجلوتين الحيوي المضاف بنسبة 6% في عينة الخبز المدعمة قد ساهم بشكل مباشر في رفع محتوى البروتين الكلي. بينت نتائج الدراسة الحالية أن العينة المدعمة بالشوفان المنبت والجلوتين الحيوي قد يسهما في تعزيز تطوير منتجات غذائية غنية بالبروتين تلبي احتياجات صحية عديدة، منها تعزيز وظائف المناعة أذ تعد البروتينات من المكونات الأساسية في تكوين الأجسام المضادة والإنزيمات والعديد من المركبات الحيوية المهمة في جسم الإنسان وتضمين التوازن الهرموني[3,24] .الشوفان غني بالبروتينات ذات الجودة العالية بسبب ارتفاع نسبة الأحماض الأمينية الأساسية مثل اللايسين التي تجعل بروتين الشوفان أكثر البروتينات النباتية اكتمالا من الناحية الغذائية مقارنة بالحبوب الأخرى. يتوزع البروتين في الشوفان بين الجلوتيلين والالبيومين والجلوبيولين والأخير يمثل النسبة الأعلى وهو من البروتينات الذائبة في المحاليل الملحية [25]. بينما يُظهر بروتين القمح مستويات منخفضة من الأحماض الأمينية الأساسية المتمثلة في اللايسين والفالين والتريبتوفان وبالمقارنة مع بروتين الشوفان يُظهر الاخير مستويات أعلى من اللايسين والثريونين والتيروزين والتريبتوفان [26].

2.2.3. الدهون

يحتوي الشوفان على نسبة جيدة من الدهون تتراوح بين 4-9% وتتركز معظمها في جنين الحبة وطبقة النخالة. الدهون في الشوفان تتكون أساسا من الأحماض الدهنية غير المشبعة وتشكل النسبة الأكبر. كما انه مصدر للدهون الفسفورية والستيرولات النباتية التي تسهم في الفوائد الصحية) [27] .(تظهر نتائج الدراسة عدم وجود فروق معنوية بين عينتي الدراسة (الجدول 2)، قد يرجع ذلك إلى أن الإنبات لم يؤثر بشكل مباشر على محتوى الدهون الكلية في الشوفان، الجلوتين الحيوي يحتوي على نسبة ضئيلة جدا من الدهون وبالتالي لم يؤثر على محتوى الدهون الكلي في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي وكذلك الشوفان المنبت [3].

3.2.3. الألياف الغذائية

الألياف الغذائية هي الجزء غير النشوي من الكربوهيدرات، وتنقسم الألياف الغذائية إلى ألياف قابلة للذوبان وألياف غير قابلة للذوبان في الماء. تكمن الأهمية الوظيفية لهذه المركبات في الوقاية من الامراض المزمنة، وكغذاء للبكتيريا الطبيعية في جسم الإنسان. كما ان لها أهمية تصنيعية عند إضافتها للمنتجات الغذائية كمثخن وتعديل القوام وربط الماء، تتكون الألياف من السيليلوز واللجنين والهيموسيليلوز. أكدت أغلب الدراسات أن الألياف الغذائية تزداد بشكل ملحوظ خلال عملية الإنبات وهو أمر مرغوب لما لها من دور تغذوي وتصنيعي [3,7,28] .

تشير نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 2) إلى ارتفاع معنوي في نسبة الألياف الغذائية في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت بما يقارب من 2% مقارنة بالعينة القياسية. قد يفسر ذلك بسبب كمية الشوفان المضافة نفسها ومحتواها من الألياف الغذائية والتي قد تكون ارتفعت كميتها بعد عملية الإنبات، وذلك يتوافق مع ما ذكره[3] حيث إن عملية الإنبات أدت لزيادة نسبة الألياف الغذائية. يعد الإنبات وسيلة فعالة لتحسين القيمة الغذائية، بما في ذلك الألياف الغذائية.

جدول 2: التركيب التقريبي والألياف الغذائية في عينات الخبز المدروسة

العينة	البروتين	الدهون	الألياف الكلية	الرماد
الخبز القياسي	0.±^{a}14.45 38	0.±^{a}3.70 18	0.±^{a}7.48 09	0.0±^{a}4.14 4
الخبز المدعم	0.±^{b}19.65 31	0.±^{a}3.76 28	0.±^{b}9.62 30	0.0±^{b}3.87 5

القيم الجدولية متوسط لثلاثة مكرر ± الانحراف المعياري، القيم التي تحمل نفس الحرف في العمود ليس بينها اختلافات معنوية عن مستوى $p\leq 0.05$.

أشارت دراسات حديثة إلى أن إنبات الحبوب لمدة 48-72ساعة يزيد من تركيز البيتا جلوكان في حبوب الشعير، وان القمح المنبت يحتوي على ألياف قابلة للذوبان أعلى بنسبة 15% مقارنة بالقمح غير المنبت [29]. أكدت هذه الدراسات نتائج الدراسة الحالية، فقد ازدادت نسبة الألياف الغذائية بإضافة الشوفان المنبت. ومن النظريات الأخرى المفسرة لهذه النتائج أن الإنبات سبب في تغيرات البنية الخلوية للحبوب مما حرر المزيد من الألياف وجعلها أكثر قابلية للاستخلاص. وفقا لدراسة [28] وجد فيها أن الحبوب المنبتة تظهر زيادة بنسبة تصل إلى 20% في الألياف الغذائية القابلة للذوبان مقارنة بالحبوب غير المنبتة.

قد تسهم زيادة المحتوى البروتيني في زيادة نسبة الألياف حيث إنه يمكن أن تتفاعل بروتينات الجلوتين الحيوي مع الألياف الغذائية من خلال تكوين روابط غير تساهمية مثل الروابط الهيدروجينية والتفاعلات الكهروستاتيكية بين جزيئات البروتين ومكونات الألياف هذه الروابط قد تعزز ثبات الألياف وترفع نسبتها في التحليل النهائي. الإنبات يحفز تحرير الألياف وإضافة الجلوتين الحيوي قد تكون ساهمت في حدوث التفاعلات البروتينية-الكربوهيدراتية. أوضحت دراسات أن التفاعل بين البروتينات والكربوهيدرات تؤدي إلى تحسين الخصائص الوظيفية بما في ذلك المحتوى من الألياف[28,30].

تفاعلات البروتين مع الألياف هي ظاهرة معقدة تتضمن ارتباطات فيزيائية وكيميائية بين جزيئات البروتين والألياف الغذائية، هذه التفاعلات قد تؤثر بشكل كبير على الخصائص الوظيفية والقيمة الغذائية للمكونات الغذائية. الروابط الهيدروجينية التي قد تحدث بين مجموعات الهيدروكسيل في الألياف والمجموعات القطبية في البروتين، وقوى فاندرفال قد تسهم أيضا في استقرار التفاعلات السطحية بين البروتين والألياف الغذائية، او التشابك الميكانيكي الذي يحدث عندما ترتبط الألياف بالبروتينات نتيجة لهيكلها المسامي، أو قد يكون راجعا للتفاعلات الكيميائية مثل الروابط التساهمية التي تحدث غالبا خلال المعالجات الحرارية حيث تشكل الروابط بين الألياف والبروتينات مثل تفاعل ميلارد الذي ينتج عنه مركبات معقدة [28,30].وهذه التفاعلات والترابط بين البروتين والألياف الغذائية أو الكربوهيدرات تتسبب بشكل عام إلى تثبيت الشبكة البروتينية المتكونة وقد يكون السبب في رفع

حجم الخبز المدعم وكذلك حجمه النوعي.

4.2.3. الرماد الكلي

يمثل الرماد الكلي المكونات غير العضوية (المعادن) المتبقية بعد إحراق المادة العضوية، بينت نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 2) أن نسبة الرماد في عينة الشوفان المدعم بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت كانت أقل بنسبة 1% مقارنة بالعينة القياسية. قد يرجع السبب إلى تأثير الإنبات على نسبة الرماد الناتج عن تغير المحتوى المعدني بسبب النشاط الإنزيمي. أثناء الإنبات تنشط العديد من الإنزيمات مثل الفايتيز الذي يحلل الفايتات الموجود في الحبوب مؤديا إلى تحرر المعادن المرتبطة بحمض الفايتيك وجعلها أكثر قابلية للذوبان مما يؤدي إلى انخفاض محتوى الرماد. في دراسة[28] أشارت إلى أن الإنبات يمكن أن يقلل من نسبة الرماد نتيجة تحلل المركبات المعقدة وتحرر المعادن. كما انه خلال الإنبات تستهلك المعادن في العمليات الأيضية لتشكيل مكونات جديدة مثل الإنزيمات والبروتينات مما يقلل من تركيز المعادن الكلية القابلة للتحلل. أظهرت دراسات أخرى أن الإنبات يسبب انخفاضا طفيفا في نسبة الرماد بسبب استهلاك المعادن[30.31].

قد يكمن تأثير الجلوتين الحيوي على نسبة الرماد الكلي في تخفيف المحتوى المعدني العام، إضافة الجلوتين الحيوي الذي يحتوي على نسبة منخفضة جدا من المعادن مقارنة بالشوفان الخام تؤدي إلى تخفيف تركيز المعادن الكلية في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت. بعض المعادن قد ترتبط كيميائيا مع البروتينات الموجودة في الجلوتين الحيوي مما قد يقلل قابليتها للتحلل كجزء من الرماد. أكدت دراسة أن المعادن ترتبط بالبروتينات في شكل معقدات أقل ظهورا في قياسات الرماد[32]، حيث تظهر نتائج تلك الدراسة توافقا مع مخرجات الدراسة الحالية.

5.2.3. المركبات الفينولية

تحتوي الحبوب الكاملة على تركيزات عالية من مضادات الأكسدة والتي تعمل على معادلة الأصول الحرة في مكونات الخلايا [33] المركبات الفينولية هي مجموعة من المركبات النباتية ذات النشاط الحيوي المضاد للأكسدة والتي تعتبر من أقوى مضادات الأكسدة. تسهم هذه المركبات في تعزيز قدرة الشوفان على مقاومة التأكسد والحفاظ على صحة جسم الإنسان. قد يؤدي الإنبات الى زيادة طفيفة في محتوى المركبات الفينولية الكلية اعتمادا على الصنف وظروف الإنبات[34,35] . أكدت الأبحاث أن الشوفان فريد من نوعه بين الحبوب حيث يحتوي على المركبات الفينولية القابلة للذوبان ذات الوزن الجزيئي المنخفض والتي وجد أنها زادت بحوالي 20% أثناء الإنبات[36]. أشارت نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 3) إلى ارتفاع في نسبة المركبات الفينولية الكلية في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت مقارنة بالعينة القياسية. قد يرجع ذلك إلى إضافة الشوفان المنبت الذي قد يحتوي على نسبة أعلى من المركبات الفينولية مقارنة بالشوفان الخام. الإنبات يحفز النشاط الأيضي داخل الحبوب وتنشط الإنزيمات مثل Phenylalanine Ammonia-Lyase – PAL وهو إنزيم رئيسي في مسار تخليق المركبات الفينولية، هذا النشاط يؤدي إلى زيادة إنتاج المركبات الفينولية. أوضحت دراسة أن الإنبات يزيد من مستويات المركبات الفينولية في الحبوب نتيجة تحفيز الأنشطة الأيضية [7] وقد تتوافق تلك النتائج مع نتائج الدراسة الحالية. ارتفاع نسبة المركبات الفينولية الحرة يعمل على زيادة النشاط المضاد للأكسدة. زيادة المركبات الفينولية أثناء الإنبات تعزز النشاط المضاد للأكسدة في الشوفان مما منح العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت ميزة إضافية مقارنة بالعينة القياسية. هذه النتيجة تبرز أهمية المعالجات التصنيعية مثل الإنبات والتدعيم في تحسين القيمة الغذائية. نتائج العينة المدعمة تظهر إمكانية استخدامها في البرامج الغذائية والوقائية ضد الأمراض المزمنة وتعزيز الصحة العامة من خلال تقليل الإجهاد التأكسدي والالتهابات[36].

جدول 3: المركبات الفينولية في عينات الخبز المدروسة

العينة	المركبات الفينولية (ملجم مكافئ حامض الجاليك/ 100جم)
الخبز القياسي	$176.45^{a}\pm0.04$
الخبز المدعم	$189.76^{b}\pm0.05$

القيم الجدولية متوسط لثلاثة مكرر ± الانحراف المعياري، القيم التي تحمل نفس الحرف في العمود ليس بينها اختلافات معنوية عن مستوى $p\leq0.05$

6.2.3. العناصر المعدنية

تظهر نتائج التحليل الإحصائي (الجدول 4) انخفاضا معنويا في نسبة الحديد والمغنسيوم في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت، في المقابل ارتفع محتواها معنويا من كل من الزنك والبوتاسيوم والفسفور مقارنة بالعينة القياسية. قد ترجع أسباب انخفاض نسبة الحديد والمغنسيوم في العينة المدعمة إلى إضافة الجلوتين الحيوي الذي قد يكون خفف من المحتوى المعدني بشكل عام مع الأخذ في الاعتبار انخفاض كمية الرماد الكلية في الشوفان المنبت. كما يمكن تفسير نقص الحديد والمغنيسيوم في العينة إلى استهلاكهما في العمليات الأيضية أثناء الإنبات. المغنيسيوم عنصر أساسي لنشاط العديد من الإنزيمات المتعلقة بتكوين الجنين، يستهلك المغنيسيوم بكميات كبيره أثناء تكوين البروتينات والإنزيمات في الأنسجة النامية، أكدت الدراسات أن نسبة المغنيسيوم في الشوفان المنبت كانت تميل إلى الانخفاض بعد يومين من الإنبات، وهذا يتوافق مع نتائج الدراسة الحالية [37].

جدول 4: العناصر المعدنية في عينات الخبز المدروسة

العينة (ملجم/كجم)	الحديد	الزنك	البوتاسيوم	الفوسفور	الماغنيسيوم
الخبز القياسي	$29.05^{a}\pm0.02$	$13.13^{a}\pm0.01$	$726.0^{a}\pm1.00$	$197.2^{a}\pm0.33$	$629.17^{a}\pm0.08$
الخبز المدعم	$26.85^{b}\pm0.00$	$26.85^{b}\pm0.01$	$1002.33^{b}\pm2.08$	$204.71^{b}\pm0.23$	$150.0^{b}\pm0.21$

القيم الجدولية متوسط لثلاثة مكرر± الانحراف المعياري، القيم التي تحمل نفس الحرف في العمود ليس بينها اختلافات معنوية عند مستوى $p\leq0.05$.

للمغنيسيوم أهمية تغذوية وصحية، فهو معدن أساسي يسهم في دعم وظيفة العضلات والأعصاب وتعزيز صحة القلب وتكوين العظام والأسنان وتنظيم مستويات السكر في الدم، أما الحديد يعد معدنا أساسيا يلعب دورا حيويا في الجسم حيث يستخدم لتكوين الهيموجلوبين والأخير هو البروتين المسؤول عن نقل الأكسجين في الدم، يعتبر الحديد ضروريا للعديد من الوظائف الحيوية مثل دعم الجهاز المناعي، تعزيز طاقة الجسم ومقاومة الإرهاق وتحسين نمو الخلايا وانقسامها [31.38]. انخفاض نسبة المغنيسيوم والحديد في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت قد تشير إلى ضرورة تحسين المعالجات لتقليل الفقد وضمان الحفاظ على الفائدة الغذائية.

يحتوي الشوفان على نسب معتدلة من معدن الزنك الذي يلعب دورا حيويا في العديد من العمليات الحيوية. الزنك يوجد في الشوفان في صور عديدة منها وجوده مرتبط بالفيتات الذي قد تقلل من توافره الحيوي. قد ترجع أسباب زيادة نسبة الزنك والفسفور في العينة المدعمة إلى تحلل حمض الفيتيك أثناء

الإنبات نتيجة لنشاط إنزيم الفايتيز. أظهرت بعض الدراسات أن الإنبات يحسن من توافر المعادن الدقيقة مثل الزنك[28]، وفي دراسة أخرى أظهرت أن المعادن النزرة ومن ضمنها الزنك تسلك اتجاها تصاعديا واضحا على مدار وقت الإنبات [37]. الزنك معدن أساسي له دور حيوي في تعزيز مناعة الجسم ودعم انقسام الخلايا للنمو وتحسين وظائف الإنزيمات المرتبطة بالهضم والبناء الحيوي، زيادة تركيز الزنك في العينة المدعمة بالجلوتين الحيوي والشوفان المنبت تجعلها أكثر قيمة غذائية، خاصة للأشخاص الذين يعانون من نقص الزنك.

قد ترجع أسباب زيادة نسبة الفوسفور إلى عدة أسباب منها تحلل حمض الفيتيك أثناء الإنبات، الفوسفور المتواجد في الشوفان الخام يكون مرتبطا بشكل أساسي بحمض الفيتيك في صورة غير قابلة للامتصاص، عليه فالإنبات يحرر الفوسفور نتيجة لتحلل حمض الفيتيك بواسطة إنزيم الفايتيز، او إعادة توزيع الفوسفور أثناء الإنبات لدعم تكوين الجنين والنمو الأولي[39]. تتركز الفيتات بشكل كبير في الحبوب، وهو يمثل الشكل الرئيسي لتخزين الفوسفور في الحبوب والبقوليات الناضجة [39]. يحد انخفاض نشاط إنزيم الفيتاز الداخلي في الجهاز الهضمي من التوافر الحيوي للفوسفور الموجود في الحبوب.كما يؤثر الفيتاز سلبا على التوافر الحيوي للأيونات المعدنية لأنه يتميز بتقارب قوي مع الكيتونات وبالتالي يعتبر عاملا مضادا للتغذية [40]. يميل نشاط إنزيم الفايتيز إلى الزيادة أثناء الإنبات، الجلوتين قد يحتوي على كميات صغيرة من الفوسفور حيث تعتمد عملية الإنبات على تحلل مركبات الفيتات التي تعد الشكل الرئيسي لتخزين الفوسفور في الحبوب هذه البقايا تضاف إلى محتوى الفوسفور الإجمالي في العينة المدعمة بالجلوتين [41].

البوتاسيوم عنصر أساسي في الحفاظ على التوازن الإسموزي للحبوب ويزداد أثناء الإنبات بسبب امتصاص الماء وإعادة توزيع المعادن لدعم النمو، أكدت الدراسات أن البوتاسيوم يعتبر أهم المعادن الأساسية التي تبقى ثابتة أو تزداد أثناء الإنبات، البوتاسيوم أقل عرضة للفقد مقارنة بالمعادن الأخرى. قد ترجع زيادة نسبة البوتاسيوم بسبب امتصاص الماء وإعادة توزيع المعادن، أثناء الإنبات تمتص الحبوب الماء مما يساعد على إذابة المعادن داخل الخلية وتحررها من المواقع المرتبطة. قد يعاد توزيع المعادن بما في ذلك البوتاسيوم لدعم العمليات الحيوية مثل انقسام الخلايا ونمو الجنين، البوتاسيوم ينشط العديد من الإنزيمات اللازمة لتحليل الكربوهيدرات والبروتينات أثناء الإنبات، هذا النشاط الأيضي يستهلك كمية كبيرة من الطاقة التي تسهم البوتاسيوم في توليدها من خلال دورةTPA. كما ان البوتاسيوم أقل عرضة للارتباط بحمض الفيتيك أو فقدانه مقارنة بالمعادن الأخرى [37].

4. الخلاصة والتوصيات:

تشير نتائج الدراسة إلى أن إضافة الشوفان المنبت بنسبة 4% مع جلوتين القمح الحيوي بنسبة 6% أدت إلى تحسين الخصائص التكنولوجية لخبز الشوفان المدعم مثل زيادة حجم الخبز ونفاشيته من خلال ارتفاع حجمه النوعي. كما أدى ذلك إلى رفع قيمته الغذائية متمثلة في ارتفاع كمية البروتين والألياف الغذائية والمركبات الفينولية والزنك والفسفور والبوتاسيوم. نحتاج إلى مزيد من الدراسات حول تأثير الشوفان المنبت والجلوتين الحيوي على الخصائص الريولوجية لدقيق الشوفان وأيضا المكونات الصغرى فيه مثل الفيتامينات ومضادات الأكسدة.

5. المراجع.

[1]. Kosová, K., Leišová-Svobodová, L., Dvořáček, V. (2020). Oats as a safe alternative to Triticeae cereals for people suffering from celiac disease? A review. Plant Foods for Human Nutrition, 75(2), 131-141.

[2]. Head, D. S., Cenkowski, S., Arntfield, S., Henderson, K. (2010). Superheated steam processing of oat groats. LWT-Food Science and Technology, 43(4), 690-694

[3]. Tian, B., Xie, B., Shi, J., Wu, J., Cai, Y., Xu, T., Deng, Q. (2010). Physicochemical changes of oat seeds during germination. Food Chemistry, 119(3), 1195-1200

[4]. Sanchez-Pardo, M. E., Jiménez-García, E., González-García, I. (2010). Study about the addition of chemically modified starches (cross-linked cornstarches), dextrins, and oats fiber in baked pound cake. Journal of Biotechnology, 150, 316.

[5]. Mao, H., Xu, M., Ji, J., Zhou, M., Li, H., Wen, Y., Sun, B. (2022). The utilization of oat for the production of wholegrain foods: Processing technology and products. Food Frontiers, 3(1), 28-45.

[6]. Ferguson, J. J., Stojanovski, E., MacDonald-Wicks, L., Garg, M. L. (2020). High molecular weight oat β-glucan enhances lipid-lowering effects of phytosterols. A randomised controlled trial. Clinical Nutrition, 39(1), 80-89.

[7]. Alsadiq, M., and Ilowefah, M. (2024). Enhancement of Nutritional and Technological Properties of Oat Grains through Germination. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, 2(2), 104-108. https://doi.org/10.63318/

[8]. Eshdog, A., Elbarkoli, A., Alhebeli, S., Ilowefah, M. (2025). The Role of Roasting and Fermentation in Enhancing the Functional and Technological Properties of Oat Grains and its Flour. Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences, 3(2), 309-315. https://doi.org/10.63318/waujpasv3i2_38

[9]. Schlörmann, W., Zetzmann, S., Wiege, B., Haase, N. U., Greiling, A., Lorkowski, S., Glei, M. (2020). Impact of different roasting conditions on sensory properties and health-related compounds of oat products. Food Chemistry, 307, 125548.

[10]. Vilpoux, O. F., and Junior, J. F. S. S. (2023). Global production and use of starch. In Starchy crops morphology, extraction, properties and applications (pp. 43-66). Academic Press.

[11]. Li, R., True, A. D., Sha, L., & Xiong, Y. L. (2025). Structure–functionality relationship and modification strategies of oat protein: Challenges and opportunities. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 24(1), e70091.

[12]. Bardini, G., Boukid, F., Carini, E., Curti, E., Pizzigalli, E., Vittadini, E. (2018). Enhancing dough-making rheological performance of wheat flour by transglutaminase and vital gluten supplementation. LWT, Food Science and Technology 91, 467-476.

[13]. Emire, S. A., & Arega, M. (2012). Value added product development and quality characterization of amaranth (Amaranthus caudatus L.) grown in East Africa. African Journal of Food Science and Technology, 3(6), 129-141

[14]. Flander, L., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., Autio,

Brennan, C. S., Truong, T., Marapana, U., Chandrapala, J. (2024). Bioactive compounds and digestible starch variability of rice, maize, green gram, and soy grains with different levels of germination. International Journal of Food Science and Technology, 59(12), 9273-9286.

[30]. Gan, J., Xie, L., Peng, G., Xie, J., Chen, Y., & Yu, Q. (2021). Systematic review on modification methods of dietary fiber. Food Hydrocolloids, 119, 106872.

[31]. Hurrell, R., and Egli, I. (2010). Iron bioavailability and dietary reference values. The American Journal Of Clinical Nutrition, 91(5), 1461S-1467S.

[32]. Baye, K. (2018). Nutrient composition and health benefits. The economics of tef, exploring Ethiopia's biggest cash crop. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Wasington DC, 371-396.

[33]. Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seed Science Research, 14(2), 93-107..

[34]. Álvarez, J. A., Herrera, M. D., Soto, R. J., Avila Marioni, M. J., Ramírez Valle, O. (2010). Interactions between Bio-fertilizers and the Production of Oats without Irrigation in Chihuahua, Mexico. In In19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.

[35]. Pal, R. S., Singh, K. S., Tripathi, M. K. (2016). Nutrient intake, digestibility, milk production and composition of lactating cows fed oat hay and concentrate containing varying levels of poultry litter. Indian Journal of Animal Research, 50(2), 194-198.

[36]. Hübner, F., and Arendt, E. K. (2013). Germination of cereal grains as a way to improve the nutritional value: a review. Critical Reviews in Food Science And Nutrition, 53(8), 853-861.

[37]. Sokrab, A. M., Ahmed, I. A. M., Babiker, E. E. (2012). Effect of germination on antinutritional factors, total, and extractable minerals of high and low phytate corn (Zea mays L.) genotypes. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 11(2), 123-128..

[38]. Luo, B. F., Du, S. T., Lu, K. X., Liu, W. J., Lin, X. Y., Jin, C. W. (2012). Iron uptake system mediates nitrate-facilitated cadmium accumulation in tomato (Solanum lycopersicum) plants. Journal of Experimental Botany, 63(8), 3127-3136

[39]. Kumar, V., Sinha, A. K., Makkar, H. P., Becker, K. (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. Food Chemistry, 120(4), 945-959

[40]. Azeke, M. A., Egielewa, S. J., Eigbogbo, M. U., Ihimire, I. G. (2011). Effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice (Oryza sativa), maize (Zea mays), millet (Panicum miliaceum), sorghum (Sorghum bicolor) and wheat (Triticum aestivum). Journal of Food Science And Technology, 48(6), 724-729.

[41]. Yazar, G., Kokini, J. L., Smith, B. (2024). Impact of endogenous lipids on mechanical properties of wheat gluten fractions, gliadin and glutenin, under small, medium, and large deformations. Lipidology, 1(1), 30-51.

K. (2007). Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. LWT-Food Science and Technology, 40(5), 860-870.

[15]. AACC International Board 2008. Available online: (accessed on 12 July). http://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Pages/WholeGrain.aspx.

[16]. Elkhalifa, A. E. O., and Bernhardt, R. (2013). Some physicochemical properties of flour from germinated sorghum grain. Journal Of Food Science And Technology, 50(1), 186-190..

[17]. Khalaf Allah, N.E.K.; Ilowefah, M.; Albarkouli, F.; Akasha, I. 2025. Improvement of oat flour functional properties using vital gluten and germinated oats. International Journal of Scientific Research. 4, 358–373, https://doi.org/10.59992/ijsr.2025.v4n1p14.

[18]. Hallén, E., İbanoğlu, Ş., Ainsworth, P. (2004). Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. Journal of Food Engineering, 63(2), 177-184.

[19]. AOAC. (2012). Official Analysis of Methods of the Association of Analysis. 19th edition.

[20]. Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., Nacoulma, O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. Food Chemistry, 91(3), 571-577.

[21]. Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. Food Microbiology, 24(2), 115-119.

[22]. Aoki, N., Kataoka, T., Nishiba, Y. (2020). Crucial role of amylose in the rising of gluten-and additive-free rice bread. Journal of Cereal Science, 92, 102905.

[23]. Naz, T., Sharif, M. K., Shukat, R., Israr, B. (2025). Characterizing germination effects on nutrient and anti-nutrient profiles in cereal-based protein-enriched supplement. Journal of Food Measurement and Characterization, 19(4), 2957-2969.

[24]. Nazir, F., Zahid, H., Riaz, M. (2025) The impact of germination time on nutritional and antioxidant properties of selected cereals. Cereal Research Communications 53, 2491–2504. https://doi.org/10.1007/s42976-025-00670-3

[25]. Holopainen-Mantila, U., Vanhatalo, S., Lehtinen, P., Sozer, N. (2024). Oats as a source of nutritious alternative protein. Journal of Cereal Science, 116, 103862.

[26]. Sayadi, M., Arianfar, A., Mohamadi Sani, A., Sheikholeslami, Z. (2025). Effect of Incorporating Oat Flour and Sourdough on the Sensory and Technological Characteristics of Bread. Food Science & Nutrition, 13(1), e4693.

[27]. Kouřimská, L., Sabolová, M., Horčička, P., Rys, S., Božik, M. (2018). Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars. Journal of Cereal Science, 84, 44-48.

[28]. Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., Galieni, A. (2019). Sprouted grains: A Comprehensive Review. Nutrients, 11(2), 421.

[29]. Gunathunga, C., Senanayake, S., Jayasinghe, M.,