مجلة جامعة فزان العلمية
Fezzan University scientific Journal
journal@fezzanu.edu.ly

تأثير الاستبدال الجزئي لدقيق القمح الكامل بدقيق الذرة الرفيعة على الخصائص الوظيفية للدقيق المركب

* محمد السنوسي[1]، وداد الزوي[2]، محمد الشريف[2]
[1]قسم علوم وتقنية الأغذية، كلية علوم الأغذية، جامعة وادي الشاطئ.
[2]قسم الغذاء والتغذية، كلية علوم الأغذية، جامعة وادي الشاطئ.

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الاستبدال الجزئي لدقيق القمح الكامل بدقيق الذرة الرفيعة على الخصائص الوظيفية للدقيق المركب عند نسب استبدال مختلفة (5%، 10%، 15%، و20%).

أظهرت النتائج أن دقيق الذرة الرفيعة تفوق على دقيق القمح الكامل في خاصيتي الارتباط بالماء (2.187±0.228 جم/جم) والارتباط بالمستحلب (2.432±0.066 جم/جم)، بينما تفوق دقيق القمح الكامل في خاصية الارتباط بالزيت (2.243±0.09 جم/جم)، كما تبين وجود فروق معنوية عند مستوى دلالة 0.05 في خاصيتي الارتباط بالزيت والارتباط بالمستحلب بين العينات، في حين لم تسجل فروق معنوية في خاصية الارتباط بالماء.

أما بالنسبة لعينات الاستبدال، فقد أظهرت النتائج أن نسبة الاستبدال 5% سجلت أعلى قيمة للارتباط بالماء (1.946±0.059 جم/جم)، بينما كانت أقل قيمة عند نسبة 15% (1.807±0.214 جم/جم)، دون وجود فروق معنوية بين العينات، وسجلت نسبة الاستبدال 10% أعلى قدرة على الارتباط بالزيت (2.264±0.014 جم/جم) تلتها 5%، دون وجود فروق معنوية، أما خاصية الارتباط بالمستحلب فقد بلغت أعلى قيمة لها في عينة الاستبدال 20% (2.420±0.067 جم/جم)، وأظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بين بعض العينات، خاصة بين 5% و15%، وكذلك بين 15% و20%.

حيث تشير هذه النتائج إلى أن الاستبدال الجزئي بدقيق الذرة الرفيعة يمكن أن يحافظ على الخصائص الوظيفية للدقيق المركب ضمن مستويات مقبولة، مع تحقيق توازن بين الجودة التقنية والقيمة الغذائية.

الكلمات المفتاحية: الاستبدال الجزئي، الخصائص الوظيفية للدقيق، دقيق الخلط بنسب مختلفة، دقيق الذرة الرفيعة، دقيق القمح الكامل.

Effect of Partial Substitution of Whole Wheat Flour with Sorghum Flour on the Functional Properties of Composite Flour

*Mohammed alsanosi[1] and Wedad alzwai[2] and Mohammed alsharif[2]
[1]Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Sciences, University of Wadi Al-Shati
[2]Departments of Food and Nutrition, Faculty of Food Sciences, University of Wadi Al-Shati.

*المؤلف الرئيسي: عناوين البريد الإلكتروني moh.ali@wau.edu.ly تاريخ استلام البحث 26فبراير2026 استلام رد المحكمين 8 فبراير2026 تم قبوله 26مايو 2026 تاريخ النشر23 يونيو 2026

Abstract
This study aimed to evaluate the effect of partially substituting whole wheat flour with sorghum flour on the functional properties of composite flour at different substitution levels (5%, 10%, 15%, and 20%).
The results revealed that sorghum flour exhibited higher water Binding capacity (2.187±0.228 g/g) and emulsion binding capacity (2.432±0.066 g/g) than whole wheat flour, while the latter recorded higher oil binding capacity (2.243±0.09 g/g). Significant differences ($p \leq 0.05$) were observed between samples in oil binding and emulsion binding capacity, whereas no significant difference was found in water Binding capacity.
Regarding the substituted samples, the 5% substitution level recorded the highest water Binding capacity (1.946±0.059 g/g), while the lowest was observed at 15% (1.807±0.214 g/g), with no significant differences among samples. The 10% substitution level exhibited the highest oil binding capacity (2.264±0.014 g/g), followed by 5%, also without significant differences. For Emulsion binding capacity, the 20% substitution sample showed the highest value (2.420±0.067 g/g), and statistical analysis indicated significant differences among some samples, particularly between 5% and 15%, and between 15% and 20%.
These findings suggest that partial substitution with sorghum flour can maintain the functional properties of composite flour within acceptable levels, achieving a balance between technological quality and nutritional value.
Keywords: Blended flour at different ratios, Functional properties of flour, Partial substitution, Sorghum flour, Whole wheat flour.

1 المقدمة والدراسات السابقة

الحبوب تمثل أحد المصادر الرئيسية للطاقة والمواد المغذية في النظام الغذائي البشري، حيث توفر حوالي 50% من السعرات الحرارية اليومية لسكان العالم [1]، بين الحبوب المختلفة، يعد القمح والذرة من أكثر المحاصيل استهلاكا واستخداما في إنتاج الأغذية الأساسية [2].

نتيجة لمعرفة الفوائد الصحية المرتبطة بالذرة الرفيعة ازداد استهلاك الأغذية المصنوعة منها، إضافة إلى كونها محصول حبوبي خالي من الجلوتين، وتتحمل الجفاف ودرجات الحرارة العالية [3،4،5].

يحتوي دقيق القمح الكامل (WWF) على مستويات أعلى من الفيتامينات والمعادن والألياف الغذائية (متعددة السكريات غير النشوية)، ومضادات الأكسدة، إضافة إلى المركبات النباتية الفعالة مثل الكاروتينات والفلافونويدات، وكذلك الأحماض الفينولية [6].

يعد دقيق الحبوب الكاملة أكثر كثافة غذائية من الدقيق المكرر (الأبيض)، نظرا لأنها تحتفظ بجزئي النخالة والجنين من الحبوب، واللذين يستبعدان عادة خلال صناعة الدقيق المكرر من النشاء الموجود في النخاع الداخلي للحبة [7].

يميل الأفراد الذين يستهلكون كميات أكبر من الحبوب الكاملة إلى تحقيق مستويات موصى بها من العناصر الدقيقة، وخاصة الألياف الغذائية، مما يسهم في تحسين جودة النظام الغذائي الكلي [8].

الخصائص الوظيفية هي الخصائص الفيزيائية والكيميائية الأساسية التي تعكس التفاعلات المعقدة التي تحدث بين هيكل الغذاء وتركيبه الجزيئي، تصف الخصائص الوظيفية سلوك الغذاء أثناء عملية الطهي والتحضير، كما أنها تؤثر على الشكل النهائي من حيث الملمس والمذاق والمظهر للمنتج الغذائي ومدى قبوله، من أمثلة الخصائص الوظيفية للأغذية والدقيق

القابلية للذوبان، الارتباط بالماء، الارتباط بالزيت، الاستحلاب، القدرة على الانتفاخ، القدرة على تكوين الرغوة، اللزوجة والالتصاق والتماسك [9،10].

تتأثر الخصائص الوظيفية للغذاء والدقيق بالتركيب الكيميائي حيث أن الكربوهيدرات (النشا) تكون مسؤولة عن خاصية تكوين الهلام والدكسترين والجلتنة والاسمرار، الدهون مسؤولة عن خاصية الاستحلاب، البروتين مسؤول عن تكوين الرغوة والاستحلاب والتخثر والاسمرار، قد يكون لاثنين من المواد نفس الخاصية [9،10].

يؤثر الارتباط بالماء على المعايير الآتية للخبز: حجم الرغيف، كمية الخبز، إجهاد كسر فتات الخبز، مدة الصلاحية، القابلية للتصنيع، الصفات النهائية للمنتج [11]، كما يوثر الجزء المحب للماء والكاره للماء في البروتين على قدرة الارتباط بالزيت حيث يمكن أن تشكل السلاسل الجانبية غير القطبية (الكارهة للماء) للأحماض الامينية تفاعلات مع السلاسل الهيدروكربونية في الدهون [12]، ترتبط القدرة على الاستحلاب بكمية الماء والزيت، وبوجود الأحماض الأمينية الغير قطبية على سطح البروتين، حيث أن زيادة الأحماض الامينية القطبية على سطح البروتين يقلل من حاجز الطاقة للامتزاز الذي يعتمد على تركيب البروتين [13].

2. المواد وطرق العمل

1.2 عينات الدراسة

تم الحصول على عينات دقيق القمح الكامل ودقيق الذرة الرفيعة من أحد الأسواق بمدينة براك.

2.2 الاختبارات الوظيفية

1.2.2 القدرة على الارتباط بالماء

تم أخذ 1جم من العينات ووضعت في أنبوبة الطرد المركزي، أضيف لها 10مل من الماء المقطر، وأجريت عملية الخلط لمدة 1 دقيقة، وتركت العينات على درجة حرارة الغرفة لمدة 5–10 دقائق، ثم تم إجراء عملية الطرد المركزي centrifugation على سرعة 3000 دورة في الدقيقة لمدة 15 دقيقة، وتمت إزالة الماء الزائد [14].

وتم حساب النتائج في صورة(جم/جم) بالمعادلة التالية:

$$\text{الارتباط بالماء (جم\جم)} = \frac{\text{(وزن الانبوبة مع العينة–وزن الانبوبة فارغة)}}{\text{وزن العينة}}$$

2.2.2 القدرة على الارتباط بالزيت

تم أخذ 1جم من العينات المدروسة ووضعت في أنابيب الطرد المركزي، وأضيف إليها 10مل من زيت عباد الشمس، وأجريت لها عملية خلط لمدة 1 دقيقة، ثم تركت على درجة حرارة الغرفة لمدة 5–10 دقائق، ثم أجريت عملية الطرد المركزي centrifugation على سرعة 3000 دورة\الدقيقة لمدة 15 دقيقة، ثم تمت إزالة الزيت الزائد [14]، حسبت النتائج في صورة (جم\جم) من المعادلة التالية:

$$\text{الارتباط بالزيت (جم\جم)} = \frac{\text{(وزن الانبوبة مع العينة–وزن الانبوبة فارغة)}}{\text{وزن العينة}}$$

3.2.2 الارتباط بالمستحلب

تم وزن 1جم من العينة، ووضعت في أنبوبة الطرد المركزي، وأضيف إليها 10مل من الماء المقطر و10مل من زيت عباد الشمس، وأجريت لها عملية خلط لمدة 1 دقيقة، ثم أجريت لها عملية الطرد المركزي centrifugation لمدة 15 دقيقة على سرعة 3000 دورةادقيقة، وتمت إزالة المستحلب الزائد [15]، وحسبت النتائج بصورة (جم\جم):

$$\text{الارتباط بالمستحلب (جم\جم)} = \frac{\text{(وزن الانبوبة مع العينة–وزن الانبوبة فارغة)}}{\text{وزن العينة}}$$

3.2 التحليل الإحصائي

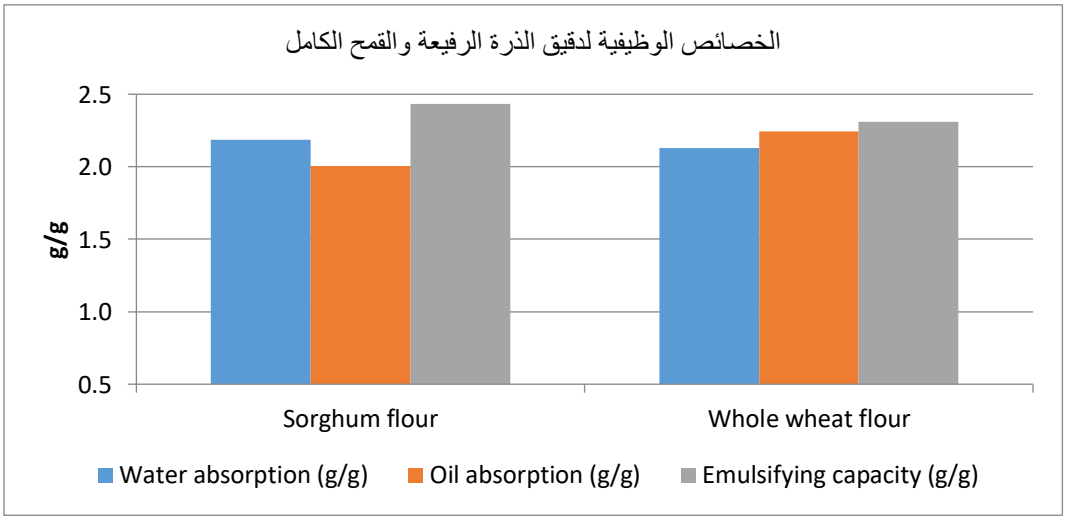
تم تصميم التجربة وتحليلها إحصائيا باستخدام التصميم العشوائي الكامل (C.R.D)، وتمت مقارنة المتوسطات باستخدام اختبار (LSD) عند مستوى معنوية 0.05 باستخدام برنامج SPSS.

3. النتائج والمناقشة

الجدول (1) الخواص الوظيفية لعينات دقيق الذرة الرفيعة ودقيق القمح الكامل.

العينة الخصائص الوظيفية (جم/جم)	دقيق الذرة الرفيعة	دقيق القمح الكامل
القدرة على الارتباط بالماء	0.228^{a}±2.187	0.07^{a}±2.13
القدرة على الارتباط بالزيت	0.071^{b}±2.006	0.09^{a}±2.243
القدرة على الارتباط بالمستحلب	0.066^{a}±2.432	0.06^{b}±2.308

القيم المبينة في الجدول= المتوسط الحسابي±الانحراف المعياري لأربع مكررات، القيم التي تحمل نفس الحروف ليس بينها اختلاف معنوي عند مستوي معنوية 0.05.



شكل (1) يوضح الخصائص الوظيفية لعينة الذرة الرفيعة والقمح الكامل

1.3 الارتباط بالماء لدقيق الذرة الرفيعة والقمح الكامل

بحسب النتائج المبينة سجل دقيق الذرة الرفيعة أعلى نسبة في الارتباط بالماء (0.228±2.187)، مقارنة بدقيق القمح الكامل الأقل الذي سجل (0.07±2.13)، لا يوجد فرق معنوي في الارتباط بالماء بين الذرة الرفيعة والقمح الكامل عند

مستوى دلالة 0.05، وقد يعزى ذلك إلى ارتفاع محتوى دقيق الذرة الرفيعة من الألياف الغذائية والنشا، إضافة إلى احتوائه على مجموعات قطبية قادرة على تكوين روابط هيدروجينية مع الماء، مما يزيد من قدرة الدقيق على الاحتفاظ بالرطوبة.

كما أن ارتفاع محتوى المركبات غير النشوية في الذرة الرفيعة قد يسهم في زيادة احتفاظ الدقيق بالماء، وهو ما ينعكس إيجابا على الخصائص الريولوجية وجودة المنتجات المخبوزة، وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه [14] من أن دقيق الذرة الرفيعة يمتلك قدرة جيدة على امتصاص الماء نتيجة التغيرات في البنية الفيزيائية والكيميائية لمكونات الدقيق، كما تتوافق هذه النتائج مع ما ذكره [6] بأن الحبوب الكاملة والمكونات الغنية بالألياف تؤثر بصورة واضحة في امتصاص الماء وتحسين قدرة العجين على الاحتفاظ بالرطوبة.

إلا أن القيم المتحصل عليها في الدراسة الحالية قد تختلف نسبيا عن بعض الدراسات السابقة، وربما يرجع ذلك إلى اختلاف صنف الذرة الرفيعة المستخدم، أو درجة الاستخلاص، أو حجم الجزيئات الناتج عن الطحن، إضافة إلى اختلاف الظروف البيئية والتخزينية للعينات.

تشير هذه النتائج إلى إمكانية استخدام دقيق الذرة الرفيعة في تحسين قدرة الدقيق المركب على الاحتفاظ بالماء، الأمر الذي ينعكس إيجابًا على جودة العجين وزيادة طراوة المنتجات المخبوزة وإطالة مدة صلاحيتها.

2.3 الارتباط بالزيت لدقيق الذرة الرفيعة والقمح الكامل

أوضحت النتائج أن دقيق القمح الكامل سجل قدرة أعلى على الارتباط بالزيت (2.243±0.09) مقارنة بدقيق الذرة الرفيعة (2.006±0.071) مع وجود فروق معنوية بين العينتين، وقد يفسر ذلك بارتفاع محتوى القمح الكامل من البروتينات والمواد الدهنية المرتبطة بالنخالة والجنين، والتي تحتوي على مجموعات غير قطبية قادرة على تكوين بعض التفاعلات مع الزيت.

تلعب طبيعة البروتين وتركيبه دورا رئيسيا في زيادة امتصاص الزيت، حيث إن الأحماض الأمينية الكارهة للماء تساعد على تثبيت الزيت داخل البنية البروتينية للدقيق، وتتفق هذه النتائج مع ما ذكره [12] من أن قدرة الدقيق على امتصاص الزيت تعتمد بصورة كبيرة على طبيعة البروتينات والمكونات غير القطبية الموجودة في المادة الغذائية، كما أشار [13] إلى أن التفاعلات بين الدهون والبروتينات تؤثر بصورة مباشرة في الخصائص الوظيفية للمواد الغذائية، وخاصة في الأنظمة المستحلبة والغنية بالدهون.

قد يعود انخفاض قدرة دقيق الذرة الرفيعة على الارتباط بالزيت إلى انخفاض محتواه من الجلوتين مقارنة بالقمح الكامل، إضافة إلى اختلاف تركيب البروتين والأحماض الأمينية بين النوعين، كما قد يكون لاختلاف طرق الطحن ودرجة النعومة دور في اختلاف النتائج مقارنة ببعض الدراسات السابقة.

تبرز الأهمية التطبيقية لهذه النتائج في إمكانية استخدام دقيق القمح الكامل أو خلطاته في المنتجات التي تتطلب احتفاظًا أكبر بالدهون وتحسينا في القوام والطراوة والنكهة، مثل بعض المخبوزات والمنتجات نصف الجافة.

3.3 القدرة على الاستحلاب لدقيق الذرة الرفيعة والقمح الكامل

بينت النتائج أن دقيق الذرة الرفيعة سجل قدرة أعلى على الاستحلاب (2.432±0.066) مقارنة بدقيق القمح الكامل (2.308±0.06) حيث يظهر وجود فروق معنوية بين العينتين، وقد يعزى ذلك إلى احتواء دقيق الذرة الرفيعة على بروتينات ومركبات نشطة سطحيا تمتلك القدرة على التمركز عند السطح الفاصل بين الماء والزيت، مما يؤدي إلى خفض التوتر السطحي وتحسين ثبات المستحلب، كما أن بعض مكونات الألياف القابلة للذوبان قد تسهم في تكوين أغشية أكثر استقرارا حول قطرات الزيت.

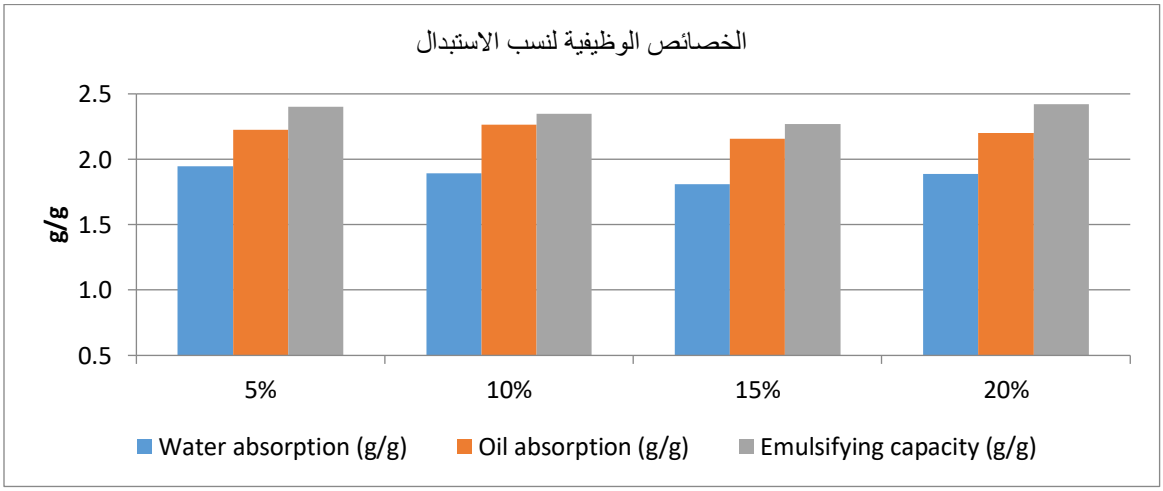
تتفق هذه النتائج مع ما أوضحه [15] من أن كفاءة الاستحلاب ترتبط بقدرة البروتينات على تكوين طبقة واقية حول قطرات الزيت ومنع اندماجها، كما أشار [13] إلى أن التركيب البنائي للبروتين يؤثر بصورة مباشرة في استقرار المستحلبات الغذائية.

النتائج الحالية قد تختلف عن بعض الدراسات الأخرى نتيجة اختلاف نوع الذرة الرفيعة المستخدمة أو اختلاف المعالجة الحرارية والطحن، حيث تؤثر هذه العوامل في ذوبانية البروتين وكفاءته الاستحلابية، وتشير هذه النتائج إلى إمكانية الاستفادة من دقيق الذرة الرفيعة في المنتجات الغذائية التي تعتمد على الاستحلاب، مثل بعض أنواع المخبوزات والصلصات والمنتجات الغذائية المركبة.

الجدول (2) الخواص الوظيفية لعينات دقيق الذرة الرفيعة المستبدل جزيئا بدقيق القمح الكامل

العينة / الخصائص الوظيفية (جم/جم)	عينات خلط الذرة الرفيعة مع القمح الكامل			
	%5	%10	%15	%20
القدرة على الارتباط بالماء	0.059^{a}±1.946	0.051^{a}±1.893	0.214^{a}±1.807	0.052^{a}±1.888
القدرة على الارتباط بالزيت	0.121^{a}±2.226	0.014^{a}±2.264	0.149^{a}±2.156	0.105^{a}±2.201
القدرة على الارتباط بالمستحلب	0.083^{a}±2.404	0.057^{ab}±2.349	0.039^{b}±2.270	0.067^{a}±2.420

القيم المبينة في الجدول= المتوسط الحسابي±الانحراف المعياري لأربع مكررات، القيم التي تحمل نفس الحروف ليس بينها اختلاف معنوي عند مستوي معنوية 0.05.



شكل (2) يوضح الخصائص الوظيفية لنسب الاستبدال المختلفة

4.3 تأثير الاستبدال الجزئي بدقيق الذرة الرفيعة على الارتباط بالماء لدقيق القمح الكامل

أظهرت النتائج أن نسبة الاستبدال 5% سجلت أعلى قدرة على الارتباط بالماء (0.059±1.946)، ثم الدقيق المستبدل 10% (0.051±1.893)، ويليه الدقيق المستبدل 20% (0.052±1.888)، في حين سجلت نسبة 15% أقل قيمة (0.214±1.807)، دون وجود فروق معنوية بين المعاملات المختلفة، وقد يعزى تحسن القدرة على الارتباط بالماء عند

نسب الاستبدال المنخفضة إلى مساهمة الألياف الغذائية والمركبات المحبة للماء الموجودة في دقيق الذرة الرفيعة في تعزيز احتفاظ الدقيق المركب بالرطوبة، بينما قد يكون الانخفاض النسبي عند زيادة نسبة الاستبدال مرتبطا بتخفيف بروتينات الجلوتين المسؤولة عن تكوين الشبكة البروتينية القادرة على الاحتفاظ بالماء.

تتفق هذه النتائج مع ما ذكره [11] من أن امتصاص الماء يتأثر بدرجة كبيرة بتركيب البروتين ومحتوى الألياف والخصائص البنيوية للنشا، كما تتوافق مع الدراسات التي أشارت إلى أن الاستبدال الجزئي بدقيق الحبوب غير المحتوية على الجلوتين قد يؤدي إلى تغيرات طفيفة في امتصاص الماء دون التأثير السلبي الكبير على جودة الدقيق.

قد ترجع الاختلافات بين النتائج الحالية وبعض الدراسات الأخرى إلى اختلاف نسب الاستبدال أو اختلاف نوع القمح والذرة الرفيعة المستخدمة، إضافة إلى اختلاف الظروف التجريبية.

تشير هذه النتائج إلى أن استخدام دقيق الذرة الرفيعة حتى نسبة 20% يمكن أن يحافظ على الخصائص الوظيفية المتعلقة بالماء، وهو ما يدعم إمكانية استخدامه في إنتاج مخبوزات ذات قيمة غذائية أعلى دون تأثير سلبي واضح على جودة العجين.

5.3 تأثير الاستبدال الجزئي بدقيق الذرة الرفيعة على الارتباط بالزيت لدقيق القمح الكامل

أوضحت النتائج أن أعلى قدرة على الارتباط بالزيت سجلت عند نسبة الاستبدال 10% (2.264±0.014)، ثم الدقيق المستبدل 5% (2.226±0.121)، ثم الدقيق المستبدل 20% (2.201±0.105)، بينما سجل الدقيق المستبدل 15% أقل نسبة (2.156±0.149)، دون تسجيل فروق معنوية بين المعاملات المختلفة، وقد يفسر ذلك بأن نسب الاستبدال المعتدلة قد تؤدي إلى تحسين التوازن بين البروتينات والكربوهيدرات داخل الدقيق المركب، مما يعزز قدرة النظام الغذائي على احتجاز الزيت، بينما قد يؤدي ارتفاع نسبة الاستبدال إلى انخفاض تركيز بروتينات القمح المسؤولة عن تكوين البنية القادرة على امتصاص الدهون.

تتفق هذه النتائج مع ما ذكره [12] من أن قدرة امتصاص الزيت تعتمد على طبيعة البروتينات والمجموعات غير القطبية الموجودة في المادة الغذائية، حيث أن النتائج الحالية قد تختلف عن بعض الدراسات السابقة بسبب اختلاف التركيب الكيميائي لدقيق الذرة الرفيعة أو اختلاف طرق الطحن والتحضير المؤثرة بصورة مباشرة في الخصائص الوظيفية للدقيق.

تكمن الأهمية التطبيقية لهذه النتائج في إمكانية استخدام نسب الاستبدال المعتدلة، خاصة 10%، في تحسين القوام والنكهة والاحتفاظ بالدهون في بعض المنتجات المخبوزة والغذائية.

6.3 تأثير الاستبدال الجزئي بدقيق الذرة الرفيعة على الارتباط بالمستحلب لدقيق القمح الكامل

أظهرت النتائج أن نسبة الاستبدال 20% سجلت أعلى قدرة على الاستحلاب (2.420±0.067)، ثم الدقيق المستبدل 5% (2.404±0.083)، ثم الدقيق المستبدل 10% (2.349±0.057)، بينما سجل الدقيق المستبدل 15% أقل نسبة (2.270±0.039)، حيث أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين المعاملات المختلفة عند مستوي معنوية 0.05، وجدت فروق معنوية بين نسبة 5% ونسبة 15%، وكذلك بين 15% و20%، في حين لم تظهر فروق معنوية بين النسب الأخرى.

قد يعزى ذلك إلى زيادة مساهمة البروتينات والمركبات النشطة سطحيا الموجودة في دقيق الذرة الرفيعة، التي تساعد على تحسين ثبات المستحلب، وتقليل انفصال الزيت عن الماء، كما أن زيادة الألياف القابلة للذوبان قد تسهم في رفع لزوجة الوسط وتحسين استقرار النظام المستحلب.

تتفق هذه النتائج مع ما ذكره [15] من أن الخصائص الاستحلابية تعتمد بصورة أساسية على طبيعة البروتين وقدرته على تكوين طبقة مستقرة حول قطرات الزيت، كما تتوافق مع ما أشار إليه [13] بشأن دور البروتينات في تحسين استقرار المستحلبات الغذائية.

قد تعود الاختلافات بين النتائج الحالية وبعض الدراسات السابقة إلى اختلاف التركيب الكيميائي للذرة الرفيعة أو اختلاف المعاملات التكنولوجية المستخدمة أثناء الطحن والتحضير، وتشير هذه النتائج إلى إمكانية استخدام نسب مرتفعة نسبيا من دقيق الذرة الرفيعة لتحسين الخصائص الوظيفية المتعلقة بالاستحلاب، مما يفتح المجال لاستخدامه في تطوير منتجات غذائية ذات ثبات واستقرار أفضل.

4. الاستنتاجات (Conclusions)

1. أظهرت النتائج أن لدقيق الذرة الرفيعة خصائص وظيفية مميزة من حيث القدرة على الارتباط بالماء والاستحلاب مقارنة بدقيق القمح الكامل، مما يشير إلى إمكانية استخدامه كمكون وظيفي لتحسين بعض الخواص في المنتجات المخبوزة.
2. تفوق دقيق القمح الكامل في خاصية الارتباط بالزيت، يدل على احتوائه على مكونات بروتينية ودهنية تساعد على امتصاص الزيت بشكل أكبر.
3. لم يتم تسجيل فروق معنوية في خاصية الارتباط بالماء بين نسب الاستبدال المختلفة، مما يوضح أن إضافة دقيق الذرة الرفيعة حتى نسبة 20% لا تؤثر سلبا على قدرة الدقيق المركب على الاحتفاظ بالماء.
4. سجلت نسبة الاستبدال 10% أفضل أداء في خاصية الارتباط بالزيت، مما يجعلها نسبة مناسبة لتطوير منتجات ذات قوام مستقر وكفاءة وظيفية عالية.
5. أظهرت خاصية الارتباط بالمستحلب استجابة معنوية واضحة للاستبدال، حيث كانت نسبة 20% الأعلى، مما يعكس إمكانية استخدام هذه النسبة لتحسين الثبات في الأنظمة الغذائية المستحلبة.
6. تشير النتائج مجتمعة إلى أن نسب الإحلال حتى 20% تعد مناسبة من الناحية التقنية، دون التأثير السلبي في الخصائص الوظيفية، مع تحسين القيمة الغذائية المحتملة للدقيق.

5. قائمة المراجع

1. FAO. (2019). The State of Food Security and Nutrition in the World.
2. Slavin, J. L., & Lloyd, B. (2012). Health benefits of fruits and vegetables. Advances in nutrition, 3(4), 506-516.
3. Espitia-Hernández, P., Chavez Gonzalez, M. L., Ascacio-Valdés, J. A., Dávila-Medina, D., Flores-Naveda, A., Silva, T., & Sepúlveda, L. (2022). Sorghum (Sorghum bicolor L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(8), 2269-2280.
4. Hadebe, S. T., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2017). Drought tolerance and water use of cereal crops: A focus on sorghum as a food security crop in sub-Saharan Africa. Journal of Agronomy and Crop Science, 203(3), 177-191.
5. Xiong, Y., Zhang, P., Warner, R. D., & Fang, Z. (2019). Sorghum grain: From genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(6), 2025-2046.
6. Tebben, L., Shen, Y., & Li, Y. (2018). Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. Trends in Food Science & Technology, 81, 10-24.

7. Zhu, Y., & Sang, S. (2017). Phytochemicals in whole grain wheat and their health-promoting effects. Molecular nutrition & food research, 61(7), 1600852.
8. Mann, K. D., Hopkins, S., Foster, J., & Seal, C. J. (2018). Investigating the impact of replacing refined grain foods with whole-grain foods on fibre intake in the UK. Proceedings of the Nutrition Society, 77(OCE4), E134.
9. Awuchi, C. G. (2017). Sugar alcohols: chemistry, production, health concerns and nutritional importance of mannitol, sorbitol, xylitol, and erythritol. International Journal of Advanced Academic Research. (Sciences, Technology & Engineering), 3(2), 31–66.
10. Awuchi, C. G., & Echeta, K. C. (2019). Current developments in sugar alcohols: Chemistry, nutrition, and health concerns of sorbitol, xylitol, glycerol, arabitol, inositol, maltitol, and lactitol. Int J Adv Acad Res, 5(11), 1-33.
11. Zghal, M. C., Scanlon, M. G., & Sapirstein, H. D. (2001). Effects of flour strength, baking absorption, and processing conditions on the structure and mechanical properties of bread crumb. Cereal Chemistry, 78(1), 1-7.
12. Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., & Tananuwong, K. (2008). Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. Food chemistry, 110(1), 23-30.
13. McClements, D. J. (2004). Food emulsions: principles, practices, and techniques. CRC press.
14. Abd Elmoneim, O. E., Bernhardt, R., Cardone, G., Marti, A., Iametti, S., and Marengo M. 2017. Physicochemical properties of sorghum flour are selectively modified by combined germination-fermentation. Journal of food science and technology, 54(10), 3307-3313.
15. Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T., & Ishii, K. (1972). Whipping and emulsifying properties of soybean products. Agricultural and Biological Chemistry, 36(5), 719-727.