تأثير عملية الطحن في الخصائص الفيزيوكيميائية والريولوجية لأنواع الدقيق الناتج عن القمح السوري ومحتواها من العناصر المعدنية الصغرى

محمد فادي حبيبه* **عبد الحكيم عزيزية****

جهاد سمعان***

الملخص

أُجري هذا البحث في مخبر الحبوب المركزي، وزارة التجارة الداخلية، ومخابر قسم علوم التربة، كلية الزراعة، جامعة دمشق، بهدف تقييم تأثير عملية الطحن لأنواع حبوب القمح المحلي في الخصائص الفيزيوكيميائية والريولوجية لأنواع الدقيق الناتج ومحتواها من العناصر المعدنية الصغرى. تمَّ اختيار صنف من كل نوع قمح محلي (القمح القاسي والقمح الطري)، طُحِّنت الحبوب لإنتاج ثلاثة أنواع من الدقيق بنسب استخراج مختلفة (72%، 80% و100%)، وحُلِّلت خصائص الدقيق الفيزيوكيميائية والريولوجية حسب الطرائق المعتمدة في AACC، وقدِّر محتوى العناصر الصغرى باستخدام تقانة الامتصاص الذري. أظهر تحليل الخصائص الفيزيوكيميائية للدقيق وجود فروقات معنوية بين أنواع الدقيق لكل نوع قمح، وبين أنواع القمح. أدى رفع نسبة استخراج الدقيق إلى زيادة معنوية في درجة لون الدقيق، النسبة المئوية للرماد وخصائص البروتينات الكمية، على النقيض من ذلك، انخفضت قيم دليل الغلوتين. من جهةٍ أخرى، ازدادت امتصاصية الدقيق للماء، زمن تطور العجينة ودرجة ضعف العجينة، وانخفض زمن ثباتية العجينة والرقم الفالوريمتري مع رفع

* طالب دكتوراه في قسم علوم الأغذية – كلية الزراعة– جامعة دمشق.

** أستاذ في قسم علوم الأغذية – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

*** أستاذ مساعد في قسم علوم الأغذية – كلية الزراعة – جامعة دمشق.

نسبة استخراج الدقيق، وكما لوحظ انخفاض القدرة، مقاومة الشد، المقاومة العظمى للشد ومطاطية العجينة وازدادت مرونة العجينة مع رفع نسبة استخراج الدقيق. أظهرت هذه الدراسة أن انخفاض معدل استخراج القمح يقلل معنوياً من محتوى العناصر المعدنية الصغرى في الدقيق الناتج، وتتغير قيمة الانخفاض تبعاً لنسبة استخراج الدقيق ونوع المعدن، حيث انخفض تركيز العناصر المعدنية الصغرى في الدقيق الموحد بنسبة (42.84% و41.66%) للكوبالت، (41.21% و40.51%) للمنغنيز، (35.12% و37.10%) للزنك، (22.16% و21.64%) للنحاس و(16.55% و18.42%) للحديد، وفي دقيق الزيرو بنسبة (82.44% و81.10%) للمنغنيز، (77.26% و71.32%) للكوبالت، (66.05% و67.22%) للزنك، (43.10% و41.44%) للنحاس و(30.65% و31.25%) للحديد للقمح القاسي والقمح الطري على التوالي.

الكلمات المفتاحية: الخصائص الفيزيوكيميائية، الخصائص الريولوجية، العناصر المعدنية الصغرى.

Milling process effect on the physiochemical and rheological properties of flour types resulting from Syrian wheat and their microminerals concentration

M. F. Habibah[*] **A. Azizieh**[**]

J. Samaan[***]

Abstract

This research was conducted at the Central Grain Laboratory, the Ministry of Internal Trade, and the laboratories of the Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Damascus, with the aim of evaluating the milling process effect of local wheat types on the physiochemical and rheological properties of the resulting flour types and their microminerals content. A variety of each type of local wheat (durum wheat and soft wheat) was selected, the grains were milled to produce three types of flour with different extraction rates (72%, 80% and 100%), and the physiochemical and rheological properties of the flour were analyzed according to the AACC approved methods, and micronutrient contents were estimated using atomic absorption technology. The physiochemical properties analysis of flour showed significant differences between the types of flour for each type of wheat, and between the types of wheat. Raising the flour extraction rate significantly increased the flour color degree, ash content and quantitative protein properties, in contrast, the gluten index values decreased. On the

[*] PhD student, Food Science Department, Faculty of Agriculture, Damascus University.

[**] Prof., Food Science Department, Faculty of Agriculture, Damascus University.

[***] Prof Assistant, Food Science Department, Faculty of Agriculture, Damascus University.

other hand, flour water absorption, dough development time and dough weakness degree increased, and dough stability time and the valoremetric number decreased with the increase in the flour extraction rate, and it was noted decreases in the area, dough resistance to extension, maximum dough resistance to extension and dough elasticity, and the dough extensibility increased with the increase in the flour extraction rate. This study showed that a decrease in extraction rate significantly reduced the of micromineral contents in the resulting flour, and the value of the decrease changed according to flour extraction rate and the mineral type, as the concentration of micromineral in standard flour decreased by (42.84% and 41.66%) for cobalt, (41.21% and 40.51%) for manganese, (35.12% and 37.10%) for zinc, (22.16% and 21.64%) for copper and (16.55% and 18.42%) for iron, and in high quality flour by (82.44% and 81.10%) for manganese, (77.26% and 71.32%) for cobalt, (66.05% and 67.22%) for zinc, (43.10% and 41.44%) for copper and (30.65% and 31.25%) for iron for durum and soft wheat respectively.

Keywords: Physiochemical properties, reheological properties, micromineral.

المقدمة:

يُعد القمح من الحبوب الرائدة المنتجة في العالم، ويستخدم منه (67%) للغذاء، (20%) للأعلاف و(7%) للبذور، ويحتوي القمح الرباعي (القمح القاسي) على نسبة بروتين بين (12–16%) أكثر من القمح السداسي (الطري) والتي تتراوح بين (8–10%) (USDA/NASS، 2001). يتم إنتاج دقيق القمح عن طريق الجمع بين عمليات الطحن والغربلة، حيث إن العديد من أنواع القمح والعديد من إجراءات المعالجة ضرورية لإنتاج دقيق قمح تجاري للاستخدامات المختلفة (Tang وزملاؤه، 2000). تختلف أجزاء حبة القمح، النخالة والجنين والإندوسبيرم، في درجة الصلابة النسبية، مما يعطي أنماط تكسير مختلفة أثناء عملية الطحن، يتم زيادة هذه الاختلافات بإضافة الماء إلى القمح قبل الطحن، في عملية تعرف باسم التكييف أو التخمير (Sugden، 2001). أثناء عملية الطحن، يُخفض حجم الحبوب وتتفتت النخالة والجنين والإندوسبيرم، ونتيجة لذلك، يتلف النشاء أيضاً، ويمكن أن تؤثر هذه التغييرات في جودة الدقيق الناتج، بما في ذلك قدرته على امتصاص الماء والخصائص الريولوجية للعجين (Drakos وزملاؤه، 2017؛ Inamdar وPrabhasankar، 2017؛ Liu وزملاؤه، 2016؛ Patwa وزملاؤه، 2014؛ Zhu وزملاؤه، 2015). يتم تعديل العديد من جوانب جودة دقيق القمح عن طريق طريقة الطحن، بالإضافة إلى ذلك، من المعروف أن نوع وصنف القمح يؤثر في خصائص الدقيق الناتج (Prabhasankar وRao، 2001؛ Liu وزملاؤه، 2015؛ Kang وزملاؤه، 2019)، كما ذكر Jones (1990) أنه أثناء عمليات الطحن، يحدث تلف النشاء ولكنه يعتمد أيضاً على صلابة حبوب القمح، والتي تحدد القوى بين الجزيئات، ويختلف محتوى البروتين في الدقيق أيضاً باختلاف نوع القمح (صلب أو متوسط أو طري)، والذي يرتبط بالاختلافات في تكوين شبكة الغلوتين وخصائص العجين، وهذه الجوانب المختلفة لأصناف القمح سوف تتأثر أيضاً بطريقة الطحن.

تعرَّف عملية الطحن بأنها فعل أو عملية الجرش، وخاصة طحن الحبوب إلى دقيق (Bender، 2006)، وهي خطوة مهمة وسيطة في مرحلة ما بعد إنتاج الحبوب، والهدف الأساسي لعملية الطحن هو إزالة القشور وأحياناً طبقات النخالة، وإنتاج جزءً صالحاً للأكل خالٍ من الشوائب وعلى شكل مسحوق بحجم جزيئات متفاوتة. من الناحية الهيكلية، تتكون جميع الحبوب من الإندوسبيرم والجنين والنخالة، يشكل الإندوسبيرم أكثر من 80% من الحبوب الكاملة، بينما تختلف النسب المئوية لمكونات الجنين والنخالة باختلاف الحبوب (Campbell وزملاؤه، 2007). يمكن أن تكون عملية الطحن من نوعين، النوع الأول ويتم فيه تحويل الحبوب الكاملة إلى دقيق دون استخراج أي أجزاء، والنوع الثاني تخضع فيه للطحن التفاضلي لفصل الحبوب إلى أجزاء مختلفة، على سبيل المثال، يمكن طحن القمح كدقيق قمح كامل أو الخضوع لطحن أسطواني لإنتاج منتجات متعددة مثل دقيق القمح المكرر، النخالة، الجنين، السميد، إلخ (Posner وHibbs، 1997). لاتتوزع المغذيات والمغذيات النباتية بالتساوي في جميع أجزاء الحبوب، حيث يكون تركيز معظم العناصر الغذائية أعلى في الجزء الخارجي من الحبوب، لذلك ينتج عن الطحن التفاضلي أو التنقية انخفاض في محتوى العناصر الغذائية باستثناء النشاء (Slavin، 1999). يمكن أن تنتج درجة الطحن والتكرير دقيقاً ناعماً للغاية يحتوي على كمية مختلفة من العناصر الغذائية مقارنةً بمصادره الأصلية، وعادةً ما تكون الطبقة الخارجية من الحبوب غنية بمضادات التغذية (Antinutrients) التي يمكن تقليلها عن طريق إزالة القشرة (Oghbaei وPrakash، 2016). يتمثل الاختلاف الرئيسي في التركيب بين الحبوب الكاملة وشكلها المطحون في تقليل جميع العناصر الغذائية المخزنة في الطبقة الخارجية والألياف الغذائية والمكونات المرتبطة بالألياف بما في ذلك حمض الفيتيك والتانين والفينولات المتعددة وبعض مثبطات الإنزيم مثل مثبط التربسين، والمعادن وبعض الفيتامينات (Garcia-Estepa وزملاؤه، 1999). بينت معظم الدراسات أن خفض مركبات الفيتات والتانين والفينول في الدقيق أدى

إلى تحسين توافر المعادن وهضم البروتين والكربوهيدرات (Ramberg وMcAnalley، 2002)، ومع ذلك، فإن هذه المكونات تظهر أيضاً خصائص قوية كمضادة للأكسدة قد توقف نشاط الجذور الحرة وتقلل الإجهاد التأكسدي في جسم الإنسان (Harland وMorris، 1995). يخضع كل القمح المزروع في العالم للطحن ويستخدم لإنتاج العديد من الأغذية الأساسية، وخاصة أنواع الخبز المختلفة (Edwards، 2007). تختلف التركيبة الغذائية لدقيق القمح الكامل والمكرر بشكل ملحوظ، تشير الدراسات إلى أنه من خلال عملية التكرير، تتم إزالة معظم النخالة والجنين، مما يؤدي إلى فقدان الألياف الغذائية والفيتامينات والمعادن والمركبات الفينولية وحمض الفيتيك (Fardet،2010؛ Truswell، 2002)، حيث توجد معظم الفيتامينات والمعادن (44.45%) في جزء الجنين والنخالة من الحبوب، بينما يحتوي الدقيق المكرر على نسبة نشاء أعلى من الحبوب الكاملة (Barron وزملاؤه، 2007؛ Atwell، 2001). عندما يتم طحن القمح إلى دقيق، يحدث خسارة تقريبية بنسبة 70% من الفيتامينات والمعادن والألياف (تتراوح من 25–90%)، و25% فقد في البروتين، و90% من المنغنيز، و85% فقدان الزنك وحمض اللينوليك، و80% فقد من المغنيزيوم والبوتاسيوم والنحاس وفيتامين B6 (Oghbaei وPrakash، 2012). بيَّن Cubadda وزملاؤه (2009) وجود درجات مختلفة من فقدان المعادن عند طحن حبوب القمح القاسي إلى سميد لصناعة المعكرونة، حيث تمَّ تمييز ستة مجموعات على الأقل من العناصر على أساس انخفاض تركيزها عند الطحن، كان للسيلينيوم أعلى احتباس بتركيزات في السميد تساوي (77–85%) من تلك الموجودة في الحبوب (أساس الوزن الجاف)، يليه الكالسيوم (54–60%)، والنحاس (49–53%)، والبوتاسيوم والفوسفور (42–47%) والحديد (36–38%) والمغنيزيوم والزنك (32–36%).

تحتل الأغذية المُصنعة من القمح أهمية كبيرة في تغذية الإنسان، ويعتمد المحتوى المعدني في الحبوب على العوامل الوراثية والبيئية (نوع القمح، الصنف، نوع التربة، الموقع الجغرافي لمنطقة الزراعة، وغيرها)، وبالتالي، من الصعب تقدير النسبة المئوية للاحتياجات اليومية من المغذيات الدقيقة التي يمكن تغطيتها بواسطة منتجات القمح. وبشكلٍ عام، تخضع حبوب القمح لأنواع مختلفة من المعاملات الأولية ليتم استخدامها في تصنيع المنتجات المختلفة، ولكن تؤدي هذه المعاملات إلى تغيير في جودة الحبوب، إذ أن توزيع المغذيات والمركبات الكيميائية في حبوب القمح غير متجانس، ويتم أثناء الطحن فصل الطبقات الخارجية من الحبوب التي تعتبر مصدراً غنياً جداً بالعناصر الغذائية باستثناء النشاء، ويؤدي فصل النخالة إلى تقليل العناصر الغذائية ولكنه يحسن قابلية الهضم. بناءً على ما سبق، هدف هذا البحث إلى دراسة تأثير عملية طحن حبوب أنواع القمح المحلي إلى دقيق بنسب استخراج مختلفة في الخصائص الفيزيوكيميائية والريولوجية للدقيق الناتج ومحتواه من العناصر المعدنية الصغرى.

مواد البحث وطرائقه:

1- جمع العينات وتحضيرها:

تم اختيار صنف القمح الطري السوري (*Triticum aestivum*) دوما6، وصنف القمح القاسي السوري (*Triticum durum*) دوما3، والمزروعة في حقل قرحتا التابع للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية. نظفت عينة القمح من الشوائب والأجرام باستخدام منخلين الأول قطر فتحاته 2×20 مم والثاني قطر فتحاته 1×20 مم. رُطِّبت حبوب صنف القمح الطري إلى درجة رطوبة 15.5% لمدة 10 ساعة، وحبوب صنف القمح القاسي إلى درجة رطوبة 16.5% لمدة 36 ساعة، بدرجة حرارة الغرفة 19 مْ ورطوبة نسبية 70%، حيث حسبت كمية الماء المضاف حسب طريقة AACC رقم 95-26 (AACC، 2000). طُحِّنت

الحبوب النظيفة والمكيفة باستخدام مطحنة Brabender حسب AACC رقم 26–50 (AACC، 2000) لإنتاج ثلاثة أنواع من الدقيق، الدقيق عالي الجودة (دقيق الزيرو) بنسبة استخراج 72%، والدقيق القياسي (الدقيق التمويني الموحد) بنسبة استخراج 80%، ودقيق القمح الكامل (Graham flour) بنسبة استخراج 100%.

2- الاختبارات الفيزيوكيميائية للدقيق:

1- النسبة المئوية للرطوبة: حسب AACC رقم 44–15A (AACC، 2000).

2- النسبة المئوية للرماد: حسب AACC رقم 08–01 (AACC، 2000)، وعبر عنها كنسبة مئوية من الوزن الجاف.

3- النسبة المئوية للبروتينات: حسب AACC رقم 46–10 (AACC، 2000)، ثم حسب البروتين الكلي باستخدام معامل التحويل N×5.7، وحولت النسبة المئوية للبروتين الرطب إلى الوزن الجاف.

4- اختبار كمية ونوعية الغلوتين: تمَّ تقدير النسبة المئوية للغلوتين الرطب والجاف ودليل الغلوتين حسب AACC رقم 38–12A (AACC، 2000) باستخدام غسالة الغلوتين (Perten Glutomatic 2200 Chambers)، وفيها تغسل عينة الدقيق من النشاء والبروتينات الذوابة بواسطة محلول كلور الصوديوم، ومن ثم تثقل كتلة البروتين المتبقية، ويجمع جزء الغلوتين المتبقي فوق المنخل ويوزن، ثم يحسب دليل الغلوتين من المعادلة:

دليل الغلوتين = (وزن الغلوتين المتبقي فوق المنخل/وزن الغلوتين الكلي) × 100

5- درجة اللون: قِيس اللون باستخدام جهاز Satake Colour Grader PCGA Series 4 حسب الطريقة المتبعة في (Wang وزملاؤه، 2016).

3- الإختبارات الريولوجية للدقيق:

1- اختبار الفارينوغراف: AACC رقم 21-54 (AACC، 2000).

2- اختبار الإكستنسوغراف: AACC رقم 10-54 (AACC، 2000).

4- تقدير العناصر المعدنية الصغرى في الدقيق:

تمَّ تقدير العناصر المعدنية الصغرى (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت) في أنواع دقيق القمح باستخدام تقانة الامتصاص الذري (Atomic Absorption Spectroscopy) حسب الطريقة المُتبعة في (AOAC، 2000) بجهاز الامتصاص الذري (نوع Varian، استرالي الصنع، موديل AA880 Spectra)، بوحدة اللهب (استلين-هواء) وبالطريقة الامتصاصية الضوئية (AAS)، يُضاف إلى ذلك وجود مرمدة وساحبة زجاجية عاملة بصورة جيدة ومحاليل معيارية للعناصر المراد الكشف عنها.

5- التحليل الإحصائي:

أُجريت جميع الاختبارات بثلاثة مكررات وسجلت النتائج كمتوسطات ± الانحراف المعياري. أجري اختبار تحليل التباين ANOVA ثم تبع باختبار Tukey لتحديد الفروق المعنوية بين المتوسطات على مستوى ثقة ($p \leq 0.05$) باستخدام البرنامج الاحصائي Minitab 14.

النتائج والمناقشة:

1- الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق القمح المدروسة:

من خلال الكشف عن الخصائص الفيزيائية والكيميائية لدقيق القمح يمكن استخدامها كدليل إرشادي على جودته والمنتجات اللاحقة منه، حيث إنَّ محتوى بعض المكونات، مثل البروتينات، والرماد، وما إلى ذلك مهم في المنتجات الغذائية، سواء كانت موجودة في المواد الخام أو في المنتجات النهائية. ونظراً لأن القمح هو أيضاً مادة خام غذائية مهمة جداً، والدقيق كمنتج نهائي للطحن، فمن المهم معرفة الخصائص الفيزيائية والكيميائية المحددة.

ترجع أهمية معرفة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للقمح والدقيق إلى تحديد جودة ونوع الدقيق الذي يتم إنتاجه بعد عملية الطحن (Salkić وزملاؤه، 2009). وتبعاً لذلك، تمَّ تحليل الخصائص الفيزيوكيميائية للدقيق عالي الجودة (استخراج 72%) والدقيق الموحد (استخراج 80%) ودقيق القمح الكامل (استخراج 100%) لصنف القمح القاسي (الجدول 1) وصنف القمح الطري (الجدول 2). أهم ما يميز نتائج التحليل وجود فروقات معنوية على مستوى ثقة ($P\leq0.05$) بين أنواع الدقيق (زيرو، موحد ودقيق كامل) بالإضافة إلى فروقات معنوية بين أنواع القمح (قاسي وطري) في جميع المؤشرات الفيزيوكيميائية المدروسة. على الرغم من أن مؤشر الرطوبة لم يختلف معنوياً بين أنواع الدقيق لكل نوع قمح، لكنه قد أبدى ارتفاعاً معنوياً في أنواع الدقيق الناتج عن طحن القمح القاسي (15.15–15.22%) مقارنةً مع مثلاتها الناتجة عن طحن القمح الطري (13.90–14.01%)، ويعود ذلك وبالدرجة الأولى إلى اختلاف عملية التكييف قبل الطحن لنوعي القمح، حيث تتأثر كمية الماء المضاف وفترة التكييف بعدة عوامل منها درجة صلابة الحبوب (Manley وزملاؤه، 2011)، بالإضافة إلى ذلك، يعد تحديد المحتوى الرطوبي كخطوة أولى أساسية في تحليل جودة القمح أو الدقيق نظراً لاستخدام هذه البيانات في الاختبارات الأخرى، حيث تقوم مطاحن الدقيق بضبط الرطوبة في القمح إلى المستوى القياسي قبل الطحن، ويستخدم عادةً المحتوى الرطوبي 14% كعامل تحويل للاختبارات الأخرى التي تتأثر النتائج فيها بمحتوى الرطوبة. أظهرت نتائج تحليل الرماد الارتباط الايجابي بين نسبة استخراج الدقيق ونسبة الرماد من جهة، وبين نسبة الرماد ونوع القمح من جهة أخرى، فقد إرتفعت النسبة المئوية للرماد على أساس الوزن الجاف مع رفع نسبة استخراج الدقيق، وكما تميزت أنواع الدقيق الناتجة عن طحن القمح القاسي بنسب رماد (0.64، 0.92 و1.54%) أعلى معنوياً من الأنواع الناتجة عن طحن القمح الطري (0.42، 0.60 و0.96%) للدقيق الزيرو، الدقيق الموحد ودقيق القمح الكامل على التوالي، وقد توافقت هذه النتائج مع أبحاث سابقة في هذا المجال (Sakhare

وInamdar، 2014؛ Morris وزملاؤه، 2009)، التي أشارت إلى أنَّ محتوى الرماد في القمح والدقيق له أهمية في عملية الطحن، حيث يحتاج القائمون على عملية الطحن إلى معرفة المحتوى المعدني الكلي للقمح لتحقيق مستويات الرماد المطلوبة أو المحددة في الدقيق، ونظراً لأن الرماد يتركز بشكل أساسي في النخالة، فإن محتوى الرماد في الدقيق هو مؤشر على المردود الذي يمكن توقعه أثناء الطحن. كما يشير محتوى الرماد أيضاً إلى أداء الطحن من خلال الكشف غير المباشر عن كمية تلوث الدقيق بالنخالة، ويمكن أن يؤثر الرماد الموجود في الدقيق في اللون، مما يضفي لوناً أغمق على المنتجات النهائية، فقد تتطلب بعض المنتجات دقيقاً أبيض بشكل خاص ومحتوى منخفضاً من الرماد، بينما تحتوي المنتجات الأخرى، مثل دقيق القمح الكامل، على نسبة عالية من الرماد (Azizi وزملاؤه، 2006). وقد كانت نتائج الرماد متوافقة مع نتائج قياس درجة اللون، حيث تراوحت بين (1.25–5.44 درجة) لأنواع دقيق القمح القاسي، وبين (0.55–2.62 درجة) لأنواع دقيق القمح الطري، مع وجود فروقات معنوية بين أنواع الدقيق والقمح، وتوافقت هذه النتائج مع دراسات سابقة بينت أنَّ الدقيق الناتج عن طحن القمح القاسي ذو لون أغمق من الدقيق الناتج عن طحن القمح الطري، ويعود ذلك للعوامل الوراثية المتعلقة بإرتفاع كمية الأصبغة في القمح القاسي (Ramirez-Wong وزملاؤه، 2007؛ Marie وزملاؤه، 2015). أظهر قياس خصائص البروتينات الكمية (النسبة المئوية للبروتينات الكلية، النسبة المئوية للغلوتين الرطب والنسبة المئوية للغلوتين الجاف) اتجاه ثابت لأنواع الدقيق المدروسة، فقد ازدادت المؤشرات معنوياً مع رفع نسبة استخراج الدقيق، كما أبدت أنواع الدقيق المنتجة من القمح القاسي قيماً أعلى معنوياً من مثيلاتها الناتجة عن القمح الطري، حيث تراوحت النسبة المئوية للبروتينات الكلية بين (10.62–14.12% و8.81–12.10%)، والنسبة المئوية للغلوتين الرطب بين (33.40–36.81% و26.55–29.95%) والنسبة المئوية للغلوتين الجاف بين (9.25–12.20% و8.01–10.90%) لأنواع الدقيق الناتج عن طحن القمح

القاسي والقمح الطري على التوالي. أثبتت الدراسات السابقة أنَّ محتوى البروتينات في القمح يختلف بشكلٍ كبير اعتماداً على نوع وصنف القمح وظروف النمو ومدخلات الأسمدة، وخاصةً الآزوت، أي يخضع لتأثير العوامل الوراثية والبيئية (Ortolan وSteel، 2017؛ Ma، 2019). على النقيض من ذلك، انخفضت قيم دليل الغلوتين، كمؤشر على نوعية البروتينات وبالتالي قوة الدقيق، مع ارتفاع نسبة استخراج الدقيق، حيث تراوحت في أنواع دقيق القمح القاسي بين (78.45–85.30%) وفي أنواع دقيق القمح الطري بين (66.35–72.42%). تعد خصائص بروتينات الدقيق الكمية والنوعية من المؤشرات الأساسية المرتبطة بالخصائص الريولوجية للعجينة وجودة المنتجات (Jiang وزملاؤه، 2019)، تخضع نوعية البروتينات (قوة الدقيق) إلى تأثير العوامل الوراثية فقط (Mann وزملاؤه، 2009)، ويعود سبب انخفاض دليل الغلوتين لأنواع الدقيق المدروسة مع ارتفاع نسبة الاستخراج إلى ارتفاع نسبة الألياف والتي تعمل على تقطيع الشبكة الغلوتينية (Kurek وزملاؤه، 2015).

الجدول (1): الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق القمح القاسي المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
الرطوبة (%)	15.15 ± 0.24^{a}	15.21 ± 0.09^{a}	15.22 ± 0.31^{a}
الرماد (%)	0.64 ± 0.05^{a}	0.92 ± 0.11^{b}	1.54 ± 0.10^{c}
اللون (درجة)	1.25 ± 0.02^{a}	2.65 ± 0.10^{b}	5.44 ± 0.15^{c}
البروتين (%)	10.62 ± 0.20^{a}	12.55 ± 0.34^{b}	14.12 ± 0.25^{c}
الغلوتين الرطب (%)	33.40 ± 1.05^{a}	35.14 ± 0.33^{b}	36.81 ± 1.21^{c}
الغلوتين الجاف (%)	9.25 ± 0.15^{a}	$.24^{b}010.74 \pm$	12.20 ± 0.11^{c}
دليل الغلوتين (%)	85.30 ± 2.45^{a}	81.50 ± 1.61^{b}	78.45 ± 2.11^{c}

تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$

الجدول (2): الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق القمح الطري المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
الرطوبة (%)	13.95 ± 0.11^{a}	13.90 ± 0.14^{a}	14.01 ± 0.08^{a}
الرماد (%)	0.42 ± 0.01^{a}	0.60 ± 0.05^{b}	0.96 ± 0.02^{c}
اللون (درجة)	$5 \pm 0.05^{a}50.$	$0 \pm 0.12^{b}90.$	$.62 \pm 0.11^{c}2$
البروتين (%)	8.81 ± 0.12^{a}	10.05 ± 0.22^{b}	12.10 ± 0.10^{c}
الغلوتين الرطب (%)	26.55 ± 0.25^{a}	28.62 ± 0.15^{b}	29.95 ± 0.66^{c}
الغلوتين الجاف (%)	8.01 ± 0.05^{a}	$.31^{b}09.28 \pm$	10.90 ± 0.25^{c}
دليل الغلوتين (%)	72.42 ± 1.05^{a}	70.22 ± 1.24^{b}	66.35 ± 1.10^{c}

تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$

2- خصائص الفارينوغراف لأنواع دقيق القمح المدروسة:

تعتبر الخصائص الريولوجية لدقيق القمح مهمة جداً في كل من عمليات العجن والتشكيل لإنتاج منتجات المخابز المختلفة، ومن خلال طرائق وأجهزة مختلفة يمكن تحديد المبادئ الأساسية التي يقوم عليها السلوك الميكانيكي للعجين، بالتزامن مع التركيب الفيزيائي للعجين، والتركيب الجزيئي لطور البروتين المستمر في العجين والتفاعلات الكيميائية للمجموعات الوظيفية (Munteanu وزملاؤه، 2016). تمثل طريقة الفارينوغراف لتقدير الخصائص الريولوجية للعجين تطور العجين تحت ظروف عجن محددة بعد وصولها إلى المرحلة القياسية عند الخط 500 BU (Munteanu وزملاؤه، 2015). بيَّن قياس الخصائص الريولوجية لأنواع الدقيق المدروسة (دقيق الزيرو، الدقيق الموحد ودقيق القمح الكامل) والناتجة عن طحن صنف القمح القاسي (الجدول3) وصنف القمح الطري (الجدول4) باستخدام جهاز الفارينوغراف وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) بين كلاً من أنواع الدقيق وأنواع القمح. ازدادت امتصاصية الدقيق للماء مع رفع نسبة استخراج الدقيق من

(61.10%و56.35%) في دقيق الزيرو إلى (64.20% و58.55%) في الدقيق الموحد، ووصلت إلى (66.45% و60.22%) في دقيق القمح الكامل لدقيق القمح القاسي ودقيق القمح الطري على التوالي، ويعود ذلك وبالدرجة الأولى إلى ارتفاع كمية النخالة في الدقيق مع رفع نسبة الاستخراج، حيث ترتفع مستويات البنتوزان الموجودة في النخالة (Sanz Penella وزملاؤه، 2008)، وقد بيَّن Sudha وزملاؤه (2007) أنَّ الاختلافات في امتصاص الماء ناتجة بشكل رئيسي عن العدد الأكبر من مجموعات الهيدروكسيل في بنية الألياف التي تسمح بالارتباط مع الماء من خلال الروابط الهيدروجينية، وبالإضافة إلى ذلك، كانت عينات دقيق القمح القاسي ذات امتصاصية أعلى للماء من عينات دقيق القمح الطري، والتي سببها ارتفاع نسبة البروتينات والنشاء المهتك في دقيق القمح القاسي (Sapirstein وزملاؤه، 2007). وبشكلٍ عام، كان امتصاص الدقيق للماء للعينات المختبرة في مجال (56.35–66.45%) والتي، وفقاً لـ Rothkaehl (2004) يمكن أنَّ تصنف بالملائمة الجيدة والجيدة جداً للخبز (في حدود 50–57% و58–60% على التوالي). كان الزمن اللازم لتطوير العجين أو الزمن اللازم للوصول إلى 500 BU أقل في الدقيق منخفض نسبة الاستخراج 72% (3.75 و3.00 دقيقة) الذي يحتوي على نخالة أقل، مقارنةً مع الدقيق 80% (4.05 و3.25 دقيقة) والدقيق 100% (4.50 و3.55 دقيقة) لدقيق القمح القاسي والطري على التوالي، بينت دراسات سابقة أنَّه كان لتركيز النخالة تأثيراً خطياً معنوياً إيجابياً في الزمن المناسب للوصول إلى أقصى قدر من العجينة المثالية (Moradi وزملاؤه، 2016؛ Laurikainen وزملاؤه، 1998)، بالإضافة إلى ذلك، تُعزى الزيادة في زمن تطوير العجينة إلى تأثير التفاعل بين الألياف والغلوتين الذي يمنع ترطيب البروتينات، مما يؤثر في تجميع وتفكيك البروتينات عالية الوزن الجزيئي في القمح (Sanz Penella وزملاؤه، 2008). على النقيض من ذلك، كانت قيم زمن ثباتية العجينة، وهي مؤشر على قوة الدقيق (Rosell وزملاؤه، 2001)، للدقيق الذي يحتوي على نخالة أقل (72%) أعلى معنوياً،

وبالتالي دقيقاً أقوى، من أنواع الدقيق الأخرى، فقد كان زمن ثباتية العجينة للدقيق الزيرو (3.50 و2.50 دقيقة)، وللدقيق الموحد (3.20 و2.10 دقيقة) ولدقيق القمح الكامل (2.75و2.00 دقيقة) لدقيق القمح القاسي والطري على التوالي. وقد كانت نتائج زمن ثباتية العجينة متوافقة مع نتائج درجة ضعف العجينة، والتي ازدادت معنوياً مع رفع نسبة استخراج الدقيق، حيث تراوحت بين (80.55–95.10 BU) في أنواع دقيق القمح القاسي، وبين (120.25–131.50 BU) في أنواع دقيق القمح الطري، وبالتالي يمكن الاستنتاج أنَّ النخالة لها تأثير تليين في العجين، وتتوافق هذه النتائج مع (Goesaert وزملاؤه، 2005). كان هناك فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) بين أنواع الدقيق في الرقم الفالوريمتري، وقد انخفضت القيم معنوياً بزيادة كمية النخالة في الدقيق، ولوحظت أعلى قيم في الدقيق استخراج 72% (52.10 و43.50) مقارنةً مع الدقيق الموحد (50.22 و40.82) ودقيق القمح الكامل (45.21 و36.44) لدقيق القمح القاسي والطري على التوالي، وقد أشارت دراسات سابقة إلى أنَّه عندما كانت قيم الرقم الفالوريمتري أعلى، كانت الخصائص الريولوجية للعجين أفضل (Sahari وزملاؤه، 2006).

الجدول (3): مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق القمح القاسي المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
امتصاصية الماء (%)	61.10 ± 0.30^{a}	64.20 ± 0.25^{b}	66.45 ± 0.45^{c}
زمن تطور العجينة (د)	3.75 ± 0.01^{a}	4.05 ± 0.02^{b}	4.50 ± 0.05^{c}
زمن ثباتية العجينة (د)	3.50 ± 0.05^{a}	3.20 ± 0.01^{b}	2.75 ± 0.05^{c}
درجة ضعف العجينة (BU)	80.55 ± 1.10^{a}	86.25 ± 0.65^{b}	95.10 ± 1.20^{c}
الرقم الفالوريمتري	52.10 ± 0.15^{a}	50.22 ± 0.10^{b}	45.21 ± 0.11^{c}

تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$.

الجدول (4): مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق القمح الطري المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
امتصاصية الماء (%)	56.35 ± 0.10^{a}	58.55 ± 0.15^{b}	60.22 ± 0.25^{c}
زمن تطور العجينة (د)	3.00 ± 0.02^{a}	3.25 ± 0.01^{b}	3.55 ± 0.01^{c}
زمن ثباتية العجينة (د)	2.50 ± 0.01^{a}	2.10 ± 0.05^{b}	2.00 ± 0.02^{c}
درجة ضعف العجينة (BU)	120.25 ± 2.11^{a}	124.10 ± 1.45^{b}	131.50 ± 2.10^{c}
الرقم الفالوريمتري	43.50 ± 0.35^{a}	40.82 ± 0.20^{b}	36.44 ± 0.24^{c}

تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$

3- خصائص الاكستينسوغراف لأنواع دقيق القمح المدروسة:

تقدم تقنية الاكستينسوغراف معلومات حول سلوك اللزوجة والمرونة (Viscoelastic behaviour) للعجين (Rosell وزملاؤه، 2001)، حيث يقيس هذا الجهاز قابلية التمدد للعجين ومقاومة التمدد، ويؤدي الجمع بين المقاومة الجيدة وقابلية التمدد الجيدة إلى خصائص العجين المرغوبة (Walker وHazelton، 1996). تمَّ قياس الخصائص الريولوجية باستخدام جهاز الاكستنسوغراف لأنواع الدقيق المدروسة والمختلفة بنسب الاتستخراج (72%، 80% و100%) لنوعي القمح المحلي القاسي والطري وسُجِّلت النتائج في الجدولين (5 و6). لوحظ من النتائج التأثير عالي المعنوية لمعدل استخراج الدقيق في جميع مؤشرات الاكستينسوغراف المُقاسة، فقد تبين انخفاض القدرة، مقاومة الشد، المقاومة العظمى للشد ومطاطية العجينة وازدياد مرونة العجينة مع رفع نسبة استخراج الدقيق، وبذلك نستنتج بأنَّ ازدياد نسبة استخراج الدقيق تترافق مع انخفاض قوة الدقيق، وهذا يتوافق مع الدراسات السابقة (Liu وزملاؤه، 2017؛ Mishra، 2016)، ويعود ذلك إلى ارتفاع نسبة النخالة مع ارتفاع نسبة استخراج الدقيق، حيث تؤدي إلى تقطيع الشبكة الغلوتينية في

العجينة وانخفاض قدرتها على حجز الغاز المتشكل أثناء عملية التخمر (Gajula، 2017؛ Le Bleis وزملاؤه، 2015). انخفضت القدرة، وهي مقدار الطاقة اللازمة للتشوه، معنوياً مع ارتفاع نسبة استخراج الدقيق لنوعي القمح، حيث كانت قيم القدرة لأنواع دقيق القمح القاسي (51.15، 50.33 و47.15 سم^2) مقارنةً مع أنواع دقيق القمح الطري (45.22، 41.25 و35.74 سم^2) لدقيق الزيرو، الدقيق الموحد ودقيق القمح الكامل على التوالي. من جهة أخرى، أبدى دقيق الزيرو مقاومة عالية للشد (275.0 و220.25 BU)، والتي تستخدم عادةً للتنبأ بخصائص معاملة العجين وتحمل التخمير، بالمقارنة مع الدقيق الموحد (271.25 و214.10 BU) ودقيق القمح الكامل (266.20 و205.50 BU) لدقيق القمح القاسي ودقيق القمح الطري على التوالي. أما المقاومة العظمى للشد، والتي تشير إلى الارتفاع الأعظمي لمنحني الاكستينسوغرام وتدل على قوة الدقيق، فقد انخفضت بشكل أكبر من مقاومة الشد مع رفع نسبة استخراج الدقيق، وتروحت بين (255.15–345.10 BU) في أنواع دقيق القمح القاسي، وبين (235.10–310.20 BU) في أنواع دقيق القمح الطري، وتوافقت نتائج المقاومة العظمى للشد مع نتائج مرونة العجينة، والتي ازدادت معنوياً مع رفع نسبة استخراج الدقيق، حيث أدى ارتفاع النخالة إلى زيادة قابلية العجين للتمدد، وبالتالي انخفاض قوة الدقيق، وكانت قيم مرونة العجينة للدقيق الزيرو (135.50 و155.20 مم)، وللدقيق الموحد (142.15 و162.45 مم) ولدقيق القمح الكامل (161.15 و180.20 مم) للقمح القاسي والقمح الطري على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، أدى التأثير الكلي للنخالة إلى انخفاض مطاطية العجينة، وهي حاصل المقاومة العظمى للشد / المرونة، وتراوحت في دقيق القمح القاسي بين (1.58–2.55) وفي دقيق القمح الطري بين (1.30–2.00). من جهة أخرى، كانت مؤشرات الاكستنسوغراف لأنواع دقيق القمح القاسي أعلى معنوياً، قوة دقيق أعلى، من مؤشرات أنواع دقيق القمح الطري، ويعود ذلك إلى العوامل الوراثية المسؤولة عن الاختلاف في الخصائص النوعية لبروتين الغلوتين (Sliwinski وزملاؤه، 2004).

الجدول (5): مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق القمح القاسي المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
القدرة (سم^2)	51.15 ± 0.25^a	50.33 ± 0.42^b	47.15 ± 0.35^c
مقاومة الشد (BU)	275.50 ± 2.44^a	271.25 ± 3.10^b	266.20 ± 2.05^c
المقاومة العظمى للشد (BU)	345.10 ± 1.55^a	321.40 ± 2.22^b	255.15 ± 2.05^c
المرونة (مم)	135.50 ± 1.20^a	142.15 ± 2.25^b	161.15 ± 2.10^c
المطاطية	2.55 ± 0.05^a	2.26 ± 0.01^b	1.58 ± 0.11^c

تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$

الجدول (6): مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق القمح الطري المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
القدرة (سم^2)	45.22 ± 0.31^a	41.25 ± 0.42^b	35.74 ± 0.33^c
مقاومة الشد (BU)	220.25 ± 2.35^a	214.10 ± 3.05^b	205.50 ± 1.40^c
المقاومة العظمى للشد (BU)	310.20 ± 3.05^a	282.15 ± 2.65^b	235.10 ± 3.15^c
المرونة (مم)	155.20 ± 1.10^a	162.45 ± 2.20^b	180.20 ± 2.55^c
المطاطية	2.00 ± 0.02^a	1.74 ± 0.01^b	1.30 ± 0.05^c

تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$

4- محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح المدروسة:

تمَّ تقدير محتوى أنواع دقيق حبوب القمح المدروسة من العناصر المعدنية الصغرى (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت)، وسجلت النتائج في الجدول (7) لأنواع دقيق القمح القاسي والجدول (8) لأنواع دقيق القمح الطري.

اختلف محتوى الزنك معنوياً بين دقيق القمح الكامل ودقيق القمح المكرر (دقيق الزيرو والدقيق الموحد)، حيث كان محتوى الزنك في دقيق القمح الكامل (18.22 مغ/كغ و19.11مغ/كغ)، وانخفض في الدقيق الموحد إلى (11.82 مغ/كغ و12.02 مغ/كغ) بينما كان محتوى الدقيق الأبيض (دقيق الزيرو) في حدود (6.19 مغ/كغ و6.26 مغ/كغ) لأنواع دقيق القمح القاسي والقمح الطري على التوالي. وبالتالي، أظهرت هذه الدراسة أن انخفاض معدل استخراج القمح يقلل معنوياً من محتوى الزنك في الدقيق ($P \leq 0.05$)، حيث وفقاً لـ Lopez وزملاؤه (2003) تتركز 80% من إجمالي كميات المعادن في طبقة الألورون من القشرة (النخالة)، والتي يتم إزالتها أثناء عملية الطحن، بينما يوجد 20% فقط من المعادن في الاندوسبيرم. وفقاً لنتائج هذه الدراسة، اختلف مستوى محتوى الحديد في الدقيق الكامل للقمح القاسي والقمح الطري بشكل كبير ($P \leq 0.05$) عن أنواع الدقيق الأخرى لنوعي القمح، فقد تراوح محتوى الحديد في أنواع دقيق القمح القاسي بين (18.81–27.12 مغ/كغ) بينما تراوح محتوى الحديد في أنواع دقيق القمح الطري بين (21.02–30.58 مغ/كغ). في دراسةٍ سابقةٍ، بيَّن Dewettinck وزملاؤه (2008) أن محتوى الحديد في القمح الكامل تراوح بين (10–50 مغ/كغ)، وبالتالي تقع قيم الحديد في أنواع دقيق القمح السوري، الطري والقاسي، ضمن المجال المحدد في دراساتٍ السابقة. ومع ذلك، فإن مستوى الحديد في الدقيق الأبيض ينخفض بشكل ملحوظ، حيث تزيل عملية الطحن العديد من العناصر الغذائية المهمة عند إنتاج الدقيق الأبيض، وتعتبر النخالة والجنين غنيةً نسبياً بالمعادن، كما أن المنتجات المطحونة تحتوي على نسبة أقل من تلك الموجودة في الحبوب الأصلية، على الرغم من أنَّ عملية الطحن تُحسِّن من الخصائص الحسية، الفيزيوكيميائية والريولوجية للدقيق، لكن تنخفض القيمة الغذائية للمنتجات (Hoseney، 1992). أظهرت تركيزات المنغنيز اختلافات عالية المعنوية بين عينات الدقيق الكامل والدقيق المكرر، حيث انخفض تركيز المنغنيز من (25.62مغ/كغو24.88مغ/كغ) في دقيق القمح الكامل إلى (15.05مغ/كغ و14.80مغ/كغ)

في الدقيق الموحد، ثم انخفض بشكلٍ كبير ليصل إلى (4.50 مغ/كغ و4.70مغ/كغ) في دقيق الزيرو لأنواع دقيق القمح القاسي والطري على التوالي. بينت عدة دراسات بحثية سابقة أنَّ تركيزات المنغنيز في عينات القمح والدقيق تتراوح بين (8–87 مغ/كغ) حسب نوع القمح، منطقة الزراعة ونسبة استخراج الدقيق (Suchowilska وزملاؤه، 2012؛ Vrček وVinković، 2012؛ Akinyele وShokunbi، 2015؛ Ertl وGoessler، 2018). بالإضافة إلى ذلك، أظهر دقيق الزيرو انخفاضاً واضحاً في نسبة النحاس (4.95 مغ/كغ و4.33 مغ/كغ)، تقريباً نصف كمية النحاس في دقيق القمح الكامل (8.70 مغ/كغ و7.40مغ/كغ)، أما الدقيق الموحد فقد احتوى (6.77 مغ/كغ و5.80 مغ/كغ) لدقيق القمح القاسي والطري على التوالي. وقد كانت نسبة النحاس في أنواع القمح السوري وأنواع الدقيق الناتج عنها أعلى من النسب في دراسة سابقة (Tang وزملاؤه، 2008)، والتي بينت أنَّ نسبة النحاس في أنواع حبوب القمح تتراوح بين (5.2–8.1 مغ/كغ)، وتتراوح نسبته في أنواع الدقيق بين (1.5–2.8 مغ/كغ). تراوحت تركيزات الكوبالت لعينات أنواع الدقيق بين (2.46–10.80 نانوغرام/كغ) لأنواع دقيق القمح القاسي، وبين (3.00–10.46 نانوغرام/كغ) لأنواع دقيق القمح الطري، وبالتالي أظهرت عملية طحن حبوب القمح إلى دقيق عالي الجودة (دقيق الزيرو) تأثيراً عالي المعنوية في خفض نسبة الكوبالت، وكانت هذه النتائج متوافقة جيداً مع معظم قيم الأبحاث المرجعية السابقة للحبوب والدقيق، والتي أفادت أن تركيز الكوبالت في الأنواع المختلفة من القمح والدقيق يتراوح بنطاق بين 4 و14نانوغرام/كغ (Bermudez وزملاؤه، 2011؛ Podio وزملاؤه، 2013).

الجدول (7): محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح القاسي المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
الزنك (مغ/كغ)	6.19 ± 0.10^{a}	11.82 ± 0.14^{b}	18.22 ± 0.15^{c}
الحديد (مغ/كغ)	18.81 ± 0.05^{a}	22.63 ± 0.15^{b}	27.12 ± 0.20^{c}
المنغنيز (مغ/كغ)	4.50 ± 0.12^{a}	15.05 ± 0.10^{b}	25.62 ± 0.10^{c}
النحاس (مغ/كغ)	4.95 ± 0.01^{a}	6.77 ± 0.05^{b}	8.70 ± 0.06^{c}
الكوبالت (نانوغرام/كغ)	2.46 ± 0.04^{a}	6.17 ± 0.11^{b}	10.80 ± 0.11^{c}

تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$

الجدول (8): محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح الطري المدروسة.

	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
الزنك (مغ/كغ)	6.26 ± 0.11^{a}	12.02 ± 0.22^{b}	19.11 ± 0.32^{c}
الحديد (مغ/كغ)	21.02 ± 0.15^{a}	24.95 ± 0.20^{b}	30.58 ± 0.25^{c}
المنغنيز (مغ/كغ)	4.70 ± 0.10^{a}	14.80 ± 0.14^{b}	24.88 ± 0.15^{c}
النحاس (مغ/كغ)	4.33 ± 0.21^{a}	5.80 ± 0.25^{b}	7.40 ± 0.22^{c}
الكوبالت (نانوغرام/كغ)	3.00 ± 0.04^{a}	6.10 ± 0.11^{b}	10.46 ± 0.10^{c}

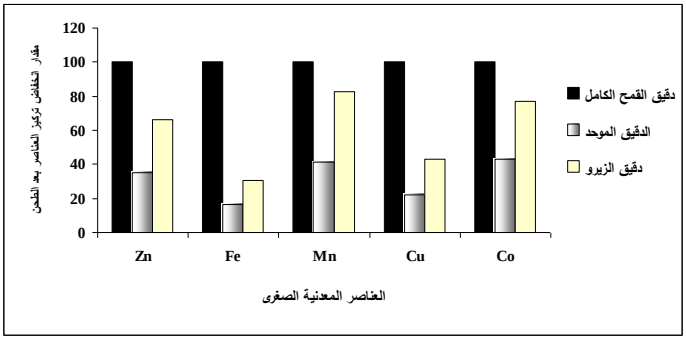
تدل الأحرف المتشابهة في الصف الواحد على عدم وجود فروق معنوية على مستوى ثقة $P \leq 0.05$.

5- تأثير عملية الطحن في تركيز العناصر المعدنية الصغرى:

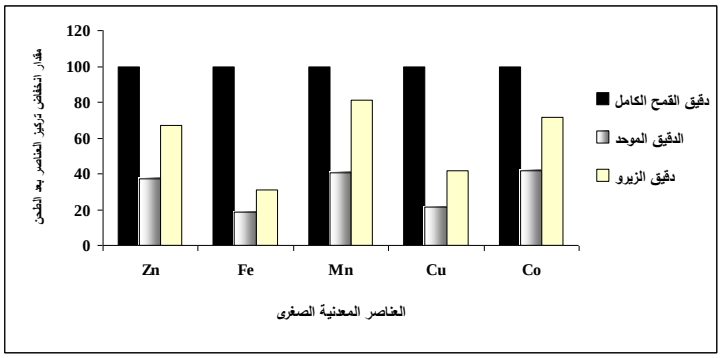
يبين الشكل (1 و2) تأثير عملية الطحن في تركيزات العناصر المعدنية الصغرى لنوعي القمح المدروسين (القمح القاسي والقمح الطري على التوالي) ومقدار الانخفاض في تركيزات هذه العناصر في كلٍ من الدقيق الموحد ودقيق الزيرو، واعتبار دقيق القمح الكامل كشاهد،

حيث يحوي تقريباً الكمية نفسها (100%) من العناصر المعدنية الصغرى في الحبوب الأصلية قبل الطحن، ويفيد هذا الاختبار لاحقاً لتقدير الكميات الواجب تناولها من كل نوع دقيق لتغطية الاحتياجات اليومية للأفراد من العناصر المعدنية الصغرى (Kamal-Eldin، 2008).

لُوحظ من الشكلين أنَّ عملية الطحن، وكما هو متوقع، قد خفضت من تركيزات العناصر المعدنية الصغرى في الدقيق الموحد بنسبة (42.84% و41.66%) للكوبالت، (41.21% و40.51%) للمنغنيز، (35.12% و37.10%) للزنك، (22.16% و21.64%) للنحاس و(16.55% و18.42%) للحديد، وفي دقيق الزيرو بنسبة (82.44% و81.10%) للمنغنيز، (77.26% و71.32%) للكوبالت، (66.05% و67.22%) للزنك، (43.10% و41.44%) للنحاس و(30.65% و31.25%) للحديد للقمح القاسي والقمح الطري على التوالي. وقد كانت هذه النتائج متقاربة إلى حدٍ ما مع نتائج سابقة أثبتت أن عملية الطحن لحبوب القمح لإنتاج الدقيق الأبيض تخفض من العناصر المعدنية الصغرى بنسبة 33% للحديد، 88% للمنغنيز، 71% للزنك و44% للنحاس (Szira وزملاؤه، 2014).



الشكل(1): مقدار انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح القاسي.



الشكل(2): مقدار انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح الطري.

الاستنتاجات:

1. أدى رفع نسبة استخراج الدقيق إلى زيادة معنوية في درجة لون الدقيق، النسبة المئوية للرماد وخصائص البروتينات الكمية وانخفاض قيم دليل الغلوتين، كمؤشر على نوعية البروتينات وبالتالي قوة الدقيق.
2. إرتفاع قيمة امتصاصية الدقيق للماء، زمن تطور العجينة ودرجة ضعف العجينة، وانخفاض زمن ثباتية العجينة والرقم الفالوريمتري مع رفع نسبة استخراج الدقيق.
3. إنَّ رفع نسبة استخراج الدقيق تترافق مع انخفاض في قوة الدقيق، كما بينت نتائج الاكستنسوغراف.
4. انخفاض القيمة الغذائية للدقيق عند خفض نسبة الاستخراج، نتيجة انخفاض محتواه من العناصر المعدنية الصغرى.

التوصيات:

1. متابعة الدراسة لبيان تأثير عمليات التصنيع اللاحقة للدقيق في محتوى المنتجات النهائية من العناصر المعدنية الصغرى.
2. تحديد علاقة الارتباط المتعدد بين الخصائص الفيزيوكيميائية والريولوجية للدقيق ومحتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى باستخدام تحليل (Partial Least Square Regression).
3. تحديد درجة ومستوى تجانس تركيب الحبوب من العناصر المعدنية ووضع قيم ممثلة (Representative Values) للقمح السوري باستخدام اختباري (Principal Component Analysis) و(Hierarchical Cluster Analysis).

المراجع References :

1. AACC. 2000. Approved Methods of the AACC, 10th edn. Methods 44-15A, 08-01, 46-10, 38-12A, 54-21, 54-10. St Paul, MN. AACC.
2. Akinyele, I. and Shokunbi, O. 2015. Concentrations of Mn, Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Ni in selected Nigerian tubers, legumes and cereals and estimates of the adult daily intakes. Food Chem., 173, 702-708.
3. AOAC. 2000. Official methods of analysis of AOAC International, 16th edition. Volume 1. Arlington, USA.
4. Atwell, W. A. 2001. Wheat flour, American Association of Cereal Chemists, Inc., SI. Paul, Minnesota, USA, 147p.
5. Azizi, M. H., Sayeddin, S. M. and Payghambardoost, S. H. 2006. Effect of flour extraction rate on flour composition, dough rheological characteristics and quality of flat bread. J. Agric. Sci. Technol., 8, 323-330.
6. Barron, C., Surget, A. and Rouau, X. 2007. Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. Journal of Cereal Science, 45, 88-96.
7. Bender, D. A. 2006. Benders dictionary of nutrition and food technology (8th ed.). Abington: Woodhead Publishing & CRC Press.
8. Bermudez, G., Jasan, R., Plá, R. and Pignata, M. 2011. Heavy metal and trace element concentrations in wheat grains: assessment of potential non-carcinogenic health hazard through their consumption. J. Hazard Mater., 193, 264-271.
9. Campbell, G. M., Fang, C. and Muhamad, I. I. 2007. On predicting roller milling performance: VI. Effect of kernel hardness and shape on the particle size distribution from first break milling of wheat. Food and Bioproducts processing, 85, 7-23.
10. Cubadda, F., Aureli, F., Raggi, A. and Carcea, M. 2009. Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat. Journal of Cereal Science, 49, 92-97.
11. Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kuhne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. and Gellynck, X. 2008. Nutritional value of bread:

influence of processing, food interaction and consumer perception. Review. J. Cereal Sci., 48, 243-257.
12. Drakos, A., Kyriakakis, G., Evageliou, V., Protonotariou, S., Mandala, I. and Ritzoulis, C. 2017. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. Food Chemistry, 215, 326-332.
13. Edwards, W. P. 2007. The science of bakery products. Cambridge: RSC Publishing.
14. Ertl, K. and Goessler, W. 2018. Grains, whole flour, white flour, and some final goods: an elemental comparison. Eur. Food Res. Technol., 244, 2065-2075.
15. Fardet, A. 2010. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? Nutrition Research Reviews, 23, 65-134.
16. Gajula, H. 2017. Effect of wheat bran on gluten network formation as studied through dough development, dough rheology and bread microstructure. PhD Dissertation, Department of Grain Science and Industry, College of Agriculture, Kansas State University, Manhattan, Kansas. USA.
17. Garcıa-Estepa, R. M., Guerra-Hernández, E., and Garcıa-Villanova, B. 1999. Phytic acid content in milled cereal products and breads. Food Research International, 32, 217-221.
18. Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. and Delcour, J. A. 2005. Wheat flour constituents how they impact bread quality, and how to impact their functionality: A review. Trends in Food Science & Technology, 16, 12-30.
19. Harland, B. F. and Morris, E. R. 1995. Phytate: A good or a bad food component? Nutrition Research, 15, 733-754.
20. Hoseney, R. C. 1992. Principles of cereal science and technology. AACC, St. Paul, MN, USA.
21. Inamdar, A. A. and Prabhasankar, P. 2017. Influence of stone chakki settings on the characteristics of whole wheat flour (Atta) and its chapati making quality. Journal of Food Processing and Preservation, 41, no. 3, article e12966.

22. Jiang, P., Xue, J., Duan, L., Gu, Y., Mu, J., Han, S., Chen, L., Li, Y., Ma, W., Yan, Y. and Li, X. 2019. Effects of high-molecular-weight glutenin subunit combination in common wheat on the quality of crumb structure. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99, 1501-1508.
23. Jones, C. 1990. The production of mechanically damaged starch in milling as a governing factor in the diastatic activity of flour. Cereal Foods World, 35, 765.
24. Kamal-Eldin, A. 2008. Micronutrients in cereal products: their bioactivities and effects on health. Technology of Functional Cereal Products, 86–111.
25. Kang, M. J., Kim, M. J., Kwak, H. S. and Kim, S. S. 2019. Effects of milling methods and cultivars on physicochemical properties of whole-wheat flour. Journal of Food Quality, 2019, 1-12.
26. Kurek, M. A., Wyrwisz, J., Piwińska, M. and Wierzbicka, A. 2015. Influence of the wheat flour extraction degree in the quality of bread made with high proportions of β-glucan. Food Science and Technology (Campinas), 35, 273-278.
27. Laurikainen, T., Harkonen, H., Autio, K. and Poutanen, K. 1998. Effects of enzymes in fiber-enriched baking. Journal of the Science of Food and Agriculture, 76, 239-249.
28. Le Bleis, F., Chaunier, L., Chiron, H., Della Valle, G. and Saulnier, L. 2015. Rheological properties of wheat flour dough and French bread enriched with wheat bran. Journal of Cereal Science, 65, 167-174.
29. Liu, C., Liu, L., Li, L., Hao, C., Zheng, X., Bian, K., Zhang, J. and Wang, X. 2015. Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. LWT-Food Science and Technology, 62, 310-318.
30. Liu, T., Hou, G. G., Lee, B., Marquart, L. and Dubat, A. 2016. Effects of particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and tortillas made from it. Journal of Cereal Science, 71, 145-152.

31. Liu, W., Brennan, M., Serventi, L. and Brennan, C. 2017. Effect of wheat bran on dough rheology and final quality of chinese steamed bread. Cereal Chemistry Journal, 94, 581-587.
32. Lopez, H. W., Krespine, V., Lemaire, A., Coudray, C., Feillet-Coudray, C. and Messager, A. 2003. Wheat variety has a major influence on mineral bioavailability: studies in rats. J. Cereal Sci., 37, 257-266.
33. Ma, W. 2019. Wheat gluten protein and its impacts on wheat processing quality. Front. Agr. Sci. Eng., 6, 279-287.
34. Manley, M., du Toit, G. and Geladi, P. 2011. Tracking diffusion of conditioning water in single wheat kernels of different hardenesses by near infrared hyperspectral imaging. Analytica Chimica Acta, 64-75
35. Mann, G., Diffey, S., Cullis, B., Azanza, F., Martin, D., Kelly, A., McIntyre, L., Schmidt, A., Ma, W., Nath, Z., Kutty, I., Leyne, P. E., Rampling, L., Quail, K. J. and Morell, M. K. 2009. Genetic control of wheat quality: interactions between chromosomal regions determining protein content and composition, dough rheology, and sponge and dough baking properties. Theoretical and Applied Genetics, 118, 1519-1537.
36. Marie, J., Ludek, H., Lenka, M., Yvona, D., Mrkvicova, E., Vyhnánek, T., Trojan, V., Plucarová, D. and Nedomova, S. 2015. Use of colour varieties of wheat in the bakery industry. Conference: International Ph.D. Students Conference on MendelNet 2015, At: At Fac Agron, Brno, Czech Republic
37. Mishra, J. 2016. Effects of bran treatment on rheology and sensory quality of whole wheat flat bread. MSc Thesis, South Dakota State University, USA.
38. Moradi, V., Mousavi Khaneghah, A., Fallah, A. and Akbarirad, H. 2016. Rheological properties of wheat flour with different extraction rate. International Food Research Journal, 23, 1056-1061.
39. Morris, C. F., Li, S., King, G. E., Engle, D. A., Burns, J. W. and Ross, A. S. 2009. A comprehensive genotype and environment assessment of wheat grain ash content in Oregon and Washington: Analysis of variation. Cereal Chemistry, 86, 307-312.

40. Munteanu, M., Voicu, G., Ştefan, E. M. and Constantin, G. A. 2015. Farinograph characteristics of wheat flour dough and rye flour dough. International Symposium ISB-INMA-TEH, pp. 645-650.
41. Munteanu, M., Voicu, G., Ungureanu, N., Zăbavă, B. Ş., Ionescu, M., Constantin, G. and Istrate, I. 2016. Methods for determining the characteristics of flour and dough. The 5th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development TE-RE-RD At: Golden Sands.
42. Oghbaei, M. and Prakash, J. 2012. Bioaccessible nutrients and bioactive components from fortified products prepared using finger millet (Eleusine coracana). Journal of the Science of Food and Agriculture, 92, 2281-2290.
43. Oghbaei, M. and Prakash, J. 2016. Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review. Cogent Food & Agriculture, 2, 1.
44. Ortolan, F. and Steel, C. J. 2017. Protein Characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16, 1-13.
45. Patwa, A., Malcolm, B., Wilson, J. and Ambrose, K. R. 2014. Particle size analysis of two distinct classes of wheat flour by sieving. Transactions of the ASABE, 57, 151-159.
46. Podio, N., Baroni, M., Badini, R., Inga, M., Ostera, H., Cagnoni, M., Gautier, E., García, P., Hoogewerff, J. and Wunderlin, D. 2013. Elemental and isotopic fingerprint of Argentinean wheat. Matching soil, water, and crop composition to differentiate provenance. J. Agric. Food Chem., 61, 3763-3773.
47. Posner, E. S. and Hibbs, A. N. 1997. Theory of tempering wheat for milling, in Wheat Flour Milling, Posner, E. S. and Hibbs, A. N. Editors, AACC, St. Paul: Minnesota.
48. Prabhasankar, P. and H. Rao, P. 2001. Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour. European Food Research and Technology, 213, 465-469.
49. Ramberg, J. and McAnalley, B. 2002. From the farm to the kitchen table: A review of the nutrient losses in foods. GlycoScience & Nutrition, 3, 1-12.

50. Ramirez-Wong, B., Walker, C. E., Ledesma-Osuna, A., Torres-Chavez, P. I., Me, C. L., Dina-Rodrig, S., Uez, P., López-Ahumada, G., Salazar-García, M., Ramírez, R., Jhonson, A. M. and Flores, R. 2007. Effect of flour extraction rate on white and red winter wheat flour compositions and tortilla texture. Cereal Chemistry, 84, 207-213.
51. Rosell, C. M., Rajan, J. A., Benedito, D. E. and Barber, C. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. Food hydrocolloids, 15, 75-81.
52. Rothkaehl, J. 2004. Determination of the rheological properties of dough from domestic wheat flour (in Polish). ZPZiP IBPRS. Warszawa, 2004.
53. Sahari, M. A., Ghavlighi, H. A. and Azizi M. H. 2006. Classification of protein content and technological properties of eighteen wheat varieties grown in Iran. International Journal of Food Science and Technology, 41, 6-11.
54. Sakhare, S. and Inamdar, A. 2014. The cumulative ash curve: A best tool to evaluate complete mill performance. Journal of Food Science and Technology, 51, 795-799.
55. Salkić, M. Odobasic, A. Jasic, M. Ahmetovic, N. and & Šestan, I. 2009. The importance of determination of some physical – chemical properties of wheat and flour. Agriculturae Conspectus Scientificus, 74, 197-200.
56. Sanz Penella, J. M., Collar, C. and Haros, M. 2008. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. Journal of Cereal Science, 48, 715-721.
57. Sapirstein, H. D., David, P., Preston, K. R. and Dexter, E. J. 2007. Durum wheat breadmaking quality: Effects of gluten strength, protein composition, semolina particle size and fermentation time. Journal of Cereal Science, 45, 150-161.
58. Slavin, J. L., Martini, M. C., Jacobs, D. R. and Marquart, L. 1999. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. The American Journal of Clinical Nutrition, 70, 459S-463S.
59. Sliwinski, E. L., Kolster, P., Prins, A. and Van Vliet, T. 2004. On the relationship between gluten protein composition of flours and

large deformation properties of their dough's. Journal of Cereal Science, 39, 247-264.
60. Suchowilska, E., Wiwart, M., Kandler, W. and Krska, R. 2012. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four Triticum species. Plant Soil Environ., 58, 141-147.
61. Sudha, M. L., Vetrimani, R. and Leelavathi, K. 2007. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. Food Chemistry, 100, 1365-1370.
62. Sugden, T. D. 2001. Wheat flour milling. In: Dendy, D. A. V. and Dobraszczyk, B. J. (Eds.), Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology. Aspen Publishers Inc., Maryland, Part 1, USA, pp. 140-172.
63. Szira, F., Monostori, I., Galiba, G., Rakszegi, M. and Bálint, A. F. 2014. Micronutrient contents and nutritional values of commercial wheat flours and flours of field-grown wheat varieties - A survey in Hungary. Cereal Research Communications, 42, 293-302.
64. Tang, H., Ando, H., Watanabe, K., Takeda, Y. and Mitsunaga, T. 2000. Some physicochemical properties of small-, medium- and large granule starches in fractions of waxy barley grain. Cereal Chemistry, 77, 27-31.
65. Tang, J., Zou, C., He, Z., Shi, R., Ortiz-Monasterio, I., Qu, Y. and Zhang, Y. 2008. Mineral element distributions in milling fractions of Chinese wheats. Journal of Cereal Science, 48, 821-828.
66. Truswell, A. S. 2002. Cereal grains and coronary heart disease. European Journal of Clinical Nutrition, 56, 1-14.
67. USDA/NASS. 2001. Agricultural Statistics. U.S. Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
68. Vrček, V. and Vinković V. I. 2012. Metals in organic and conventional wheat flours determined by an optimised and validated ICP-MS method. Int. J. Food Sci. Technol., 47, 1777-1783.
69. Walker, C. E. and Hazelton, J. L. 1996. Dough rheological tests. Cereal Foods World, 41, 23-28.

70. Wang, H., Liu, C. and Wen, J. 2016. Comparison of unheated and heated bran on flour quality: Effects of particle size and addition levels. Journal of Food Processing and Preservation, 41, e12992.
71. Zhu, F. M., Du, B. and Xu, B. J. 2015. Superfine grinding improves functional properties and antioxidant capacities of bran dietary fibre from Qingke (hull-less barley) grown in Qinghai- Tibet Plateau, China., Journal of Cereal Science, 65, 43-47.