الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة دمشــق

كلية الهندسة الزراعية

قسم علوم الأغذية

تحديد العوامل المؤثرة في محتوى أنواع حبوب القمح السوري ومنتجاته من العناصر المعدنية الصغرى

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الزراعية
(علوم الأغذية)

إعداد المهندس

محمد فادي محمد سعيد حبيبه

المشرف العلمي

أ. د. عبد الحكيم عزيزية

كلية الهندسة الزراعية- جامعة دمشق

قسم علوم الأغذية

المشرف المشارك

د. جهاد سمعان

كلية الهندسة الزراعية- جامعة دمشق

قسم علوم الأغذية

2024 م

تصريح خطي

أنا الموقع أدناه محمد فادي حبيبه

أصرح بعلمي الكامل وقبولي:

1. أن كل ما ينتج عن البحث والرسالة هو ملكية فكرية ومالية شريكة فيه جامعة دمشق، وإنني ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتي بنشر البحث أو الأطروحة أو جزء منها نصاً أو مضموناً خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مكتبات أو مواقع الكترونية وغيرها من وسائل النشر).
2. أنه لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تم اقتباسه من عمل علمي آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو معهد تعليمي داخل أو خارج الجمهورية العربية السورية.

محمد فادي حبيبه

فهرس المحتويات

تصريح خطي I

فهرس المحتويات II

قائمة الجداول VII

قائمة الأشكال X

الملخص XI

المقدمة INTRODUCTION:..... 1

تساؤلات البحث.....3

فرضيات البحث 3

مشكلات البحث 4

مبررات البحث.....4

أهداف البحث 5

1- الدراسة المرجعية LITERATURE REVIEW:..... 8

1-1- محاصيل الحبوب:.....8

1-2- زارعة وإنتاج القمح في الجمهورية العربية السورية: 11

1-3- أنواع القمح وطرائق تصنيفه:..... 12

1-4- التركيب البنيوي والكيميائي لحبوب القمح:..... 13

1-5- العناصر المعدنية في القمح: 15

1-6- العناصر المعدنية الصغرى:..... 16
1-6-1- الحديد: 16
1-6-2- النحاس:..... 17
1-6-3- الزنك: 18
1-6-4- الكوبالت:..... 18
1-6-5- السيلينيوم: 19
1-7- تأثير العوامل البيئية والوراثية في محتوى القمح من العناصر المعدنية الصغرى:..... 19
1-8- الخصائص الفيزيائية والكيميائية لحبوب القمح: 22
1-9- تقانة طحن حبوب القمح: 23
1-10- تأثير العوامل الوراثية والبيئية في تركيب حبوب القمح:..... 27
1-11- تأثير عملية الطحن في تركيب حبوب القمح:..... 29
1-12- تأثير العمليات التصنيعية في خصائص جودة الخبز: 32
2- مواد وطرائق البحث MATERIALS AND METHODS:.....36
2-1- مواد البحث:..... 36
2-2- الاختبارات الفيزيوكيميائية للحبوب: 37
2-2-1- الوزن النوعي: 37
2-2-2- وزن الألف حبة:..... 37
2-2-3- درجة البلورية: 37
2-2-4- النسبة المئوية للرطوبة: 37
2-2-5- النسبة المئوية للرماد: 38

2-2-6- النسبة المئوية للبروتين: 38
2-3- تقدير العناصر المعدنية الصغرى: 39
2-3-1- المبدأ العام: 39
2-3-2- الأجهزة والأدوات: 40
2-3-3- تحضير المحاليل القياسية: 40
2-3-4- عملية الهضم والقياس: 40
2-4- الاختبارات الفيزيوكيميائية للدقيق: 41
2-4-1- النسبة المئوية للرطوبة: 41
2-4-2- النسبة المئوية للرماد: 41
2-4-3- النسبة المئوية للبروتين: 42
2-4-4- درجة اللون: 42
2-4-5- كمية ونوعية الغلوتين: 42
2-5- الاختبارات الريولوجية للدقيق: 43
2-5-1- الفارينوغراف: 43
2-5-2- الاكستنسوغراف: 44
2-6- تصنيع الخبز العربي منفصل الشطرين: 44
2-7- اختبارات جودة الخبز: 45
2-7-1- الخصائص الكيميائية: 45
2-7-2- الخصائص التصنيعية: 46
2-8- التحليل الإحصائي: 46

3- النتائج والمناقشة RESULTS AND DISCUSSION: 48

3-1- الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب أصناف القمح المدروسة:..... 48

3-2- توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب القمح:..... 53

3-3- تقدير محتوى العناصر المعدنية الصغرى لحبوب أصناف القمح المدروسة: 55

3-4- توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في محتوى حبوب القمح من العناصر المعدنية الصغرى:.. 58

3-5- الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق القمح المدروسة: 61

3-6- خصائص الفارينوغراف لأنواع دقيق القمح المدروسة: 67

3-7- خصائص الاكستينسوغراف لأنواع دقيق القمح المدروسة: 72

3-8- محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح المدروسة:..... 76

3-9- تأثير عملية الطحن في تركيز العناصر المعدنية الصغرى:..... 81

3-10- تحديد علاقة العناصر المعدنية الصغرى في الخصائص الكمية والنوعية لغلوتين الدقيق: 83

3-11- تقدير الخصائص الكيميائية لعينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق المدروسة:..... 85

3-12- تقدير الخصائص التصنيعية لعينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق المدروسة: 90

3-13- تقدير محتوى العناصر المعدنية الصغرى في عينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق المدروسة: 94

3-14- تأثير عملية التصنيع في تركيز العناصر المعدنية الصغرى:..... 98

3-15- تأثير العوامل البيئية (الموقع وموسم الزراعة) في محتوى حبوب القمح من العناصر المعدنية الصغرى:.....101

3-16- تحديد درجة ومستوى تجانس تركيب الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى: 104

4- الاستنتاجات CONCLUSIONS: 109

5- المقترحات والتوصيات RECOMMENDATIONS:..... 113

6- المراجع العلمية REFERENCES: 115

6-1- المراجع العربية: 115

6-2- المراجع الأجنبية: 115

Abstract 145

قائمة الجداول

الجدول (1) متوسط إنتاج القمح في بعض دول العالم. 9

الجدول (2) العلاقة بين نسبة استخراج الدقيق واللون. 26

الجدول (3) المحاليل القياسية للمعايرة.....40

الجدول (4) الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب أصناف القمح القاسي المدروسة. 52

الجدول (5) الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب أصناف القمح الطري المدروسة.....52

الجدول (6) توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب القمح.....55

الجدول (7) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح القاسي المدروسة. 57

الجدول (8) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح الطري المدروسة.....57

الجدول (9) توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى.....60

الجدول (10) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3. 64

الجدول (11) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9. 65

الجدول (12) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10. 66

الجدول (13) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.....67

الجدول (14) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.....70

الجدول (15) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9. 70

الجدول (16) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.....71

الجدول (17) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6. 71

الجدول (18) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.....74

الجدول (19) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.....75

الجدول (20) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.....75

الجدول (21) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6. 76

الجدول (22) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.....79

الجدول (23) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9. 79

الجدول (24) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.....80

الجدول (25) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6. 80

الجدول (26) معاملات الارتباط بين محتوى الدقيق من العناصر المعدنية الصغرى والمؤشرات الكمية والنوعية للغلوتين. 85

الجدول (27) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3. 87

الجدول (28) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9. 88

الجدول (29) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10. 89

الجدول (30) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.....90

الجدول (31) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3. 92

الجدول (32) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9. 92

الجدول (33) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10. 93

الجدول (34) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.....93

الجدول (35) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3. 95

الجدول (36) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9..96

الجدول (37) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10. 97.....

الجدول (38) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6. 98

الجدول (39) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح القاسي المدروسة للموسم 2019–2020. 102

الجدول (40) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح الطري المدروسة للموسم 2019–2020. 103

الجدول (41) توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى. .. 104

الجدول (42) عينات الحبوب المدروسة. 105

الجدول (43) القيم الممثلة لمحتوى أنواع القمح السوري من العناصر المعدنية الصغرى. 107

قائمة الأشكال

الشكل (1) توزع إنتاج القمح في العالم. 10

الشكل (2) البنية التشريحية لحبوب القمح. 14

الشكل (3) متوسطات تركيز العناصر المعدنية الصغرى لنوعي القمح..... 59

الشكل (4) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح القاسي. 82

الشكل (5) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح الطري. 82

الشكل (6) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى في عينات الخبز المحضرة من أنواع دقيق القمح القاسي. 100

الشكل (7) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى في عينات الخبز المحضرة من أنواع دقيق القمح الطري.....101

الشكل (8) التحليل العنقودي للعناصر المعدنية الصغرى في عينات حبوب القمح المختبرة. 106

الملخص

أُجري البحث في مخابر قسم علوم الأغذية وعلوم التربة في كلية الهندسة الزراعية بجامعة دمشق ومخبر الحبوب المركزي بوزارة التجارة الداخلية وحماية المستهلك، بهدف دراسة تأثير العوامل البيئية والوراثية في الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب من أصناف القمح القاسي والقمح الطري المعتمدة ومحتواها من العناصر المعدنية الصغرى، حيث تمَّ اختيار صنفين من كل نوع قمح مزروعين في منطقتين مختلفتين خلال موسمين زراعيين. أظهر تحليل التباين وجود اختلافات معنوية بين أنواع وأصناف حبوب القمح، وبين مواقع الزراعة لجميع الصفات الفيزيوكيميائية المدروسة، بينما كانت العوامل الوراثية (نوع وصنف القمح) مسؤولة عن أكثر من 70% من التباين في تركيز العناصر المعدنية الصغرى، أما العوامل البيئية (موقع الزراعة وموسم الزراعة) فقد كانت مسؤولة عن أقل من 30% من التباين الكلي. من جهة أخرى، أظهر تحليل الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع الدقيق المدروسة وجود فروقات معنوية بينها لكل نوع قمح، وبين أنواع القمح، وتبين أن انخفاض معدل استخراج الدقيق 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. بيَّن تحليل الخصائص الكيميائية والتصنيعية لعينات الخبز المحضرة من أنواع الدقيق وجود اختلافات معنوية في جميع المؤشرات المدروسة، وكان محتوى العناصر المعدنية الصغرى بالترتيب التالي (الحديد > الزنك ≈ المنغنيز > النحاس > الكوبالت) لجميع عينات الخبز، وتباين تركيز المعادن بشكل كبير بين عينات الخبز المحضرة من أجزاء الطحن المختلفة لصنفي القمح المدروسين، كما أدت عملية التصنيع إلى تباين عالي المعنوية في نسبة الفقد بالعناصر المعدنية الصغرى بين أنواع الدقيق ونوعي القمح، ووصلت نسبة الفقد إلى (57.17%) للنحاس، (52.67%) للكوبالت، (29.68%) للزنك، (17.24%) للمنغنيز و(14.38%) للحديد. كما كشفت هذه الدراسة عن الدور الهام للعناصر المعدنية الصغرى في خصائص الدقيق ومنه في جودة الخبز الناتج. أكدت نتائج التحليل العنقودي الأهمية الأساسية للعوامل الوراثية في تراكم العناصر المعدنية الصغرى في حبوب القمح، وتبعاً لذلك، تمَّ وضع قيم تقريبية ممثلة لأنواع القمح السوري القاسي والطري لمحتواها من العناصر المعدنية الصغرى.

الكلمات المفتاحية: القمح الطري، القمح القاسي، الخصائص الفيزيوكيميائية، الخصائص الريولوجية، الخبز منفصل الشطرين، العناصر المعدنية الصغرى.

المقدمة INTRODUCTION:

يعتبر القمح مصدراً جيداً للبروتينن، المعادن، فيتامينات المجموعة B والألياف الغذائية، أي أنه غذاء ممتاز لبناء الصحة، وبالتالي، يعد القمح من الحبوب الرئيسية، حيث يتم استخدامه على نطاق واسع لصنع الخبز أكثر من أي نوع آخر من الحبوب، بسبب نوعية وكمية بروتينه المميز المسمى الغلوتين، والذي يجعل عجينة الخبز تلتصق ببعضها البعض ويمنحها القدرة على الاحتفاظ بالغازات. للقمح العديد من الفوائد الطبية؛ حيث يوفر النشاء والغلوتين في القمح الحرارة والطاقة؛ وتوفر الطبقات الداخلية للنخالة الفوسفات والأملاح المعدنية الأخرى؛ بينما طبقات النخالة الخارجية، التي تشتد الحاجة إليها، هي الجزء غير القابل للهضم الذي يساعد على سهولة حركة الأمعاء؛ يزود الجنين بالفيتامينات مثل B و E؛ ويساعد بروتين القمح في بناء وإصلاح أنسجة العضلات. إن جنين القمح، الذي يتم إزالته أثناء عملية الطحن، غني أيضاً بفيتامين E الأساسي، والذي يمكن أن يؤدي نقصه إلى الإصابة بأمراض القلب. إن فقدان غالبية الفيتامينات والمعادن في دقيق القمح الزيرو قد أدى إلى انتشار الأمراض مثل الإمساك واضطرابات الجهاز الهضمي والاضطرابات التغذوية الأخرى، وبالتالي، فإن دقيق القمح الكامل، الذي يحتوي على النخالة وجنين القمح، يوفر الحماية من أمراض مثل الإمساك ونقص التروية وأمراض القلب وأمراض القولون مثل الرتج (Diverticulum) والتهاب الزائدة الدودية والسمنة ومرض السكري. بالإضافة إلى ذلك، يعتبر القمح مصدراً مهماً بشكل خاص للألياف الغذائية، حيث يوفر الخبز وحده 20% من المدخول اليومي، والعلاقات الراسخة بين استهلاك الألياف الغذائية من الحبوب وتقليل مخاطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية، والنوع الثاني للسكري وأنواع السرطان (خاصةً سرطان القولون والمستقيم).

يعاني أكثر من نصف سكان العالم من نقص المغذيات الدقيقة، حيث أن المصادر الرئيسية للفيتامينات والمعادن (الحديد، الزنك وفيتامين A) لسكان الريف والمدن ذوي الدخل المنخفض هي الأغذية الأساسية من

أصل نباتي، والتي غالباً ما تحتوي على مستويات منخفضة أو منخفضة التوافر الحيوي لهذه المغذيات الدقيقة.

المعادن هي مكونات مهمة يحتاجها الإنسان في طعامه اليومي، تنقسم المعادن إلى مجموعتين: (1) العناصر المعدنية الكبرى اللازمة بكميات كبيرة، على سبيل المثال، الكالسيوم (Ca)، المغنيزيوم (Mg) والبوتاسيوم (K)، و(2) المعادن الدقيقة أو العناصر المعدنية الصغرى، وهي مطلوبة بكميات أقل، مثل النحاس (Cu)، الزنك (Zn)، الحديد (Fe)، البورون (B) والسيلينيوم (Se). تعتمد عمليات الاستقلاب في الجسم على عمل المعادن لتنشيط الأنزيمات التي تؤدي وظائف التمثيل الغذائي، وقد يؤدي نقص معادن معينة إلى الإصابة بأمراض مزمنة مختلفة. نظراً لارتفاع استهلاك القمح في مجموعة متنوعة من المنتجات الغذائية في جميع أنحاء العالم، يعتبر القمح مصدراً مهماً للمعادن، ويتم تحديد تركيز المعادن في دقيق القمح وراثياً عن طريق اختيار الصنف، ويتم تحديده بيئياً عن طريق التربة والمناخ والممارسات الزراعية. يمكن زيادة تركيز المعادن في منتجات القمح باستخدام دقيق الحبوب الكاملة بدلاً من الدقيق الأبيض، أيضاً، يمكن استخدام الظروف المناسبة جنباً إلى جنب مع اختيار أصناف القمح التي تحتوي على تركيز عالٍ من المعادن لتعزيز التوافر الحيوي للمعادن.

يظهر القمح تبايناً كبيراً في محتويات وتركيبات المكونات المفيدة، حيث يُظهر البعض (بما في ذلك الألياف الغذائية) قابلية وراثية عالية، لذلك، يجب أن يكون مربو النباتات قادرين على اختيار الفوائد الصحية المحسنة بالإضافة إلى زيادة غلة المحاصيل. ولتعزيز جودة وكمية البروتينات، النشويات، محتوى الفيتامينات والأحماض الأمينية الأساسية والمعادن والمكونات الصحية الأخرى للقمح، من الضروري فهم التحكم الجزيئي والوراثي في الجوانب المختلفة لنمو النبات وتطوره.

تساؤلات البحث

- ما هو تركيز العناصر المعدنية الصغرى (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت) في الأقماح المحلية؟
- ما هي العوامل التي تؤثر في كمية العناصر المعدنية الصغرى في أنواع حبوب القمح؟
- ما هو تأثير عملية الطحن في كمية العناصر المعدنية الصغرى في أنواع دقيق القمح؟
- ما هو تأثير العمليات التصنيعية (الخبيز) في كمية العناصر المعدنية الصغرى في منتجات دقيق القمح؟
- هل يمكن وضع قيم ممثلة للعناصر المعدنية الصغرى في أنواع حبوب القمح المحلي؟

فرضيات البحث

تعد جميع العناصر المعدنية (الكبرى والصغرى)، بشكل عام، في حبوب القمح تابع للعوامل البيئية (تركيب التربة وعمليات التسميد)، وعلى الرغم من ذلك، أثبتت العديد من الدراسات العالمية خضوع كمية العناصر المعدنية الصغرى في حبوب القمح بشكل كبير إلى تأثير العوامل الوراثية.

ومن هنا كانت هذه الدراسة، حيث تمَّ اختيار أصناف قمح محلية طرية وقاسية مزروعة في منطقتين مختلفتين خلال موسمين زراعيين، وذلك للتأكد من العوامل المؤثرة (البيئية أو الوراثية) في هذه العناصر. بالإضافة إلى ذلك، سلط الضوء على تأثير العمليات التصنيعية (الطحن والخبيز) في المحتوى من العناصر.

مشكلات البحث

أدى التزايد السكاني الكبير إلى خلق مشكلة في تأمين الغذاء، وبما أن القمح هو من المواد الغذائية الأساسية فقد تلقى الكثير من الأهتمام من قبل المعنيين في برامج التهجين وتربية النبات بهدف الوصول إلى أصناف ذات إنتاجية عالية متحملة للظروف البيئية المختلفة، لكن وعلى الرغم من تطوير هذه الأصناف فقد ترافق ذلك بحدوث تغييرات كبيرة في التركيب الكيميائي للقمح وخصائصه الغذائية بالإضافة إلى العمليات التصنيعية اللاحقة من طحن وخبيز والتي من شأنها خفض تركيز المغذيات الدقيقة في القمح.

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.

مبررات البحث

في سورية كما في باقي الدول المنتجة للقمح ترتبط هذه الزراعة بحياة السكان وتقاليدهم وظروفهم الحياتية، وهي مصدر رزق لشريحة واسعة في المجتمع السوري. وعلى الرغم من انتشار استعمال القمح ومنتجاته في غذاء أفراد الشعب السوري كافةً، لا توجد في سورية دراسات منشورة عن مستويات العناصر المعدنية وخاصة الغذائية منها في حبوب القمح ومنتجاته، ولذلك يعد من الضروري إجراء دراسات لتحديد مستوى

العناصر المعدنية في الأغذية، لمعرفة كمية ما يتناوله الفرد منها ومقارنته مع ما هو موجود في بلدان أخرى.

أهداف البحث

1. دراسة تأثير موقع وموسم زراعة القمح (العوامل البيئية) في محتواه من العناصر المعدنية الصغرى (الحديد، النحاس، الزنك، الكوبالت والمنغنيز).
2. دراسة تأثير نوع وصنف القمح (العوامل الوراثية) في المحتوى من هذه العناصر.
3. تحديد التأثير المتبادل (Interaction Effect) للعوامل الوراثية والبيئية في محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى.
4. تحديد العلاقة بين الخصائص الفيزيوكيميائية للحبوب والريولوجية للدقيق ومحتواها من العناصر المعدنية الصغرى.
5. دراسة تأثير العمليات التكنولوجية المختلفة (الطحن والخبيز) في المحتوى من هذه العناصر.
6. تطبيق اختبار (Hierarchical Cluster Analysis) من أجل تحديد درجة ومستوى تجانس تركيب الحبوب من العناصر المعدنية ووضع قيم ممثلة (Representative Values) للقمح السوري.

ونُفذ البحث باتباع الخطوات التالية:

1. اختيار نوعين من القمح السوري، قمح طري وقمح قاسي وصنفين من كل نوع مزروعة في منطقتين مختلفتين من القطر خلال موسمين زراعيين.
2. قياس الخصائص الفيزيائية والكيميائية للحبوب.
3. تحديد محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى (الحديد، النحاس، الزنك، الكوبالت والمنغنيز).

4. طحن الأصناف السابقة إلى دقيق عالي الجودة (زيرو 72% استخراج)، ودقيق قياسي (موحد 80% استخراج)، ودقيق قمح كامل (100% استخراج).
5. قياس الخصائص الفيزيوكيميائية والريولوجية لأنواع الدقيق الناتج.
6. تحديد محتوى أنواع الدقيق من العناصر المعدنية الصغرى.
7. تحديد تأثير العوامل البيئية (موقع وموسم الزراعة) والعوامل الوراثية (النوع والصنف) وتأثيرهما المتبادل في محتوى الحبوب والدقيق من العناصر المعدنية باستخدام اختبار (F) وتوزع التباين (Variance Distribution).
8. تصنيع الخبز العربي منفصل الشطرين من عينات الدقيق.
9. قياس الخصائص الكيميائية والتصنيعية لأنواع الخبز الناتج.
10. تحديد محتوى الخبز الناتج من العناصر المعدنية الصغرى.
11. دراسة تأثير العمليات التكنولوجية (الطحن والخبيز) في المحتوى من العناصر المعدنية.
12. تحديد علاقة الارتباط بين الخصائص الفيزيوكيميائية والريولوجية للحبوب ومحتوى الحبوب والدقيق والخبز من العناصر المعدنية الصغرى.
13. تحديد درجة ومستوى تجانس تركيب الحبوب من العناصر المعدنية ووضع قيم ممثلة (Representative Values) للقمح السوري باستخدام اختبار (Hierarchical Cluster Analysis).

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

Literature Review

1- الدراسة المرجعية LITERATURE REVIEW:

1-1- محاصيل الحبوب:

يعد القمح من أكثر المحاصيل الغذائية أهمية في العالم، حيث تعتمد مئات الملايين من الناس في جميع أنحاء العالم على الأغذية التي تصنع من حبوب نبات القمح والتي يتم طحنها فتصبح دقيقاً يدخل في صناعة البسكويت والخبز والكيك، والمعكرونة وغيرها، وهو من أقدم المحاصيل الزراعية والغذائية الهامة على مستوى العالم. يتم زارعة القمح تحت ظروف متباينة في أكثر من 100 بلدٍ في العالم، وتعد كندا والصين وفرنسا والهند وروسيا الإتحادية وأوكرانيا والولايات المتحدة الأمريكية الدول الأعلى بالنسبة للمساحة المزروعة والإنتاج حول العالم، ويبلغ الإنتاج العالمي للقمح حوالي 735 مليون طن في العام (Faostat, 2022).

يتصدر القمح قائمة المحاصيل الحقلية من حيث المساحة المزروعة في العالم، حيث تشكل 71% من المساحة المزروعة عالمياً مقارنةً مع محاصيل الحبوب الأخرى، وقد ازداد الإنتاج العالمي للقمح ليصل من 640.3 مليون طناً في عام 2010 الى 737.0 مليون طناً في عام 2015 والى 760.9 مليون طناً في عام 2020 عام (Faostat, 2022)، واحتلت الصين المرتبة الأولى عالمياً في إنتاج القمح، تلتها الهند في المرتبة الثانية، ثم روسيا، ويبين الجدول (1) إنتاج القمح في العالم بين عامي 2010 و2020.

الجدول (1) متوسط إنتاج القمح في بعض دول العالم.

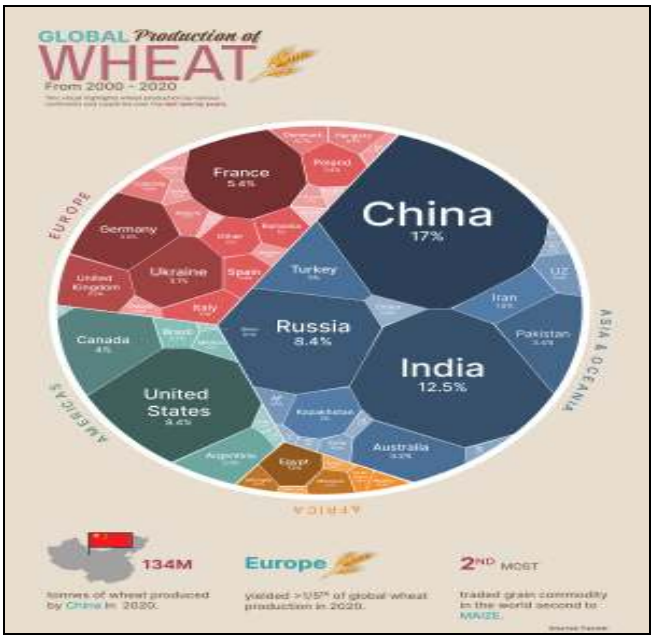
البلد	الإنتاج (مليون طن)	
	عام 2010	عام 2020
الصين	115.2	134.2
الهند	80.7	107.6
روسيا الإتحادية	41.5	85.9
الولايات المتحدة الأمريكية	60.1	49.7
كندا	23.2	35.2
فرنسا	38.2	30.1
باكستان	23.3	25.2
أوكرانيا	16.9	24.9
ألمانيا	24.1	22.2
تركيا	19.7	20.5
سورية	3.1	2.8

(Faostat, 2022)

تمثل منتجات الحبوب ما يقرب من 45% من إجمالي السعرات الحرارية اليومية للإنسان على مستوى العالم، وتتراوح من حوالي 25% في العديد من البلدان الأوروبية، على سبيل المثال في ألمانيا والمملكة المتحدة، إلى حوالي 55% في بعض البلدان النامية مثل الهند (Poutanen *et al.*, 2022). تعد الكربوهيدرات، المواد الآزوتية، اللبيدات، العناصر المعدنية والماء من أهم المؤشرات الكيميائية للحبوب، بالإضافة إلى مكونات موجودة بنسبة قليلة كالفيتامينات والأنزيمات، وهي لا تتوزع بشكل متجانس في جميع أجزاء الحبة، حيث تتفاوت في تركيزها من جزء لآخر، وتحدث العمليات التكنولوجية التي تتم على الحبوب تبدل في تركيبها الكيميائي. تختلف نسبة المكونات الكيميائية للحبوب حسب النوع والصنف والمعاملات الزراعية والظروف البيئية (Shewry and Hey, 2015).

ينمو القمح في ظروف مناخية وتربة مختلفة، إلا أن المحصول الجيد منه يتطلب ظروفًا جوية مناسبة، وتربة ملائمة للحصول على أعلى غلة. تُعتبر الخطوات الأساسية لزراعة القمح واحدة تقريبًا في جميع أنحاء العالم. ومع ذلك، فإن مزَارع القمح تختلف في حجمها ومستويات المكننة، ففي كثير من الدول غير الصّناعية، يستعمل مزارعو القمح حيوانات لتجرّ محاريثهم في حقولهم الصغيرة، بالإضافة إلى أنَّهم قد يزرعون ويحصدون محاصيلهم يدويّا. أما في الدول الصناعية، فإنّ القمح يُزرع كلّه تقريبًا في مزارع كبيرة بمساعدة المكننة الزراعية المتخصّصة. وخلال القرن العشرين استنبط العلماء أصنافاً جديدة من القمح، تنتج كميات كبيرة من الحبوب تستطيع مقاومة البرودة والأمراض والحشرات وغيرها من العوامل الأخرى التي تهدد محصول القمح، ونتيجة لذلك ارتفع إنتاج القمح بدرجة كبيرة (Faostat, 2022).

ويبين الشكل (1) توزع إنتاج القمح في العالم.



الشكل (1) توزع إنتاج القمح في العالم.

(Faostat, 2022)

1-2- زارعة وإنتاج القمح في الجمهورية العربية السورية:

يعتبر القمح المحصول الاستراتيجي الأول في الجمهورية العربية السورية كونه محصول الغذاء الأساسي، وينتشر العديد من أصنافه المحلية الطرية والقاسية والمتأقلمة مع الظروف البيئية، وتمتاز بمواصفات شكلية وتكنولوجية مرغوبة لصناعة الخبز كما في أصناف القمح الطري، ولصناعة البرغل والفريكة كما في أصناف القمح القاسي، ويبلغ متوسط الاستهلاك اليومي من القمح للفرد الواحد في الجمهورية العربية السورية 490 غ/اليوم (FAO, 2011).

يُزرع في سورية نوعان من القمح هما قمح ديورم الصلب (*Triticum durum*) والقمح الطري (*Triticum aestivum*)، تستهلك الجمهورية العربية السورية حوالي 2.5 مليون طناً من القمح سنوياً، ويبلغ متوسط المساحة المخصصة لمحصول القمح 1.68 مليون هكتاراً وذلك في الفترة بين عامي 2000-2009 وشكلت المساحة المروية منها 0.73 مليون هكتاراً (43%) والبعلية 0.96 مليون هكتاراً (57%)، وبلغ متوسط إنتاج القمح خلال هذه الفترة نحو 4 مليون طناً شكل إنتاج القمح المروي منها 2.8 مليون طناً (70%) والبعل 1.2 مليون طناً (30%) من الإنتاج الإجمالي، وبلغ أعلى إنتاج إجمالي لمحصول القمح في سورية عام 2006 بمقدار 4.9 مليون طناً. تدهور إنتاج القمح في سورية بشكل كبير خلال الفترة بين عامي 2011-2018 بسبب خروج مساحات كبيرة من الإنتاج نتيجة الظروف التي مرت على الجمهورية العربية السورية خلال هذه الفترة بالإضافة الى موجات الجفاف وانخفاض المساحات المروية حيث انخفض الإنتاج الى اقل من 2 مليون طناً سنوياً وبلغ أدنى انتاج إجمالي للقمح في سورية عام 2018 حيث وصل الى 1.2 مليون طناً وذلك بفعل الجفاف والحرائق التي طالت مساحات واسعة من الأراضي المزروعة بالقمح، ارتفع بعدها الإنتاج ليصل الى 2.8 مليون طناً في عام 2020 (Faostat, 2022).

1-3- أنواع القمح وطرائق تصنيفه:

ينتمي القمح إلى الفصيلة النجيلية Poaceae، وقبيلة Triticeae، وجنس القمح Triticum، ويقسم القمح إلى ثلاث مجموعات اعتماداً على الجينوم (Genome) وهي القمح الثنائي وعدد كروموسوماته 14، والقمح الرباعي عدد كروموسوماته 28 والقمح السداسي عدد كروموسوماته 42 (Branlard *et al.*, 2001).

وتبعاً لـ Miller (1987) تم تقسيم أنواع القمح حسب العدد الصبغي إلى المجموعات التالية:

الأقماح الثنائية (Diploid): 2x = 14 صبغي.

الأقماح الرباعية (Tetraploid): 4x = 28 صبغي.

الأقماح السداسية (Hexaploid): 6x = 42 صبغي.

كما تصنف أنواع القمح بشكل عام إلى أقماح شتوية، وأقماح ربيعية، وأقماح اختيارية (بين الشتوية والربيعية) (Soltner, 2005).

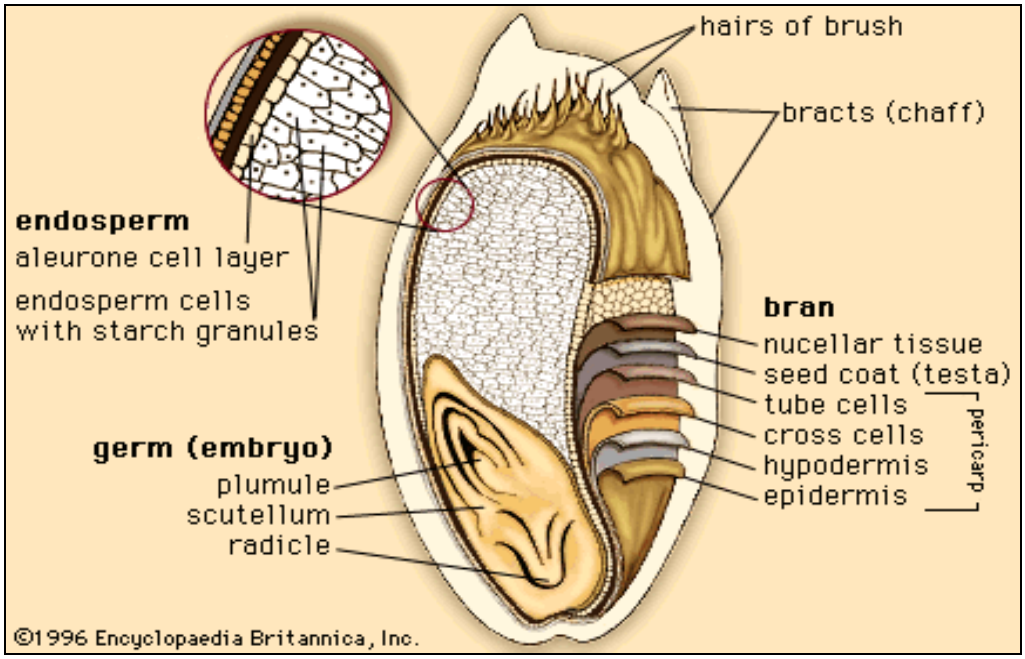
يضم القمح حوالي 35 نوعاً أهمها على المستوى التجاري القمح الصلب (*T. durum*) والقمح الطري أو قمح الخبز (*T. aestivum*). يتميز القمح الطري بحبوب حمراء، أو بنِّية مائلة إلى الاصفرار، أو بيضاء، أو بنفسجية، وتختلف في قوامها من القاسي إلى الطري، ويُزرع في معظم مناطق إنتاج القمح الرئيسية في العالم (Saberi Firouzi *et al.*, 2008)، أما القمح القاسي فيتميز بحبوب صلبة ذات لون أبيض، أو عنبري ويُستعمل في صناعة المعكرونة (Hemerey *et al.*, 2011).

يزرع في سورية عدة أصناف كاليبرودي والحوارني والسلموني والحماري والشيحاني، بالإضافة لبعض الأصناف المُدخلة ومنها القمح الطري الفرنسي فلورنس أورو، والقمح القاسي الإيطالي سيناتور كابيلي، بالإضافة إلى الأصناف المنتجة عن طريق مراكز البحوث الزراعية مثل شام1، وأكساد65، وجزيرة17، وبحوث5، شام2 وبحوث4، حيث تدل أرقام هذه الأصناف على الاقماح الطرية إذا كان الرقم زوجي وعلى الاقماح القاسية بالنسبة للأرقام الفردية (سمينة وعودة، 1994).

تنتج منطقة حوض البحر المتوسط أكثر من 58% من إنتاج العالم من القمح الطري (Nachit, 1998) في حين يشكل إنتاج القمح القاسي أكثر من 10% من الأقماح المنتجة في العالم (Joshi and Nguyen, 1993)، والذي يتميز بحبوب قاسية، كبيرة الحجم، ودرجة بلورية عالية، كما يحتوي على نسبة بروتين أعلى نسبياً، وضعف كمية صبغات الكازنثوفيل المسؤولة عن اللون الأصفر للسميد، ونسبة أعلى من الغلوتين الرطب والجاف وكمية أكبر من بروتين الغليادين مقارنةً مع بروتين الغلوتينين مقارنةً بالاقماح السداسية (Feillet, 1988)، كما يعطي كمية أعلى من النشاء المتهتك عند تحويله إلى دقيق، وهذا يرتبط بارتفاع امتصاصية الدقيق للماء مقاسةً باختبار الفارينوغراف، إلا أنه يحتاج زمن تطور عجين أقصر (Sapirstein *et al.*, 2007).

1-4- التركيب البنيوي والكيميائي لحبوب القمح:

تتألف حبة القمح من ثلاثة أنواع من الأنسجة (الشكل 2)، أغلفة الحبة وهي تتكون من 5 أنسجة متوضعة فوق بعضها لكل منها سمك وطبيعة مختلفة وتشكل 13%، جنين البذرة ويشكل 2% وهو يحتوي أعلى نسبة من اللبيدات والفيتامينات والإنزيمات وأعلى نسبة من الرطوبة في الحبوب الناضجة، الاندوسبيرم وهو يشكل الجزء الاكبر من الحبة ويمثل 85% ويحتوي على النشاء والبروتينات ويضم طبقة الأوليرون الغنية ببروتينات الغليادين والغلوتينين (Barron, 2007).



الشكل (2) البنية التشريحية لحبوب القمح.

(Barron, 2007)

Pericarp (القشرة)، epidermis (البشرة الخارجية)، hypodermis (البشرة الداخلية)، cross cells (الخلايا الاعتراضية)، tube cells (خلايا أنبوبية)، seed coat (غلاف البذرة)، nucellar tissue (نسيج نووي)، Bran (النخالة)، endosperm (أندوسبيرم)، aleurone cell layer (طبقة الأليرون)،endosperm cells with starch granules (خلايا أندوسبيرم داخلية نشوية)، germ (جنين)، hairs of brush (حراشف).

تشكل الكربوهيدرات 65-75% من التركيب الكيميائي لحبوب القمح، وهي تتضمن النشاء، والسليلوز، والهيميسيليلوز، والبنتوازت، والدكسترينات والسكريات البسيطة، وتقسم من الناحية التحليلية إلى نوعين، كربوهيدرات غير ذوابة بالأحماض والقلويات الممددة تحت ظروف محددة وهي الألياف الخام والليغنين، وكربوهيدرات ذوابة بالأحماض والأسس الممددة وهي المادة المتبقية بعد استبعاد الألياف الخام، والبروتينات، والدهون والأملاح المعدنية من محتوى الحبوب (Atwell, 2001).

تتراوح البروتينات بين 8–17% وتختلف نسبتها حسب الصنف والظروف البيئية، و2–6% للمواد الدسمة، وتتراوح الرطوبة بين 12–14 %، وتتركز العناصر المعدنية في الحبوب في أجزاء الأغلفة والجنين، لذلك تفقد الحبوب أثناء تصنيعها جزءاً كبيراً من هذه المعادن فتقل قيمتها الغذائية (Karunakaran *et al.*, 2001)، ولا تتوزع العناصر العدنية المكونة للحبة بشكل متجانس على أجزاء الحبة بل يتفاوت تركيزها من جزء لأخر ولهذا السبب فإن العمليات التي تُجرى على الحبوب أثناء تصنيعها تؤدي لتبديل التركيب الكيميائي للمنتج النهائي، فعند طحن الحبوب يتم فصل الأغلفة والجنين، مما يسبب فقد جزء لا بأس به من قيمتها الغذائية (Feillet *et al.*, 2000)، ويعبر عن المحتوى المعدني بنسبة الرماد. يتراوح رماد القمح عادةً من حوالي 1.25 إلى 2.00% على أساس رطوبة 13.5%، اعتماداً على صنف القمح وظروف النمو ونوع التربة التي نما عليها. يزداد تركيز المعادن من مركز نواة القمح باتجاه طبقة الأغلفة، مع أعلى تركيز في طبقات الألورون والنخالة، لذلك، يمكن استخدام محتوى الرماد كمقياس لتنقية الدقيق الذي تم الحصول عليه في عملية الطحن لفئة قمح معينة ذات منشأ معروف. يمكن أن يختلف محتوى الرماد من سنة إلى أخرى ومن منطقة إلى أخرى ومن طبقة إلى أخرى بنفس الدرجة من استخراج الدقيق. يرتبط محتوى الرماد ولون الدقيق بشكل غير مباشر بالمعالجة وجودة المنتج، مع زيادة محتوى الرماد في كمية معينة من القمح المطحون، يصبح لون الدقيق عادةً باهتاً وتقل قوة العجين وأداء الخبز، ويرجع ذلك أساسًا إلى تخفيف المكونات الوظيفية الموجودة في الاندوسبيرم في معدلات الاستخراج العالية جداً (Khan and Shewry, 2009).

1-5- العناصر المعدنية في القمح:

العناصر المعدنية هي عبارة عن مركبات يحصل عليها الانسان من وجبته الغذائية، وتقسم إلى عناصر معدنية كبرى وهي العناصر التي يحتاجها جسم الإنسان بمقدار كبير مثل الكالسيوم، المغنزيوم، البوتاسيوم وغيرها، وعناصر معدنية صغرى وهي العناصر التي يحتاجها جسم الإنسان بكميات قليلة كالنحاس، الزنك، الحديد،

السيلينيوم وغيرها (Martinez-Ballesta *et al*., 2010)، وتضم العناصر المعدنية الثقيلة (الملوثات المعدنية) والتي تنتج عن المحيط الحيوي، تحدث طبيعياً في الترب والنباتات وكنتيجة لعمليات التصنيع واحتراق الوقود ومن التلوث بمياه المجاري والنفايات الصناعية والمخصبات والأسمدة، وبالتالي فإن النباتات التي تنمو في هذه الترب قد تحتوي مستويات مرتفعة من هذه العناصر مثل الزئبق، الكادميوم، الرصاص، القصدير، الزرنيخ وغيرها (Zornoza *et al*., 2002).

1-6- العناصر المعدنية الصغرى:

تقوم هذه العناصر بوظائفها في النسج بتراكيز ضئيلة، تختلف من نسيج لآخر ومن عنصر لآخر ولكل عنصر منها تركيز مميز يجب الحفاظ عليه وعدم اختلاله إلا ضمن حدود ضيقة للمحافظة على استمرار بناء الجسم واستمرار الصحة والنمو (Soetan *et al*., 2010).

1-6-1- الحديد:

يعد الحديد ومركباته من أكثر العناصر وفرة في الطبيعة إلا أن وفرته هذه لا تنعكس على الأغذية، فالحديد من العناصر النادرة في الأغذية وما يزيد من ندرته انخفاض نسبة امتصاصه في الأغذية، فالحديد الموجود في اللحوم الحمراء لا يمتص إلا بنسبة 20-30% وفي الخضار والحليب لا تتعدى نسبة امتصاصه 1- 1.5% (Hallberg *et al*., 1989)، وهو عنصر هام في تغذية الإنسان لدخوله في تركيب كثير من مكونات الجسم، وتتراوح كميته في جسم الإنسان بين 4-5 غ ومعظمها يتركز في صبغتي الهيموغلوبين والميوغلوبين، كما يوجد في عدد من الأنزيمات مثل البيروكسيداز والكاتلاز (Que and Raymond, 1996).

تعتمد كمية الحديد التي يحتاجها جسم الإنسان على عمره وجنسه، وعموماً يحتاج الإنسان فعلياً من هذا العنصر 10 ملغ/ يوم إلا أن انخفاض امتصاصه في الجهاز الهضمي قد رفع من الكميات الموصى بتناولها للحوامل والمرضعات إلى 14-28 ملغ/يوم وللأطفال الى 5-10ملغ/ يوم (WHO, 1994). ينعكس نقص الحديد

بصورة عامة بضعف عام وكسل وخاصة في المساء وغياب الحماس للعمل وإلتهاب المعدة وفي الحالات الشديدة خفقان بالقلب وضيق بالنفس (Lotfi *et al.*, 1996). ذكر Herbert (1992) أن الإفراط في تناول الحديد وخاصة عند الأطفال يمكن أن يؤدي إلى غثيان وتقيؤ وتعب وخمول وإسهال ويمكن أن يتبع ذلك انهيار قلبي وتحدث الوفاة خلال 6 ساعات في حال تناول أكثر من 2 غ حديد.

1-6-2- النحاس:

يؤدي النحاس دوراً كبيراً في عمليات استقلاب الكربوهيدرات والبروتينات، ويدخل في تكوين أنزيمات الاكسيداز وخاصة أمينو أسيد اكسيداز (Tishchenko *et al.*, 2016). يحتوي الجسم منه 100-150 مغ ويصل تركيزه في المصل الى 122 ملغ/ 100 مل (WHO, 1994).

أوضح Vignola وآخرون (2016) أن محتوى دقيق القمح الكامل من النحاس 0.49 مغ/ 100غ ومحتوى دقيق الزيرو 0.19 مغ/ 100غ. يؤدي نقص النحاس لقلة الكريات البيض المعتدلة وإزالة المعادن من العظام مما يسبب الكسور. كما أن نقص امتصاصه عند الرضع يؤدي لتناذر الشعر الملتوي المنكي والتدهور العقلي وتعرج الأوعية الدموية وقصور الأنزيمات التي تعتمد على النحاس. أما فرط النحاس (مرض ويلسون) فيؤدي لنقص طرحه في الصفراء وارتباطه بالألبومين برباط ضعيف يتحرر منه بسهولة ليطرح في الدم أو يتراكم في النسج مما يؤدي لتخربات وظيفية في الكلى وتغيرات نسيجية متعددة (Ashish *et al.*, 2013). أقر خبراء منظمة WHO/ FAO (2002) أن تناول كمية تصل لأكثر من 200 مغ/كغ من وزن الجسم يعتبر حداً مميتاً، وأشارت إلى أن الحد المسموح به من تناول النحاس يومياً 0.5 مغ/كغ من وزن الجسم (Kashian and Fathivand, 2015).

1-6-3- الزنك:

يحتوي جسم الإنسان 1.4-2.3 غ من الزنك، ويوجد في النسج الخالية من الدهون بتركيز 30 ملغ/غ وفي العظام 200 ملغ/غ وفي الشعر 125-250 ملغ/غ وفي البلازما 80-110 ملغ/100 مل. تختلف المتطلبات من الزنك حسب الحالة الصحية والنشاط والعمر، وفي الأحوال العادية المتطلب اليومي 1-2 ملغ/يوم (Patterson *et al.*, 1984).

تحتوي حبوب القمح على 20-25 ppm زنك إلا أن عملية الطحن تؤدي لانخفاض المحتوى، فالدقيق مثلاً يحتوي 3-9 ppm ويحتوي الخبز من كامل القمح على 2.4-3.5 ملغ/100 غ جزء مأكول (Vignola *et al.*, 2016).

تعتمد العديد من الأنزيمات على الزنك وأهما أنزيم كربونيل أنهيدراز الذي يعمل على التخلص من CO_2 في الكريات الحمراء، كما أن الزنك مكون لعدد من أنزيمات الجهاز الهضمي منها كربوكسي ببتيداز، وللزنك دور في اصطناع DNA والبروتينات، وهو ضروري للمحافظة على مستوى طبيعي من فيتامين A في الدم عبر تسهيل تحرر مخزون هذا الفيتامين في الكبد (Kikafunda *et al.*, 1998). يحدث نقص الزنك عند تناول وجبات حبوب ذات محتوى عالي من الألياف والفايتات مما يسبب متلازمة سوء امتصاص وأمراض في الكلية والكبد (Yanagisawa, 2004).

1-6-4- الكوبالت:

يحتوي الجسم 1-2 مغ من الكوبالت، ويمتص الكوبالت ويطرح عبر الكلى ولا يحتجز الجسم إلا القليل منه والجزء الذي يبقى في الجسم لا يقوم بأي وظيفة فزيولوجية معروفة حتى الآن لأن نسج الإنسان لا تصنع فيتامين B12، ولا تستخدم الكوبالت لهذا الغرض، حيث يتناول الإنسان هذا الفيتامين جاهزاً في غذائه، ولا توجد احتياجات لهذا المعدن ما عدا الاحتياجات التي تدخل ضمن فيتامين B12، إلا أنه وجد أن ميكروغرام كوبالت

تكفي الإنسان يومياً. تزود الوجبات العادية للإنسان في المتوسط 5–8 ملغ كوبالت/يوم، وتظهر في حالة ازدياده سمية خفيفة (Eriksen *et al.*, 1961).

الكوبالت منتشر في كثير من الأغذية الشائعة فتحتوي الحبوب 6–8 ملغ/100 غ، والفول يحوي 18–47 ملغ/100 غ، والبازلاء 14–24 مكغ/100غ (Gupta, 1992).

ومما لاشك فيه أن استنشاق الغبار الحاوي على الكوبالت يمكن أن يسبب ضرر رئوي، واحتكاك الجلد مع المساحيق الصناعية الحاوية على الكوبالت يمكن أن يسبب التهاب جلد، وابتلاع محاليل الكوبالت يمكن أن ينتج غثيان وتقيؤ وتهيج في الغشاء المخاطي المعوي (Leyssens *et al.*, 2017).

1-6-5- السيلينيوم:

تبلغ كميته الكلية في الانسان 10–15 مغ، واحتياجه اليومي 0.01–0.05 مغ. تحوي الأغذية البحرية واللحوم والحبوب كميات مرتفعة نسبياً منه، يقوم السيلينيوم بدور مضاد للأكسدة لوجوده كمكون في أنزيم غلوتاثيون بيرأوكسيداز الذي يقوم بتفكيك فوق الأكاسيد إلى ماء وكحول موقفاً بذلك تكوين الجذور الحرة التي تتحرر من فوق الأكاسيد. يؤدي نقص السيلينيوم لتوسع القلب وقصور القلب الاحتقاني واعتلال العضلة القلبية المعروف بمرض كيشان (Chen, 2012).

1-7- تأثير العوامل البيئية والوراثية في محتوى القمح من العناصر المعدنية الصغرى:

يعتبر القمح مصدراً مهماً للعناصر الصغرى، حيث إنه محصول غذائي أساسي يمكن أن يشكل نسبة كبيرة من المدخول الغذائي في العديد من البلدان. إلا أنه منذ بداية الستينيات مع بداية ظهور "الثورة الخضراء" ظهرت مشكلة النقص الكبير في العناصر الصغرى في المحاصيل (Graham *et al.*, 2007; Welch and Graham, 2005)، وبدأت أصناف الحبوب الحالية عالية الغلة تميل إلى أن تكون أقل في محتوى المغذيات الدقيقة التي كانت تشكل في السابق نسبة أكبر من المحتوى الغذائي. كما ساهمت الزيادة في غلة المحاصيل

بسبب الأصناف المحسّنة والمدخلات الزراعية العالية إلى انخفاض تركيز المغذيات في الحبوب. يعد نقص الحديد (Fe) أكثر أنواع نقص المغذيات الدقيقة شيوعاً، حيث يؤثر في حوالي مليوني شخص في جميع أنحاء العالم ويسبب حوالي مليون حالة وفاة سنوياً (WHO, 2002). يعد نقص اليود والزنك أيضاً من المشكلات الرئيسية، حيث يتسبب نقص الزنك في قصر القامة وضعف وظائف المناعة، مما يؤدي إلى زيادة التعرض لأمراض الجهاز التنفسي والملاريا والإسهال (Cakmak, 2008; Bouis, 2003; WHO, 2002).

يعد القمح الصلب مصدراً مهماً للمغنزيوم (Mg)، المنغنيز (Mn)، الحديد (Fe)، الزنك (Zn)، النحاس (Cu) والموليبدينوم (Mo)، كما أنه مصدر مهم للسيلينيوم (Se) المتوفر حيوياً ما لم يتم زراعته في التربة التي تعاني من نقص السيلينيوم. حبوب القمح الصلب منخفضة في الصوديوم (0.01–0.05 مغ/غ)، بينما التراكيز النموذجية للعناصر الكبيرة الأخرى هي 3.8–5.5 مغ/غ للبوتاسيوم، 5.2–1.8 مغ/غ للفوسفور، 1.5– 1.0 مغ/غ للمغنزيوم و0.32–0.47 مغ/غ للكالسيوم (Ficco *et al.*, 2009; Cubadda *et al.*, 2009; Spiegel *et al.*, 2009). توجد أغلب معادن القمح القاسي في النخالة، ويكون معظم الفسفور الموجود في القمح القاسي على شكل فايتات (O'Dell, 1972)، حيث تقلل الفايتات من التوافر الحيوي للحديد والكالسيوم والزنك في الغذاء، مما قد يقلل من توافر العناصر الصغرى (Zhao *et al.*, 2009).

يمكن أن يختلف محتوى العناصر الصغرى في القمح بشكل كبير تبعاً للعوامل الوراثية ومدى توافر العناصر الصغرى في التربة (Zhao *et al.*, 2009; Zhao and McGrath 2009). يتأثر تركيز الزنك والحديد في القمح القاسي إلى حد كبير بالزنك المتاح في التربة ولكن يمكن أن يتأثر أيضاً بالصنف (Ortiz–Monasterio *et al.*, 2007; Cakmak, 2008). على سبيل المثال، الحديد في 10 أصناف من القمح الصلب تم تقييمها في تجارب الفرز في بريطانيا تراوحت بين 29.6 إلى 36.2 ميكروغرام/غ، بينما تراوح تركيز الزنك من 14.0 إلى 26.0 ميكروغرام/غ (Zhao *et al.*, 2009)، قد تكون بعض الأصناف ذات كفاءة في تراكم المغذيات والمياه من التربة بسبب الجذور العميقة أو غيرها من التكيفات (Bouis, 2000).

يتواجد السيلينيوم في القمح الصلب بشكل أساسي على شكل سيلينوميثيونين عالي التوفر حيوياً (Cubadda *et al*., 2009)، ويمكن أن يظهر تبايناً مرتفعاً اعتمادًا على تركيز النباتات التي يمكن الوصول إليها في التربة. (Combs Jr., 2001). يتم تحديد تركيز السيلينيوم في القمح إلى حد كبير من خلال البيئة، ولا سيما مستواه في التربة التي ينمو فيها النبات، مع اختلاف بسيط نسبيًا بسبب العوامل الوراثية (Lyons *et al*., 2005). تشير التقديرات إلى أن ما يصل إلى مليار شخص قد يعانون من نقص في السيلينيوم، مع انتشار أوجه القصور في أوروبا الغربية بسبب المستويات الطبيعية المنخفضة للسيلينيوم في التربة (Adams *et al*., 2002; Rayman, 2002). على سبيل المثال، انخفض متوسط المدخول الغذائي من السيلينيوم في المملكة المتحدة بشكل ملحوظ مع تحول إمدادات القمح من أمريكا الشمالية إلى الإنتاج المحلي (Adams *et al*., 2002). يمكن أن يؤدي نقص السيلينيوم إلى أمراض القلب والأوعية الدموية وقد يساهم في إلتهاب المفاصل الروماتويدي وإلتهاب البنكرياس والربو وانخفاض الاستجابة المناعية (Rayman, 2002). يلعب السيلينيوم أيضًا دورًا في مواجهة بعض أنواع العدوى الفيروسية، وفي الإنجاب الناجح، وفي وظيفة الغدة الدرقية، وفي تقليل مخاطر الإصابة بالسرطان (Rayman, 2002).

يعتبر القمح مصدرًا جيدًا للعناصر الصغرى، لكن عملية الطحن تقلل من تركيزها، خاصة في حالة المنغنيز والحديد والمغنيزيوم والزنك، نظرًا لتركيزها المنخفض نسبيًا في الاندوسبيرم. في العديد من البلدان في الأمريكتين وأوروبا والشرق الأوسط وآسيا، يتم تعزيز منتجات الحبوب بما في ذلك المعكرونة بالحديد وأحيانًا الكالسيوم، إلى جانب الفيتامينات التي يتم فقدانها أيضًا في منتجات الحبوب المصنعة من الدقيق ذو نسب الاستخراج المنخفضة، لذلك يفضل استهلاك الحبوب الكاملة لانها تزيد من كمية العناصر الغذائية الصغرى المتاحة من القمح، على الرغم من أن التوافر البيولوجي أقل عموماً لأن مكونات الألياف تربط العناصر (Martorell and Trowbridge, 2002; Uauy *et al*., 2002).

1-8- الخصائص الفيزيائية والكيميائية لحبوب القمح:

يتباين التركيب الكيميائي لحبوب القمح بدرجة كبيرة نتيجة لتنوع أصناف القمح والمناخ والموقع الجغرافي وموسم الزراعة والهطول المطري وموعد النضج بالإضافة إلى المعاملات الزراعية المطبقة، ويؤثر هذا التباين بشكلٍ كبير في نوعية المنتجات المصنعة منها من جهة، وكذلك على القيمة الغذائية وسعر المنتج من جهةٍ أخرى (مصطفى، 1993). وأشار Sassi وآخرون (2012) على وجود ارتباط وثيق بين الصفات الوارثية والعوامل البيئية.

توجد علاقات ارتباط قوية بين مكونات الحبة وبعض خصائصها، ففي دارسة أُجريت من قبل EL-Khayat وآخرون (2006) على بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتسعة طرز وراثية من القمح القاسي السوري تبين أن كمية البروتين ارتبطت إيجابياً وبدرجة عالية مع البلورية، وتراوحت نسبة النشاء في الحبوب غير البلورية (71.1-73.1%) وكانت أعلى من نسبتها في الحبوب البلورية (63.8-66.2%)، بينما أظهرت الحبوب غير البلورية انخفاضاً في محتواها من الأميلوز مقارنةً مع الحبوب البلورية وتراوحت نسبة البروتين الخام في الأصناف المدروسة بين 12.1-12.93% وتميز الصنفان شام1 وبحوث7 بارتفاع محتواهما من البروتين الخام وأعلى نسبة في صفة الحبوب البلورية بين الأصناف المدروسة.

تعد القساوة إحدى أهم العوامل المحددة المؤثرة في القمح وكيفية تصنيعه، حيث تستخدم الأقماح القاسية لإنتاج السميد والمتوسطة القساوة في إنتاج دقيق الخبز والأقماح الطرية لإنتاج البسكويت والكيك (Dziki and Laskowski, 2005)، ووجد Samaan وآخرون (2006) أنَّ كلاً من المحتوى البروتيني لحبوب القمح وارتفاع صلابتها وبلوريتها يؤدي دوراً هاماً في تحديد زمن الطهي اللازم لمنتجات القمح القاسي، كما تؤدي صلابة الحبوب دوراً في تحديد استعمالات القمح التصنيعية، فالقمح القاسي يستخدم في صناعة السميد والمعكرونة والبرغل والفريكة، بينما بيَّن Posner و Hibbs (2005) أن لقساوة القمح التأثير الأكبر في عملية

الطحن، حيث أن نسبة استخراج الدقيق المنتج قد تختلف جوهرياً وفقاً لقساوة القمح، حيث يعطي القمح القاسي السميد في الكسرات الأولى بينما تعطي الأقماح الطرية جزيئات الدقيق مباشرة.

يتأثر المحتوى المائي لحبوب القمح، بظروف التخزين والطبيعة المائية لحبة القمح والعوامل الوارثية والبيئية السائدة، وتمتلك حبوب القمح طبيعة محبة للماء تتأثر بشكل رئيسي بالظروف المناخية السائدة كالرطوبة ودرجة حرارة الجو أثناء التخزين والتي تؤثر ايضاً على صلابة الحبوب حيث تتميز الحبوب الطرية بارتفاع نسبة رطوبتها مقارنة مع حبوب القمح الصلبة (Ijaz *et al.*, 2001).

يعتبر محتوى الرماد في الحبوب من المقاييس الهامة المرتبطة بجودة الطحن، ومردود الدقيق، ودرجة نقاوته، حيث يمكن من خلال تحديد نسبة الرماد تحديد كفاءة عملية الطحن والذي تبلغ نسبته عادةً 2-4% محسوبة على أساس نسبة رطوبة 14% (Halverson and Zeleny, 1988)، وبيَّن حبيبه (2015) أن النسبة المنخفضة من الرماد في الدقيق لم تؤثر في نوعية الخبز، كما أن الخبز المصنوع من الدقيق العالي بنسبة الرماد يتميز بلونه الداكن.

يعد وزن الألف حبة في القمح مؤشراً على امتلاء الحبوب ودرجة نضجها، ومؤشراً على مردود الدقيق الناتج عن الحبوب (Williams *et al.*, 1988)، كما يعد الوزن النوعي للحبوب من المؤشرات الفيزيائية الهامة، وهو يتأثر بعدة عوامل مثل نسبة الأندوسبرم، والرطوبة، والإصابات الحشرية (Dobraszczyk *et al.*, 2002).

1-9- تقانة طحن حبوب القمح:

تعد عملية الطحن من العمليات التكنولوجية المعقدة والتي تهدف إلى فصل الاندوسبرم عن أجزاء الحبة الأخرى (الأغلفة والجنين) ثم خفضه إلى سميد ثم إلى دقيق. وتتضمن هذه العملية عدة مراحل تضم التنظيف، التكييف، الطحن، النخل والتنقية. تتأثر عملية الطحن بالخصائص الفيزيوكيميائية للحبوب والتي تتأثر بدرجة كبيرة بالعوامل الوارثية والبيئية (Dexter and Edwards, 1998a,b)، حيث وجد أن 75% من جودة

الدقيق الناتج بعد الطحن تعود إلى جودة الحبوب المستخدمة، بينما يعود 25% منها إلى إعدادات عملية الطحن (Posner and Hibbs, 1997; Wrigley and Bietz, 1987).

بينت عدة دراسات أهمية عملية التكييف في جودة عملية الطحن، وتعد عملية التكييف جزء هام من عملية تحضير الحبوب للطحن وهي عملية إزالة أو إضافة الماء إلى الحبوب على مراحل متعددة ودرجات حرارة معينة وتريحها لأوقات معينة وذلك بهدف الوصول إلى المحتوى المائي الأمثل للطحن في الحبوب والذي يكون عنده أداء الطحن أعظمي من حيث انفصال أجزاء الحبة المختلفة، نسبة الاستخراج وجودة الدقيق الناتج. وقد بيَّن Bass (1988) أن عملية التكييف تساهم بجعل الأغلفة أكثر مقاومة للكسر وأسهل عند الفصل بالمناخل، بينما تجعل الاندوسبيرم أكثر قابلية للتفتت والتكسر أثناء عمليات الطحن بالإضافة إلى سهولة انفصاله عن الأغلفة والجنين.

يختلف المحتوى المائي الأمثل لعملية الطحن تبعاً لنوع القمح (قاسي، طري) وصلابة الحبوب ونسبة البروتين والمحتوى المائي الأساسي للحبوب ودرجة حرارة الماء المستخدم للتكييف، حيث تتم عملية التكييف حتى الوصول إلى محتوى مائي يتراوح بين 15.5–17% للقمح القاسي، و14–15.5% للقمح الطري، ويتراوح زمن إجراء عملية التكييف بين 12–14 ساعة للحصول على نسب استخراج وجودة عالية للدقيق وذلك بالاعتماد على نوع وصنف القمح والمحتوى المائي المطلوب (Khan and Shewry, 2009).

تمر عملية الطحن بثلاث مراحل هي الكسرات والتخافيض والتحاويل والتي تتم بواسطة أسطوانات مسننة أو ملساء تبعاً لمرحلة الطحن (Posner and Hibbs, 1997). يتم في مرحلة الكسرات جرش حبوب القمح لتعطي حبيبات ذات أحجام مختلفة ويوجد في المطاحن الحديثة من أربع إلى خمسة مراحل للكسرات، ويتم في هذه المرحلة الحصول على أكبر كمية من السميد الخشن والناعم، بينما يكون الدقيق الناتج منخفض الكمية والنوعية (Iuliana *et al.*, 2010). يعد السميد الناتج بأنواعه الخشن والمتوسط والناعم من الكسرات الثانية والثالثة والسميد الخشن من الكسرة الأولى من أجود أنواع السميد، بينما السميد الوسط والناعم من الكسرة الأولى والسميد

الخشن والناعم والوسط من الكسرة الرابعة وما بعد يعتبر من الدرجة الثانية من حيث الجودة (Gomez-Becerra *et al.*, 2010). تنتج مرحلة الكسرات السميد بأنواعه بنسبة (62-65%) ودقيق بنسبة (12-15%) ونخالة بنسبة (5.7%) (Ahmed *et al.*, 2020).

يضم خط الطحن عادة ثلاث مراحل للتخافيض (Reduction system) يتم فصل الجنين في الخطوات الأخيرة من هذه المرحلة، وهدفها الحصول على أكبر كمية من الدقيق جيد النوعية نتيجة تخفيض حجم جزيئات الإندوسبيرم إلى دقيق. وينتج الدقيق في هذه المرحلة بنسبة (25%) عند نسبة استخراج (82%) وبمواصفات عالية، كما تؤمن تغذية لمرحلة التحاويل. يخصص لمرحلة التخافيض مساحات نخل كبيرة من مساحة النخل الكلية (Atwell, 2001)، ويتم في هذه المرحلة أيضاً ضبط كمية النشاء المتهتك مع خفض كمية جزيئات النخالة المارة من المناخل إلى الدقيق إلى حدودها الدنيا (Ahmed *et al.*, 2020).

مرحلة التحاويل (Scratch system) هي المرحلة الأخيرة من مراحل الطحن، تعطي المراحل الأولى منها دقيق بنسبة عالية ومواصفات جيدة، بينما تعطي المراحل الأخيرة دقيق بنسب منخفضة ومواصفات سيئة (Lundgren, 2011)، ينتج الدقيق في هذه المرحلة بنسبة (42%) عند نسبة استخراج (82%) وبالتالي فهي المرحلة الأكثر إنتاجاً للدقيق (Posner and Hibbs, 1997).

تتميز مواصفات الدقيق في جميع مراحل الطحن الأولى بالجودة، حيث يكون مصدر الدقيق هو الإندوسبيرم الخالي من الأغلفة، ففي المراحل الأولى من الكسرات والتخافيض والتحاويل تكون الجودة مرتفعة ونسبة الاستخراج منخفضة، ومع تقدم عملية الطحن ترتفع نسبة الاستخراج وتسوء المواصفات الدقيق الناتج من حيث ارتفاع نسبة الرماد ودرجة اللون بسبب ارتفاع نسبة أغلفة الحبة (النخالة) الناعمة في الدقيق الناتج (Ahmed *et al.*, 2020).

تُعرف نسبة استخراج الدقيق بأنها النسبة المئوية لكمية الدقيق التي يمكن الحصول عليها من 100 كغ حبوب، وتتراوح نسبة الاستخراج الطبيعية في المطاحن التجارية بين (70-77%) والتي تتألف بشكل أساسي من

الأندوسبيرم وكمية قليلة من جزيئات النخالة (Dziki and Laskowski, 2005). يتميز الدقيق منخفض الاستخراج بكونه أكثر بياضاً من الدقيق المرتفع الاستخراج وتخزينه أسهل، لكنه منخفض في القيمة الغذائية وذو محتوى قليل من الفيتامينات والبروتينات والعناصر المعدنية كالحديد والكالسيوم، ولهذا فالمنتجات المصنعة من هذا الدقيق أقل بقيمتها الغذائية مقارنةً مع المصنعة من دقيق القمح الكامل (Mueen-ud-Din *et al*., 2010). تختلف جودة الدقيق باختلاف نسبة الاستخراج وترتفع القيمة الغذائية للدقيق عالي الاستخراج وذلك لبقاء أجزاء من الأليرون، وأغلفة الحبوب الغنية بالفيتامينات والعناصر المعدنية ومضادات الأكسدة، ولا يحتاج الدقيق عالي نسبة الاستخراج إلى أي إضافات داعمة (Buri *et al*., 2004; Esposito *et al*., 2005; Zhou *et al*., 2004). وأكد Posner و Hibbs (1997) أن قيمة الرماد ترتفع بارتفاع نسبة الاستخراج، كما تؤثر نسبة الاستخراج في الخصائص الريولوجية للدقيق وجودة المنتج النهائي (Moradi *et al*., 2016). تتوقف خصائص الجودة للدقيق على نسبة الاستخراج، ففي حال إنتاج دقيق عالي الجودة (دقيق الزيرو) تكون نسبة الاستخراج (70-72%) من الإندوسبيرم النظيف الخالي من الأغلفة، ويتميز هذا الدقيق بانخفاض نسبة الرماد ودرجة اللون، وتشكل نسبة الاستخراج في دقيق الحبوب الكامل (100%) والدقيق الناتج يمتاز بارتفاع نسبة الرماد ودرجة اللون. تعد العلاقة بين نسبة استخراج الدقيق ونسبة الرماد ودرجة اللون إيجابية كما هو مبين في الجدول (2).

الجدول (2) العلاقة بين نسبة استخراج الدقيق واللون.

نسبة استخراج الدقيق (%)	درجة اللون (Kent-Jones)
72	1.5-1
75	4.5-2
80	7.5-5
85	12.5-8

(Azizi *et al*., 2006)

1-10- تأثير العوامل الوراثية والبيئية في تركيب حبوب القمح:

تتم زراعة القمح في مجموعة واسعة من الظروف البيئية والتربة، ويواجه مزارعو القمح العديد من التحديات للوصول إلى غلّةٍ مرتفعة وأيضاً معايير جودة مستدامة وقابلة للتطبيق اقتصادياً، ومن بين التحديات الرئيسة، تحديد الممارسات الزراعية أو الأصناف التي قد تُساعد في الحد من مدخلات الأسمدة ومبيدات الأعشاب والمعاملات الكيميائية لمكافحة الأمراض والحشرات (Faris, 2014). بشكلٍ عام، تُعد حبوب القمح مصدراً أساسياً للطاقة (الكربوهيدرات)، والبروتينات، والفيتامينات، والمعادن (خاصةً المعادن الصغرى، مثل الحديد والزنك) في الوجبات الغذائية البشرية (Filipcev *et al.*, 2018)، والواقع أنَّ الفوائد المحتملة للقمح في صحة الإنسان معروفة جيداً وقد تمّت دراستها على نطاقٍ واسع (Kärkkäinen *et al.*, 2018)، وإلى جانب المكونات الرئيسة، فإنَّ العديد من المغذيات النباتية Phytochemicals تمنح خصائص مضادة للأكسدة (Mao *et al.*, 2018)، وتُسهم الألياف الغذائية في تقليل مخاطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية وسرطان القولون (Shewry and Hey, 2015). وقد تبيّن أنَّ التباين المرتفع في هذه المكونات المعززة للصحة يتأثر بالعوامل الوراثية والبيئية (Laddomada *et al.*, 2017). تمَّ في السنوات الأخيرة لزيادة محتوى المعادن في حبوب القمح بذل العديد من جهود التربية والتحسين الوراثي والتسميد (Biofortification)، التي تركزت بشكلٍ رئيس على القمح السداسي، وأدّت هذه الدراسات إلى تطوير الأصناف الهجينة من محاصيل الحبوب، التي تمتلك نحو (30-40%) أكثر من الزنك بالمقارنة مع الأصناف الأخرى (Velu *et al.*, 2015)، وربما كانت هذه النتائج بسبب تحديد أصناف القمح ذات محتويات الزنك المرتفعة (Guzmán *et al.*, 2014)، التي تمَّ تهجينها لاحقاً بأصناف القمح المستنبطة حديثاً التي لا تختلف كثيراً بشكلٍ عام من حيث محتواها من العناصر المعدنية (Cakmak *et al.*, 2010). حتى الآن، تُعد أبحاث تقييم المستويات المعدنية الحالية في أصناف القمح القاسي وفي سلالات القمح الرباعية الأخرى ملحة لدعم مدى التباين الوراثي المتاح داخل مجموعة المادة الوراثية الأولية (Magallanes-López *et al.*, 2017). في الواقع، يُعد تقييم

التباين الوراثي للمحتوى المعدني أمراً ضرورياً لنجاح أنشطة التهجين والتربية، التي تهدف إلى تطوير طرزٍ وراثية جديدة من القمح الغني بالعناصر المعدنية المغذية الصغرى التي تعطي أيضاً غلّة مرتفعة من الحبوب (Yan *et al.*, 2018). أشارت الدراسات المرجعية إلى تفوق الأصناف القديمة على أصناف القمح الحديثة ذات الكفاءة الإنتاجية المرتفعة بالعناصر المعدنية المغذية (Shewry *et al.*, 2016)، ولكن لا يزال هناك نقص كبير في القمح الرباعي (Murphy *et al.*, 2008). وقد أشارت العديد من الدراسات السابقة إلى أهمية بذل المزيد من الجهود للبحث في تأثير مواقع النمو المختلفة في تراكم المعادن في حبوب القمح القاسي لتحديد تأثير التفاعل المتبادل بين العوامل البيئية والعوامل الوراثية التي من الممكن أن تؤدي إلى زيادة محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى، مثل الزنك، والحديد، والمنغنيز والنحاس، التي لها وظائف فزيولوجية مهمة لدى الإنسان (Kaur *et al.*, 2014).

تتسم حبوب أصناف القمح الطري (*Triticum aestivum* L.) ذات الكفاءة الإنتاجية المرتفعة، بشكلٍ عام، بمحتوىً متدنٍ من العناصر الغذائية الأساسية والعناصر المعدنية الصغرى (Fan *et al.*, 2008)، وإنَّ تراكيز العناصر النادرة والفيتامينات، ذات القيمة المرتفعة للتغذية البشرية، تنخفض بشكل طردي مع زيادة الغلّة الحبية، التي لها عواقب سلبية، بما في ذلك "الجوع الخفي" (Hidden hunger) (Cakmak *et al.*, 2010). تقدم الأبحاث العلمية معلومات ضئيلة عن الاختلافات في تركيزات العناصر الصغرى في أنواع القمح المختلفة (Abd-el-Aal *et al.*, 1995)، وبيَّن Ruibal-Mendieta وآخرون (2005) أنَّ أصناف القمح (*Triticum spelta*) تحتوي على تركيزات أعلى بنسبة 30% إلى 60% من Fe، Zn، Cu، Mg وP بالمقارنة مع أصناف القمح الطري (*Triticum aestivum* L.)، ووجد Lachman وآخرون (2011) ارتفاع محتوى السيلينيوم في حبوب أصناف القمح (*Triticum dicoccum*) وأصناف القمح (*Triticum monococcum*)، حيث بلغ (58.9-68.4 و50.0-54.8 ميكروغرام.كغ$^{-1}$ من الوزن الجاف على التوالي)، في حين انخفض محتوى السيلينيوم في أصناف القمح الربيعية، وتراوح بين (29.8-39.9

ميكروغرام.كغ$^{-1}$ من الوزن الجاف). ويُعد محتوى السيلينيوم في الحبوب مهم لأنَّ بعض التربة فقيرة بعنصر السيلينيوم، وهو معدن نادر للإنسان له تأثير مفيد في الصحة ولديه أيضاً نشاط مضاد للأكسدة (Lachman *et al.*, 2012). على عكس ذلك، بعض المعادن الثقيلة (Cd، Pb) شديدة السمية، وهناك جهد لتقليل محتواها في حبوب القمح عن طريق المعاملة بمنظمات النمو النباتية (Brassinosteroids hormones) (Kroutil *et al.*, 2010).

وفقاً لمنظمة الصحة العالمية، يحتل عوز الزنك المرتبة 11 من بين أهم 20 عاملاً خطراً يُسهم في عبء المرض في العالم، ويحتل المرتبة الخامسة من بين أهم 10 عوامل في البلدان النامية، في حين يحتل عنصر الحديد المرتبة السادسة (WHO, 2002). وتزداد أهمية نقص العناصر المعدنية الصغرى في النباتات على مستوى العالم، فقد وجد أنَّ الزراعة المكثفة للأصناف ذات الكفاءة الإنتاجية المرتفعة مع إضافة الأسمدة الآزوتية (N) والفوسفورية (P) والبوتاسية (K) بكميات كبيرة تؤدي إلى حدوث نقص في مستوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى (Cakmak, 2002). وفقاً لـ Graham و Welch (1996) فإنَّ ما يقارب من 50% من التربة المزروعة لإنتاج الحبوب على مستوى العالم لديها مستويات منخفضة من الزنك المتاح للنبات، وغالباً ما يُلاحظ نقص الحديد في الترب الحامضية والجيرية في المناطق القاحلة، وقد تُعزز مياه الري والتربة التي تحتوي على مستويات عالية من البيكربونات (HCO_3^-) من نقص الحديد، وينخفض توافر الزنك والمنغنيز أيضاً مع زيادة درجة حموضة التربة (Havlin *et al.*, 2005).

1-11- تأثير عملية الطحن في تركيب حبوب القمح:

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 *et al.*, 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 *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2016). 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 (Kang *et al.*, 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 *et al.*, 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 and Hibbs, 1997). لا تتوزع المغذيات 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 and Prakash, 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 الأنزيم مثل مثبط التربسين، والمعادن وبعض الفيتامينات (Garcia-Estepa *et al.*, 1999). بينت معظم الدراسات أن خفض مركبات الفيتات والتانين والفينول في الدقيق أدى إلى تحسين توافر المعادن وهضم البروتين والكربوهيدرات (Ramberg and McAnalley, 2002)، ومع ذلك، فإن هذه المكونات تظهر أيضاً خصائص قوية كمضادة للأكسدة قد توقف نشاط الجذور الحرة وتقلل الإجهاد التأكسدي في جسم الإنسان (Harland and Morris, 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)، 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 *et al.*, 2007). 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 and Prakash, 2016). بيَّن Cubadda وآخرون (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%).

1-12- تأثير العمليات التصنيعية في خصائص جودة الخبز:

يُعد الخبز في تغذية الإنسان ليس فقط مصدراً للطاقة، ولكنه أيضاً مورد للعناصر الغذائية التي لا يمكن تعويضها في جسم الإنسان، فهو يوفر القليل من الدهون، وكميات عالية من النشاء والألياف الغذائية وكذلك بروتين الحبوب دون أي مشاكل صحية مصاحبة (Wandersleben *et al.*, 2018)، وكما يحتوي الخبز على فيتامينات من مجموعة B ومعادن معظمها المغنيزيوم والكالسيوم والحديد (Lu *et al.*, 2021)، وتكون هذه التركيبة أكثر اكتمالاً، بالطبع، في الخبز الذي يتم الحصول عليه من الدقيق الكامل أو أنواع الدقيق مرتفعة نسبة الاستخراج (El-Porai *et al.*, 2013). ومن الواضح أن الخبز يمثل غذاءً لا يمكن الاستغناء عنه للبشر دون التعرض لخطر الاستهلاك المفرط بغض النظر عن الجنس والوضع الاجتماعي لكل فرد، لذلك، يمكن أن يكون مورداً مثالياً للمغذيات الدقيقة في تلك الحالات التي يتم تدعيمه بها في النهاية (Tulchinsky, 2010)، وهذا ينطبق بشكل خاص على البلدان التي يزداد فيها استهلاك الخبز مثل بلدنا (El-Haramein and Adleh, 1994).

تعد حبوب القمح هي المحصول الغذائي الرئيسي المنتج في جميع أنحاء العالم، وتستخدم الغالبية لإنتاج الخبز المخمر (Mitiku *et al.*, 2018)، حيث تتكون بنية حبة القمح من ثلاثة أجزاء رئيسية هي الاندوسبيرم، الجنين، والنخالة بتركيبة فيزيوكيميائية مختلفة (Gutiérrez-Alamo *et al.*, 2008)، ولإنتاج الخبز الأبيض، يتم استخدام الاندوسبيرم فقط ويكون ذو جودة تصنيعية أعلى مقارنةً بخبز القمح الكامل، على الرغم من

الاعتراف بأن خبز القمح الكامل له فوائد صحية غذائية أفضل من الخبز الأبيض (Heshe *et al*., 2016). فيما يتعلق بالمعادن، يشكل الخبز أيضاً مصدراً مهماً للعناصر المعدنية الكبرى والصغرى (Rybicka and Gliszczynska-Swiglo, 2017)، حيث تلعب المعادن في جسم الإنسان وظائف هيكلية وتحفيزية وتنظيمية، فهي تنشط الأنزيمات وتنظم درجة pH السوائل للتفاعلات الأيضية والتبادلات التناضحية الخلوية (Gharibzahedi and Jafari, 2017). حتى وقتنا الحاضر، لا يزال نقص المعادن شائعاً في البلدان النامية، ويعد نقص الحديد هو النقص الغذائي الأكثر شيوعاً في العالم، لكن نقص الزنك شائع جداً أيضاً، ومن المحتمل أن يكون التوافر الحيوي المعدني للأنظمة الغذائية القائمة على الحبوب في البلدان النامية هو السبب الرئيسي لأوجه النقص هذه (Abebe *et al*., 2007).

تم إدخال خلائط الدقيق (الدقيق المركب) المحتوية على أنواع متعددة من الحبوب (Cereals) و / أو الحبوب الكاذبة (Pseudocereal)، وهي الحبوب التي لا تتبع العائلة النجيلية ولكن تستخدم بنفس الطريقة مثل القطيفة والكينوا والحنطة السوداء، بشكل متزايد في صناعة المخبوزات، وبشكل أساسي في إنتاج الخبز لزيادة قيمته الغذائية (Sayed *et al*., 2016)، وقد أفاد العديد من الباحثين أن الاستبدال الجزئي للقمح و / أو تدعيمه بحبوب أخرى و / أو الحبوب الكاذبة زاد بشدة من القيمة الغذائية للخبز، ولا سيما البروتينات والمعادن والدهون الصحية ومضادات الأكسدة ومحتوى الألياف (Iglesias-Puig *et al*., 2015).

تمَّ دراسة المحتوى المعدني (بشكل أساسي العناصر المعدنية الكبرى والصغرى) في خبز القمح الأبيض ومن مناطق جغرافية متنوعة بشكلٍ واسع (Bilgiçli and Ibanoglu, 2015)، وقد أثبت أن متوسط المحتوى المعدني لحبوب صنف قمح معينة يختلف اختلافاً كبيراً من جزء من العالم إلى آخر، ويبدو أن هذا المحتوى المعدني تابع لعدد من العوامل، بما في ذلك نوع وصنف القمح، وظروف النمو والتربة، واستخدام الأسمدة، كما وجد أن التركيب المعدني للقمح له علاقة أكبر بالظروف البيئية منه بالعوامل الوراثية (Marles, 2017).

يُعد القمح هو المادة الخام الأساسية المستخدمة في إنتاج الدقيق للخبز العربي، ويكون محتوى العناصر الغذائية الهامة في الدقيق أقل من محتوى القمح، فأثناء عملية الطحن، يتم نزع الاندوسبيرم النشوي فقط، حيث لا تشتمل منتجات الحبوب المكررة، مثل الدقيق الأبيض، على النخالة الغنية بالألياف الغذائية، ولا على الجنين الذي يحتوي على وفرة من المعادن مثل الحديد، المغنيزيوم، الزنك والكالسيوم والمركبات المضادة للأكسدة، وبالتالي ينتج عن إزالة النخالة والجنين خسارة كبيرة في العناصر الغذائية الهامة (Heshe *et al*., 2015).

الفصل الثاني

مواد وطرائق البحث

Materials and Methods

2- مواد وطرائق البحث MATERIALS AND METHODS:

2-1- مواد البحث:

1. تمَّ اختيار صنفين من القمح الطري السوري (*Triticum aestivum* L.) هما دوما6 وبحوث10، وصنفين من القمح القاسي السوري (*Triticum turgidum* L. *var durum*) هما دوما3 وشام9، والمزروعة في منطقتين مخلفتين (مركز البحوث الزراعية بدمشق حقل قرحتا، وحقل مدينة حمص) التابعتين للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية وزارة الزراعة، خلال موسمي الزراعة 2019/2018 و2020/2019.
2. نُظفت عينة القمح من الشوائب والأجرام باستخدام منخلين، الأوّل قطر فتحاته 2×20 مم والثاني قطر فتحاته 1×20 مم.
3. رُطِّبت حبوب القمح الطري إلى درجة رطوبة 15.5% لمدة 10 ساعة، وحبوب 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).
4. 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%.

2-2- الاختبارات الفيزيوكيميائية للحبوب:

2-2-1- الوزن النوعي:

قدر الوزن النوعي لحبوب القمح المدروسة حسب الطريقة المتبعة في AACC رقم 10-55 (AACC, 2000) حيث يُقاس وزن الحبوب باستخدام جهاز الهيكتوليتر ذو الخلية ربع ليتر، ثم تحويل الوزن إلى وزن بوحدة حجم (كيلوغرام/هيكتولتر).

2-2-2- وزن الألف حبة:

قُدِّر وزن الألف حبة حسب (Samaan, 2007) باستخدام عدّاد الحبوب الإلكتروني، حيث تعد الحبوب في عينة عشرة غرام من الحبوب النظيفة، ثم تعديل النتيجة إلى وزن 1000 حبة من الحبوب.

2-2-3- درجة البلورية:

قُدِّرت درجة البلورية لأنواع القمح المستخدمة بإتباع الطريقة اليدوية حسب (Samaan, 2007)، وذلك بأخذ عينة 50 غرام من حبوب القمح وفُصلت عنها الحبوب القرنية (الحبوب ذات المظهر القرني واللون العنبري الخالية تماماً من التقرحات)، ثم وُزِّنت الحبوب القرنية وحُسبت درجة البلورية من المعادلة:

درجة البلورية (%) = (وزن الحبوب القرنية/ وزن العينة) × 100

2-2-4- النسبة المئوية للرطوبة:

قُدرت الرطوبة للحبوب حسب AACC رقم 44-A15 (AACC, 2000)، حيث تم وضع عينة من 2-3 غرام من دقيق الحبوب في أطباق التجفيف وتجفيفها لمدة 60 دقيقة على درجة حرارة (103 مْ)، ثم حُسبت النسبة المئوية للرطوبة من المعادلة:

$$\text{المحتوى المائي \%} = \frac{\text{المحتوى المائي المفقود (غ)}}{\text{وزن العينة الأساسي (غ)}} \times 100$$

2-2-5- النسبة المئوية للرماد:

قِيست النسبة المئوية للرماد حسب AACC رقم 08-01 (AACC, 2000) وعُبّر عنها كنسبة مئوية من الوزن الجاف.

تم وضع 2-3 غرام من دقيق الحبوب في أطباق الترميد وترميد العينة على درجة حرارة (575-590 مْ) حتى الحصول على لون رمادي فاتح.

وحُسبت النسبة المئوية للرماد من المعادلة:

$$\text{الرماد \%} = \frac{\text{وزن الرماد المتبقي (غ)}}{\text{وزن العينة الأساسي (غ)}} \times 100$$

$$\text{الرماد \% (على اساس الجاف)} = \frac{\text{النسبة المئوية للرماد (\%)}}{100 - \text{النسبة المئوية للمحتوى المائي (\%)}} \times 100$$

2-2-6- النسبة المئوية للبروتين:

قُدِّر النتروجين الكلي في دقيق الحبوب بطريقة كلداهل (Crude Protein-Improved Kjeldahl) حسب AACC رقم 10-46 (AACC, 2000)، ثم حُسِب البروتين الكلي باستخدام معامل التحويل (N×5.7).

حُوِّلت النسبة المئوية للبروتين الرطب إلى الوزن الجاف من المعادلة:

$$\text{البروتين \% (على اساس الجاف)} = \frac{\text{النسبة المئوية للبروتين (\%)}}{100 - \text{النسبة المئوية للمحتوى المائي (\%)}} \times 100$$

2-3- تقدير العناصر المعدنية الصغرى:

تمَّ تقدير العناصر المعدنية الصغرى في حبوب القمح (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت) 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)، يضاف إلى ذلك وجود مرمدة وساحبة زجاجية عاملة بصورة جيدة ومحاليل معيارية للعناصر المراد الكشف عنها.

2-3-1- المبدأ العام:

تعتمد طريقة تقدير العناصر المعدنية الصغرى على مبدأ الترميد في فرن الغرافيت (Graphite furnace) في جهاز الامتصاص الذري.

في هذا الجهاز يستخدم اللهب لتحويل محلول العنصر أو أيوناته إلى ذرات في حالة غازية في حالتها الثابتة (Ground State)، ثم تعريض تلك الذرات في اللهب إلى أشعة ضوئية على طول موجة يساوي بالضبط طول الموجة الذي يشعه العنصر إذا حدث له إنتقال إلكتروني. وبذلك فإن الذرات يمكنها أن تمتص هذا الطول الموجي وتتحول إلى حالة متهيجة (Excited State) وبالتالي يمكن حساب تركيز العناصر المختلفة، حيث أن كمية الطاقة الممتصة تتناسب طردياً مع عدد الذرات المتهيجة والموجودة في ممر الضوء والتي تعتمد على درجة حرارة وتركيب اللهب. ويتم حساب تركيز العنصر بالمقارنة بمحلول قياسي (Standard Solution) سبق تحضيره.

ونظراً لعدم ثبات اللهب من حين لآخر فمن الضروري في كل عينة أن تحضر من ثلاثة مكررات إذا أمكن، ولكن من المعتاد عمل العينة الواحدة مرتين هذا ويكون تركيز العينة في حدود التركيزات القياسية المحضرة حتى يمكن تفادي الأخطاء الناشئة عن استخدام تركيزات عالية.

2-3-2- الأجهزة والأدوات:

- جهاز الامتصاص الذري.
- كاتود خاص لكل عنصر.
- ميكروبيبيت لسحب القياسات.

2-3-3- تحضير المحاليل القياسية:

تحضير محلول قياسي تركيز 1000 ppm من العنصر المراد تحليله باستخدام أملاح المعادن النقية وماء مقطر منزوع الأيونات ويضاف له 20 مل من حمض الآزوت المركز.

تجهيز محاليل قياسية للمعايرة بتخفيف تركيز المعدن الأصلي عند وقت التحليل، حسب الجدول (3).

تحضير شاهد blank.

الجدول (3) المحاليل القياسية للمعايرة.

العنصر	قياسي1	قياسي2	قياسي3
الزنك (مغ.ل$^{-1}$)	0.25	0.5	1
الحديد (مغ.ل$^{-1}$)	1	2.5	5
المنغنيز (مغ.ل$^{-1}$)	1	2	4
النحاس (مغ.ل$^{-1}$)	1	2	4
الكوبالت (نانوغرام.مل$^{-1}$)	1	3	5

2-3-4- عملية الهضم والقياس:

- يؤخذ حوالي 5 غ من العينة وتوضع في البوتقة.

- يضاف إلى العينة 3–4 نقطة من حمض الآزوت المركز للمساعدة في عملية الترميد.
- تتم عملية الترميد في فرن الترميد وذلك بزيادة درجة الحرارة تدريجياً حتى 550 درجة مئوية.
- تترك العينة داخل فرن الترميد على درجة 550 درجة مئوية لمدة 4 ساعات.
- تترك العينة تبرد ويتم نقلها كمياً بواسطة محلول واحد جزيئي من حمض الآزوت.
- ترشح العينة بشكل كامل في دورق معياري سعة 100 مل ويكمل الحجم بالماء المقطر.
- عمل شاهد لكل عينة مهضومة.
- يضبط حجم الراشح إلى حجم 25 أو 50 مل بواسطة محلول حمض الآزوت السابق وبذلك تصبح العينة جاهزة للتحليل.
- يؤخذ حجم 100 ppm من المحاليل القياسية والعينة وتقرأ القياسات مباشرة على فرن الغرافيت في جهاز الامتصاص الذري.
- يحسب تركيز العنصر من المعادلة التالية:

العنصر$_{(مغ/كغ)}$ = (التركيز من الجهاز × تركيز محلول الهضم)/وزن العينة

2–4– الاختبارات الفيزيوكيميائية للدقيق:

2–4–1– النسبة المئوية للرطوبة:

قُدرت النسبة المئوية لرطوبة الدقيق حسب AACC رقم 15A–44 (AACC, 2000).

2–4–2– النسبة المئوية للرماد:

قِيست النسبة المئوية لرماد الدقيق حسب AACC رقم 01–08 (AACC, 2000)، وعُبّر عنها كنسبة مئوية من الوزن الجاف.

2-4-3- النسبة المئوية للبروتين:

قُدِّر الآزوت الكلي في الدقيق بطريقة كلداهل (Crude Protein-Improved Kjeldahl) حسب AACC رقم 10-46 (AACC, 2000)، ثم حُسِب البروتين الكلي باستخدام معامل التحويل (N×5.7).

2-4-4- درجة اللون:

أُجري اختبار تحديد درجة اللون للدقيق باستخدام جهاز (Satake Colour Grader PCGA Series 4)، حسب الطريقة المتبعة في (Kim *et al*., 2008)، حيث تمَّ وضع عينة 30 غ من الدقيق في بيشر وأُضيف 50 مل ماء مقطر مع المزج الجيد، وتمَّ وضع قسم من المزيج في خلية خاصة حتى الإشارة المحددة، ثم وُضعت الخلية في جهاز اللون الذي تم تشغيله قبل 15 دقيقة تقريباً من بدء الاختبار لاستقرار كاشفه الضوئي، وسُجلت قراءة الجهاز الذي يعتمد على انعكاس الاشعة في مجال الطيف المرئي خلال 90 ثانية من بدء القياس، وتعبر القيمة الظاهرة على شاشة الجهاز عن درجة لون عينة الدقيق.

2-4-5- كمية ونوعية الغلوتين:

قُدِّرت كمية الغلوتين (الرطب والجاف) ونوعيته (دليل الغلوتين) حسب AACC رقم 38-A12 (AACC, 2000) باستخدام غسالة الغلوتين (Perten Glutomatic 2200 with double washing chambers)، حيث تمَّ غسل عينة الدقيق (10 غ) من النشاء والبروتينات الذوابة بواسطة محلول كلور الصوديوم 2%، ثمَّ تمَّ تثفيل كتلة البروتين المتبقية بعد عملية الغسيل لمدة دقيقة واحدة بسرعة (6000 د/د) باستخدام (bench-top centrifuge 2015) ومنخل معدني قطر فتحاته 600 ميكرومتر، ثمَّ تمَّ جمع جزء الغلوتين المتبقي فوق المنخل ووزنه، تمَّ جمع جزء الغلوتين المار من المنخل المعدني باستخدام سباتيولة وإضافته إلى جزء الغلوتين العلوي ثم وزنه لحساب وزن الغلوتين الرطب.

وتمّ حساب الوزن الكلي للغلوتين الرطب كنسبة مئوية من 10غ من عينة الدقيق حسب المعادلة:

النسبة المئوية للغلوتين الرطب (%) = (وزن الغلوتين الرطب غ × 100) / وزن الدقيق غ

بينما يحسب دليل الغلوتين من المعادلة:

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

تمَّ تجفيف كتلة الغلوتين الرطب باستخدام مجفف (Glutork 2020) على درجة حرارة (150مْ) لمدة (4 د) ثم تمَّ وزن كتلة الغلوتين الجاف وحساب النسبة المئوية للغلوتين الجاف من المعادلة التالية:

النسبة المئوية للغلوتين الجاف (%) = (وزن الغلوتين الجاف غ × 100) / وزن الدقيق غ

2-5- الاختبارات الريولوجية للدقيق:

2-5-1- الفارينوغراف:

استخدم الفارينوغراف وفق الطريقة المعتمدة في AACC رقم 21-54 (AACC, 2000) للحصول على القراءات التالية:

1- نسبة امتصاص الدقيق للماء (%): وهي كمية الماء اللازمة لعمل عجينة قوامها 500 وحدة برابندر.

2- زمن تطور العجينة (دقيقة): وهي المدة التي تمضي بين ابتداء إضافة الماء وتشغيل الجهاز حتى تصل العجينة إلى أقصى قوام لها، وهي النقطة التي يتقاطع فيها مركز المنحنى مع الخط الذي يمثل 500 وحدة برابندر.

3- زمن ثباتية العجينة أو مقاومة العجين لعملية العجن (دقيقة): ويمثلها الوقت الذي تبقى خلاله العجينة محتفظة بأقصى قوام صلب وصلت إليه (500 وحدة برابندر) من دون تغيير حتى يبتدئ مركز المنحنى في الانخفاض والتقاطع ثانية مع خط الـ 500.

4- درجة ضعف العجينة (البرابندر): وهو الفرق بين قوام العجينة بعد 12 دقيقة من ابتداءً انخفاض المنحنى عن خط ال 500 وبين 500.

5- الرقم الفالوريمتري: يمثل محصلة الأرقام السابقة، ويُقاس بمسطرة خاصة، وكلما كان مرتفعاً دل ذلك على ارتفاع جودة الدقيق.

2-5-2- الاكستنسوغراف:

استخدم الاكستنسوغراف وفق الطريقة المعتمدة في AACC رقم 10-54 (AACC, 2000)، ويستخدم هذا الجهاز لمعرفة تأثير التخمر وتأثير المحسنات في مرونة العجينة ومطاطيتها. ويتم الحصول على القراءات التالية:

1- القدرة (سم^2): وهي المساحة الموجودة تحت المنحنى وتقاس بوساطة البلاليمتر بالسنتيمترات المربعة وتمثل مجموع القوة المبذولة لمط العجينة.

2- المرونة (مم): وهي طول قاعدة الاكستنسوغرام بالميليمترات وهي تمثل درجة مرونة قطعة العجين.

3- مقاومة الشد (BU): وهي ارتفاع المنحنى بوحدات الاكستنسوغراف بعد 5 سم من ابتدائه، ويمثل هذا الرقم المقاومة التي تبذلها قطعة العجين لمقاومة عملية المط.

4- المقاومة العظمى للشد (BU): وهي أقصى ارتفاع يصل إليه المنحني.

5- الرقم النسبي أو المطاطية: وهو ناتج قسمة المقاومة العظمى للشد على المرونة، وكلما كان الرقم النسبي كبيراً كان ذلك دليلاً على شدة مقاومة العجينة للمرونة، وبالعكس إذا كان صغيراً كان ذلك دليلاً على قابلية العجينة للمرونة من دون مقاومة.

2-6- تصنيع الخبز العربي منفصل الشطرين:

تمَّ تصنيع عينات الخبز العربي منفصل الشطرين تبعاً للطريقة المتبعة في (Aleid *et al.*, 2014)، وذلك في أحد الأفران الخاصة في محافظة دمشق:

1. خلط 1000 غ من الدقيق مع الخميرة (2%) والملح (1.5%) والماء (تقريباً 58%) حتى الوصول إلى القوام المطلوب للعجين، حيث تستغرق مدة العجن (10–18 دقيقة).
2. وضع العجين ضمن أوعية مناسبة في غرفة التخمر الخاصة بدرجة حرارة 27 °م ورطوبة 80% لمدة (30–40 دقيقة).
3. بعد وصول العجين إلى مرحلة الاختمار المثلى، تقطع كتلة العجين يدوياً إلى قطع مكورة، ثم تترك كي تستريح لمدة (5–10 دقيقة).
4. تمَّ رق كرات العجين باتجاهين متعامدين لإعطاء الشكل النهائي للرغيف، ثم تتبع بفترة التخمر النهائي لمدة تتراوح بين (10–20 دقيقة).
5. خَبز أرغفة الخبز على درجة حرارة تقدر بحوالي (500–550 °م) ولفترة زمنية تتراوح بين (10–40 ثانية).
6. التبريد والتعبئة.

2-7- اختبارات جودة الخبز:

2-7-1- الخصائص الكيميائية:

قُدِّرت الرطوبة، الرماد والبروتين اعتماداً على الطريقة المتبعة في AOAC (AOAC, 2005)، كما تمَّ تقدير اللبيدات باستخدام جهاز سوكسليت (Soxhlet) تبعاً للطريقة المعتمدة في AACC رقم 25–30 (AACC, 2000)، وتمَّ تقدير الألياف الكلية بجهاز تقدير الألياف ماركة سيلكتا الإسباني حسب الطريقة المعتمدة في AACC رقم 45–32 (AACC, 2000)، بينما تم تحديد كمية النشاء الكلي بالفرق بطرح 100 غ مطروحاً منه مجموع البروتين والرماد واللبيدات والألياف (FAO, 2003).

2-7-2- الخصائص التصنيعية:

تمَّ تحديد خصائص الرغيف حسب الطريقة المتبعة في (Aleid *et al.*, 2014) وهي:

1. القطر: تم قياس متوسط طول خطين متعامدين على رغيف الخبز مقدرة بالسنتيمتر وذلك لعشر عينات.
2. السماكة: تم قياس متوسط السماكة مقدرة بالميليمتر لعشر عينات من خبز باستخدام جهاز البياكوليس.
3. الوزن: تم قياس متوسط الوزن مقدراً بالغرام وذلك لعشر عينات من الخبز.

2-8- التحليل الإحصائي:

1. أجريت الاختبارات السابقة بثلاثة مكررات، وسجلت النتائج كمتوسطات ± الانحراف المعياري.
2. أجري اختبار تحليل التباين (ANOVA) كتجربة عاملية، بتصميم قطاعات عشوائية كاملة باستخدام طريقة (General Linear Model)، ثم تبع باختبار Tukey لتحديد الفروق المعنوية بين المتوسطات على مستوى ثقة 5% ($P\leq0.05$).
3. استخدم اختبار F (F test) وتوزع التباين (Variance distribution)، لتحديد الأهمية النسبية لتأثير المتغيرات الأساسية على مستوى ثقة 5% ($P\leq0.05$).
4. أجري اختبار (HCA) على العينات المدروسة في هذا البحث، وذلك لتحديد القيم الممثلة من العناصر المعدنية الصغرى في أنواع القمح السوري.
5. أجريت جميع التحاليل الإحصائية السابقة باستخدام برنامج Minitab 14.

الفصل الثالث

النتائج والمناقشة

Results and Discussion

3- النتائج والمناقشة RESULTS AND DISCUSSION:

3-1- الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب أصناف القمح المدروسة:

نظراً لأهمية خصائص حبوب القمح الفيزيائية والكيميائية، حيث تُعد العامل المحدد لجودة الحبوب، وتؤثر في عملية التدريج للحبوب التي ترتبط بعمليات التخزين والاستيراد والتصدير، كما تُعد مسؤولة عن 75% من جودة الدقيق بعد عملية الطحن وبالتالي تُحدد الوجهة التصنيعية الملائمة للدقيق وجودة المنتج. حُللت الخصائص الفيزيائية والكيميائية لحبوب أصناف القمح القاسي (دوما3 وشام9) وحبوب أصناف القمح الطري (بحوث 10 ودوما6)، المزروعة في منطقتين بيئيتين مختلفتين (حقل قرحتا، وحقل حمص) خلال موسم الزراعة 2019/2018، كما هو مبين في الجداول (4 و5) على التوالي.

يُعد مصطلح جودة الحبوب ذات طابع معقد ويعتمد على عددٍ من الصفات، وتختلف المساهمة الفردية لكل صفة باختلاف رد الفعل المحدد للظروف البيئية (Desheva, 2016)، وبالتالي فإنَّ فهم مساهمة الطراز الوراثي والعوامل البيئية والتفاعل المتبادل بينهما في جودة حبوب القمح يُسهل اختيار الصفات المهمة في برامج التحسين الوراثي (Surma *et al.*, 2012; Thungo *et al.*, 2020)، حيث تتأثر الخصائص الفيزيائية والكيميائية لحبوب القمح بدرجةٍ كبيرة بالعوامل البيئية والوراثية (Dexter and Edwards, 1998a,b).

أظهر تحليل التباين وجود اختلافات معنوية بين أنواع وأصناف القمح، وبين مواقع الاختبار لجميع الصفات المدروسة، فقد ارتفعت قيم الوزن النوعي لأصناف حبوب القمح القاسي المدروسة في منطقة قرحتا (77.15 و79.21 كغ.هل$^{-1}$) ومنطقة حمص (76.96 و80.10 كغ.هل$^{-1}$) للصنفين دوما3 وشام9 على التوالي بالمقارنة مع قيم الوزن النوعي لأصناف حبوب القمح الطري المدروسة في منطقة قرحتا (72.33 و72.45 كغ.هل$^{-1}$) ومنطقة حمص (72.22 و71.04 كغ.هل$^{-1}$) للصنفين بحوث10 ودوما6 على التوالي، وتدل

جميع القيم على سلامة الحبوب، حيث يُعد اختبار الوزن النوعي أحد أبسط المعايير التقليدية المستخدمة لتحديد جودة الحبوب وقياس الكثافة الظاهرية للحبوب، كما إنَّه مؤشر للجودة العامة والمواصفات الأولية للحبوب، وعادةً كلما ازداد الوزن النوعي للحبوب كلما ازدادت جودة الحبوب (Bern and Brumm, 2009)، ويتأثر اختبار الوزن النوعي للحبوب بالعديد من العوامل بما في ذلك المحتوى الرطوبي، والتضرر بالصقيع، ودرجة النضج، وظروف النمو والحصاد، وظروف التجفيف، والتلوث واختلاف نسبة الأجرام والشوائب، والعوامل الوراثية، مثل الصنف والنوع (Henry and Kettlewell, 1996). من جهةٍ أخرى، أظهرت حبوب القمح المدروسة، القاسية والطرية، وزن ألف حبة مرتفع، حيث تراوحت في القمح القاسي بين (54.88–55.65 غ) وفي القمح الطري بين (50.16–51.25 غ)، وقد أظهر اختبار وزن الألف حبة تأثراً معنوياً بالعوامل البيئية والوراثية المدروسة، وتتوافق هذه النتائج مع دراسة سابقة عن وزن حبوب القمح (Ilker *et al.*, 2009). تُعد صفة درجة بلورية الحبوب من الصفات التدريجية المهمة، وخصوصاً في القمح القاسي، حيث أنَّ الحبوب البلورية لها مظهر شفاف أو زجاجي مرتبط بالبروتين المرتفع ودرجة الصلابة، بينما الحبوب النشوية هي تلك التي تحتوي على منطقة نشوية غير شفافة، وإذا كانت هذه الحبوب موجودة بكمياتٍ كافية، فيمكن أن تؤدي إلى تباين في حجم الحبيبات خلال الطحن (Neethirajan *et al.*, 2006). لوحظ من الجداول (4 و5) التأثير المرتفع للعوامل البيئية، متمثلةً بموقع الزراعة، في درجة بلورية الحبوب، وقد تراوحت بين (81.52–88.01% و80.40–80.88%) لحبوب القمح القاسي والطري على التوالي، وتتوافق هذه النتائج مع الأبحاث السابقة التي تؤكد على خضوع درجة بلورية حبوب القمح إلى تأثير العوامل البيئية إلى حدٍ كبير (Fu *et al.*, 2018; Sissons *et al.*, 2000). تميزت أصناف القمح المدروسة بانخفاض محتواها الرطوبي إلى أقل من 9%، وتُعد هذه من الصفات المهمة التي تميز الأقماح السورية، وذلك لارتباط المحتوى الرطوبي للحبوب بكفاءة عملية التخزين وأداء عملية الطحن (Samaan, 2007)، كما لم تبدِ النسبة المئوية لرطوبة الحبوب ارتباطاً وثيقاً بالمتغيرات المدروسة من

الصنف والنوع وموقع الزراعة، حيث تُعد العوامل المناخية السائدة أثناء عملية الحصاد العامل المسيطر في رطوبة الحبوب (Sawant *et al.*, 2012)، وقد تراوحت رطوبة حبوب القمح القاسي بين (8.10–8.68%) ورطوبة حبوب القمح الطري بين (8.02–8.21%)، وتتوافق هذه النتائج مع دراسات سابقة عن القمح السوري (El-Khayat *et al.*, 2006; Samaan *et al.*, 2006). يعتمد المحتوى المعدني في حبوب القمح على العديد من العوامل، مثل نوع القمح، والعوامل البيئية، والتسميد، والعوامل المناخية السائدة خلال موسم الزراعة (Czaja *et al.*, 2020)، وتتوزع المادة المعدنية في حبة القمح بشكلٍ غير متساوٍ، حيث تحتوي طبقة الأليرون وغلاف الحبة على ما يُعادل 68%، والاندوسبيرم النشوي 20%، والجنين 12% من إجمالي المعادن (Betschart, 1988)، ونتيجة لذلك، يُستخدم اختبار تحديد محتوى الرماد في الدقيق لتقدير درجة فصل الإندوسبيرم (السويداء) عن النخالة أثناء الطحن. وبشكلٍ عام، يكون الدقيق الذي يتميز بمستوى أعلى من الرماد أقل تنقيةً ويحتوي على المزيد من جزيئات النخالة الدقيقة وجزء الإندوسبيرم المجاورة للنخالة، لذلك يُعد الرماد مؤشر يستخدم على نطاقٍ واسع لتعبير عن نقاوة الدقيق ومعدَّل استخراجه أثناء الطحن (Piironen and Salmenkallio-Marttila, 2009). ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أنَّ بعض أنواع القمح، على سبيل المثال، القمح القاسي، يحتوي بشكلٍ طبيعي على نسبةٍ أعلى من رماد الإندوسبيرم بسبب العوامل الوراثية وظروف التربة، ومن وجهة النظر الغذائية، من المرغوب فيه زيادة محتوى الرماد في الدقيق، حيث يترافق مع زيادة محتوى الألياف الغذائية والفيتامينات والبروتينات غير الغلوتينية، لكن جودة الدقيق ذي المحتوى المرتفع من الرماد أقل لأنَّه يتميز بلون أغمق ونشاط أكبر من أنزيمات البروتياز والأميلاز (Hemery *et al.*, 2011). تميزت أصناف القمح القاسي المدروسة بنسبة رماد أعلى من الأصناف الطرية، وتراوحت بين (1.52–1.66% و1.20–1.25%) للقمح القاسي والقمح الطري على التوالي، وقد أبدت النسبة المئوية لرماد الحبوب تأثراً عالي المعنوية بنوع القمح، وهذا يتوافق مع (Czaja *et al.*, 2020). بالإضافة إلى ذلك، كانت النسبة المئوية للبروتينات الكلية على أساس الوزن

الجاف في أصناف القمح القاسي (13.10–13.75%) أعلى معنوياً من أصناف القمح الطري (11.10–11.82%)، وقد بيّنت دراسات سابقة أنَّ تراكم أجزاء البروتين المختلفة في حبوب القمح غير متزامن للغاية، حيث أنَّ تكوين البروتين في الحبوب يتغير أثناء تطور الحبوب خلال النمو، وبالتالي إنَّ الظروف التي تحد من عملية إمتلاء الحبوب، مثل ارتفاع درجة الحرارة أو الجفاف، تؤثر في توازن أجزاء البروتين (Jamieson *et al.*, 2001; Triboï *et al.*, 2003). وعلى الرغم من أنَّ نقص المياه يؤثر بشدَّة في جودة العديد من أصناف القمح (Guttieri *et al.*, 2000; 2001)، إلا أنَّه لا يُعرف إلا القليل عن تأثير نقص المياه وتفاعلها المتبادل مع درجة الحرارة في تراكم أجزاء البروتين. وبشكلٍ عام، من المثبت الآن أنَّ جودة الحبوب هي تابع لتركيب الحبوب الفيزيوكيميائي، بشكلٍ أساسي البروتينات، التي تعتمد على العوامل الوراثية والبيئية، حيث ينعكس التأثير الوراثي، بشكلٍ رئيس، عن طريق الاختلاف النوعي مثل بلمرة البروتينات، وبشكلٍ ثانوي، عن طريق الاختلاف الكمي للبروتين الكلي أو الوحدات وتحت الوحدات الفرعية المختلفة، في المقابل، ينعكس التأثير البيئي (موسم النمو، موقع الزراعة والتسميد) بشكل رئيس من خلال التباين الكمي، كما هو الحال في كمية البروتين (Rustgi *et al.*, 2019).

الجدول (4) الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب أصناف القمح القاسي المدروسة.

	منطقة قرحتا		منطقة حمص	
	دوما3	شام9	دوما3	شام9
الوزن النوعي (كغ.هل$^{-1}$)	77.15 ± 0.41^{a}	79.21 ± 0.22^{b}	76.96 ± 0.55^{c}	80.10 ± 0.62^{d}
وزن الألف حبة (غ)	55.40 ± 0.11^{a}	55.65 ± 0.25^{a}	54.88 ± 0.23^{b}	55.33 ± 0.09^{a}
البلورية (%)	88.01 ± 0.24^{a}	82.66 ± 1.05^{b}	85.33 ± 0.40^{c}	81.52 ± 1.10^{d}
الرطوبة (%)	8.10 ± 0.05^{a}	8.33 ± 0.12^{a}	8.68 ± 0.11^{b}	8.60 ± 0.22^{b}
الرماد (%)	1.55 ± 0.01^{a}	1.65 ± 0.11^{b}	1.52 ± 0.06^{a}	1.66 ± 0.02^{b}
البروتين (%)	13.75 ± 0.26^{a}	13.10 ± 0.08^{b}	13.55 ± 0.32^{c}	13.50 ± 0.10^{c}

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

الجدول (5) الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب أصناف القمح الطري المدروسة.

	منطقة قرحتا		منطقة حمص	
	بحوث10	دوما6	بحوث10	دوما6
الوزن النوعي (كغ.هل$^{-1}$)	72.33 ± 1.02^{a}	72.45 ± 0.45^{a}	72.22 ± 0.15^{a}	71.04 ± 0.24^{b}
وزن الألف حبة (غ)	51.25 ± 0.09^{a}	51.15 ± 0.22^{a}	50.25 ± 0.10^{b}	50.16 ± 0.11^{b}
البلورية (%)	80.88 ± 1.55^{a}	85.20 ± 1.24^{b}	80.40 ± 1.01^{a}	88.05 ± 1.22^{c}
الرطوبة (%)	8.05 ± 0.01^{a}	8.21 ± 0.10^{b}	8.02 ± 0.04^{a}	$8.10 \pm 0.05^{a,b}$
الرماد (%)	1.21 ± 0.03^{a}	1.20 ± 0.01^{a}	1.22 ± 0.10^{a}	1.25 ± 0.04^{a}
البروتين (%)	11.55 ± 0.10^{a}	11.15 ± 0.22^{b}	11.82 ± 0.05^{c}	11.10 ± 0.21^{b}

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

3-2- توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب القمح:

تؤدي معرفة المساهمات النسبية للعوامل الوراثية (G) والعوامل البيئية (E) والتفاعل المتبادل (G x E) في جودة حبوب القمح إلى اختيار أكثر فعّالية في برامج التحسين الوراثي وفصل الصفات الأكثر انتظاماً والأكثر ملاءمةً لاحتياجات المستهلكين. عند تقييم صحة الاستنتاجات المستخلصة من أي تجربة زراعية، وخاصةً الدراسات التي تتعلق بالعوامل البيئية والوراثية، فإنَّ السؤال الرئيس هو كيف كانت الدراسة ممثلة للواقع، لأنَّ المواد والطرائق تؤثر في النتائج، لهذا السبب، خلُص بعض الباحثين في هذا المجال إلى أنَّه لا يمكن تعميم نتائجهم إلى ما بعد دراستهم الخاصة (van Lill *et al.*, 1995; Morris *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 2004). من الواضح أنَّ اختيار المتغيرات الوراثية والبيئية، التي تمَّ أخذ عينات منها، يحدد الأنموذج الإحصائي المعمول به، علاوةً على ذلك، ما إذا كانت النتائج تنطبق فقط على مجموعات العينات المستخدمة، أو يمكن استخدامها للتنبؤ بنتائج أكثر عمومية. إنَّ القيود الأساسية لجميع دراسات العوامل البيئية والوراثية هي التكلفة، أي تجربة ميدانية تُعد مكلفة، وبخاصةٍ تلك التي تنطوي على مجموعة واسعة من الأنماط الوراثية والتي تمَّ اختبارها في مواقع متعددة على فتراتٍ زمنية طويلة، بالإضافة إلى ذلك، إنَّ اختبارات الجودة اللاحقة للحبوب، مثل الاختبارات الفيزيائية والكيميائية للحبوب، مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً، ومن المؤكد أن التكلفة المرتفعة لهذا النوع من الدراسات قد يحد من تعميم النتائج، وبالتالي قابلية التطبيق الأوسع لاستنتاجات العديد من التجارب (Williams *et al.*, 2008)، ولكن على الرغم من هذه القيود، لا يزال من المهم فهم كيفية تأثير العوامل الوراثية والبيئية في نتائج التجارب المركزة على الجودة عند تطبيق القيود على التصميم التجريبي. تبعاً لذلك، أُجري في هذا البحث حساب توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة (المكررات، نوع القمح، صنف القمح وموقع الزراعة)، وهي ممثلة عن العوامل الوراثية والبيئية، في الخصائص الفيزيوكيميائية للحبوب تبعاً لاختبار F وتوزع التباين على مستوى ثقة 5%، حيث تمَّ حساب

النسبة المئوية لمتوسط مجموع مربع الانحرافات للمعاملات المدروسة (Mean Square)، كما هو مبين في الجدول (6).

إن أهم ما يميز الجدول (6) هو خضوع كلاً من الوزن النوعي للحبوب، ووزن الألف حبة، والنسبة المئوية للرماد والنسبة المئوية للبروتينات لسيطرة العوامل الوراثية متمثلةً بنوع القمح (قاسي أو طري)، حيث كانت النسبة المئوية للتباين (90.61، 91.19، 92.47 و80.18%) على التوالي، في حين كان (81.21%) من التباين في درجة البلورية يخضع لتغير العوامل البيئية (موقع الزراعة)، وقد تناقضت بعض هذه النتائج مع دراسة سابقة بيَّنت سيادة تأثير العوامل البيئية على الطراز الوراثي فيما يتعلق بكمية البروتينات في الحبوب، بينما كان كلا مصدري التباين لهما أهمية مماثلة في الوزن النوعي للحبوب (Surma et al., 2012)، ويمكن أن يعود هذه التناقض في النتائج إلى اختلاف ظروف التجربة، حيث في هذا البحث تمَّ استخدام نوعين من القمح أثبتت العديد من الدراسات السابقة اختلافهما المعنوي في المؤشرات الفيزيوكيميائية للحبوب (Boyacioghu and D'Appolonia, 1994; Delcour *et al.*, 2012; Pauly *et al.*, 2013)، من جهةٍ أخرى، تطابقت نتائج درجة البلورية مع دراسات سابقة أشارت إلى السيطرة المرتفعة للعوامل البيئية في درجة البلورية (Brankovic *et al.*, 2014; Marta *et al.*, 2011). بالإضافة إلى ذلك، لم يُظهرْ التفاعل المتبادل للعوامل الوراثية والعوامل البيئية (موقع الزراعة × نوع القمح) تأثيراً كبيراً في المؤشرات المدروسة، حيث كان مسؤولاً فقط عن (13.86% و28.43%) من تباين درجة البلورية للحبوب والنسبة المئوية للرطوبة على التوالي. أما اختلاف الأصناف ضمن كل نوع قمح فلم تبدِ تأثيراً معنوياً في تباين الخصائص الفيزيوكيميائية للحبوب، ويمكن أن يعود ذلك إلى تشابه التركيب الوراثي لأصناف القمح السوري المدروسة، كما أوضحت دراسة سابقة عن القمح المحلي (Shoaib and Arabi, 2006).

الجدول (6) توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في الخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب القمح.

	المكررات		نوع القمح		صنف القمح		موقع الزراعة		الموقع × نوع القمح	
	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*
الوزن النوعي	0.15	0.51	90.61	0.00	4.47	0.00	4.23	0.18	0.53	0.06
وزن الألف حبة	0.22	0.85	91.19	0.00	0.12	0.03	8.27	0.00	0.39	0.00
البلورية	0.02	0.90	3.09	0.12	0.78	0.00	81.21	0.01	13.86	0.01
الرطوبة	0.47	0.38	53.02	0.00	2.77	0.03	14.76	0.00	28.43	0.00
الرماد	0.42	0.12	92.47	0.00	1.87	0.00	5.07	0.15	0.15	0.04
البروتين	0.01	0.78	80.18	0.00	2.40	0.00	17.26	0.02	0.10	0.95

3-3- تقدير محتوى العناصر المعدنية الصغرى لحبوب أصناف القمح المدروسة:

أُجري تقدير لمحتوى أصناف حبوب القمح المدروسة من العناصر المعدنية الصغرى (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت)، وسجلت النتائج في الجدول (7) لأصناف القمح القاسي والجدول (8) لأصناف القمح الطري والمزروعة في منطقتين مختلفتين خلال موسم الزراعة 2019/2018.

لُوحظ عند مقارنة نتائج محتوى العناصر المعدنية الصغرى بين القمح القاسي والقمح الطري، تميز أصناف القمح الطري بمستويات أعلى معنوياً في كلٍ من الزنك والحديد، بينما أبدى القمح القاسي نسب أعلى من المنغنيز والنحاس، أما الكوبالت فلم يختلف معنوياً بين نوعي القمح، فقد تراوح تركيز الزنك بين (17.44-20.21 مغ.كغ$^{-1}$ و19.15-20.98 مغ.كغ$^{-1}$)، الحديد (26.01-29.20 مغ.كغ$^{-1}$ و28.74-30.63 مغ.كغ$^{-1}$)، المنغنيز (25.60-26.72 مغ.كغ$^{-1}$ و23.22-24.91 مغ.كغ$^{-1}$)، النحاس (8.56-8.75 مغ.كغ$^{-1}$ و7.10-7.81 مغ.كغ$^{-1}$) والكوبالت (10.30-11.21 نانوغرام.غ$^{-1}$ و10.20-10.88 نانوغرام.غ$^{-1}$) لأصناف القمح القاسي وأصناف القمح الطري على التوالي، وقد كانت تراكيز العناصر المعدنية الصغرى في هذه الدراسة قريبة من نتائج دراسات سابقة (Sankara Rao and Deosthale,

1981; Pahlavan-Rad and Pessarakli, 2009). لا يوجد توافق عام بين جميع الأبحاث السابقة في موضوع تأثير العوامل الوراثية والعوامل البيئية في محتوى حبوب محاصيل الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى، فقد ذكرت بعض الدراسات حدوث اختلافات وراثية تؤثر في محتويات الزنك والحديد في حبوب القمح (Paltridge *et al.*, 2012; Rawat *et al.*, 2009)، بينما بيَّنت دراسات أخرى أن الاختلاف في محتوى الزنك للقمح القاسي والطري لم يكن معنوياً (Velu *et al.*, 2015; 2012)، أما Rodriguez-Ramiro وآخرون (2017) فقد أثبتوا أن القمح الطري يحتوي على مستويات أعلى بكثير من الحديد من بقية أنواع القمح. بشكل عام، تعتمد كمية المغذيات الصغرى (Micronutrients)، مثل الحديد، الزنك، المنغنيز، النحاس والكوبالت في الحبوب على الكمية التي تمتصها الجذور أثناء نمو النبات والكمية المعاد توزيعها على الحبوب من الأنسجة النباتية عبر اللحاء، وتعتمد الكمية المعاد تجميعها عبر اللحاء بشكلٍ كبير على ناقلية اللحاء لكل عنصر (Granett and Graham, 2005). وتجدر الإشارة إلى أنَّ جميع عمليات نقل المغذيات إلى الحبوب يجب أن تمر، في مرحلة ما، من خلال اللحاء بسبب انقطاع نسيج الخشب في سنبلة الحبوب (O'Brien *et al.*, 1985). وقد قام Pearson و Rengel (1994) بالتحقيق في نقل الزنك والمنغنيز إلى حبوب القمح، ووجدا أنَّ الزنك أظهر إعادة نقل (Remobilization) جيدة من الأوراق، بينما كانت إعادة تعبئة المنغنيز ضعيفة، حيث يعود ضعف إعادة تعبئة المنغنيز إلى ضعف ناقلية اللحاء للمنغنيز، وتمَّ وصف الحديد على أنَّ له ناقلية متوسطة من اللحاء (Kochian, 1991). وفي متوسط جميع مراحل النمو، يمتلك الحديد بشكلٍ عام ناقلية من اللحاء أعلى من النحاس، ومع ذلك، فقد ظهر من قبل في محاصيل القمح المزروعة حقلياً أنَّ هناك إعادة تعبئة محدودة جداً للحديد إلى الحبوب، حيث أنَّ 5% فقط من حديد الأوراق في القمح المروي انتقلت إلى الحبوب عند النضج بالمقارنة مع 32% للنحاس (Hocking, 1994)، وتمَّ وصف النحاس بأنَّه يمتلك إنتقال متغير من اللحاء (Loneragan, 1981)، ولقد اكتسب هذا الوصف لأنَّه يمكن أنَّ يظهر جميع أعراض عدم الإنتقال من

اللحاء (لا يوجد إعادة تعبئة من الأنسجة القديمة إلى الفتية تحت ظروف العوز)، أو يمكن أن ينتقل عبر اللحاء (عند شيخوخة الأوراق القديمة). وقد بيَّنت العديد من البحوث عن توزيع النحاس وإعادة التعبئة أنَّ النحاس يتم إعادة نقله من الأوراق القديمة مع الآزوت، لذلك فإنَّ إجمالي النحاس في النبات ينتقل إلى الحبوب عند النضج (Hill *et al.*, 1979a,b).

الجدول (7) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح القاسي المدروسة.

	منطقة قرحتا		منطقة حمص	
	دوما3	شام9	دوما3	شام9
الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	18.31 ± 0.22^{a}	17.44 ± 0.10^{b}	20.21 ± 0.32^{c}	18.15 ± 0.22^{a}
الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	27.25 ± 0.24^{a}	29.15 ± 0.05^{b}	26.01 ± 0.11^{c}	29.20 ± 0.25^{b}
المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	25.65 ± 0.12^{a}	26.72 ± 0.10^{b}	25.60 ± 0.33^{a}	26.50 ± 0.10^{c}
النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	8.75 ± 0.02^{a}	8.56 ± 0.10^{b}	$8.62 \pm 0.15^{a,b}$	$8.66 \pm 0.12^{a,b}$
الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	10.85 ± 0.23^{a}	10.44 ± 0.15^{b}	11.21 ± 0.41^{b}	10.30 ± 0.26^{b}

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

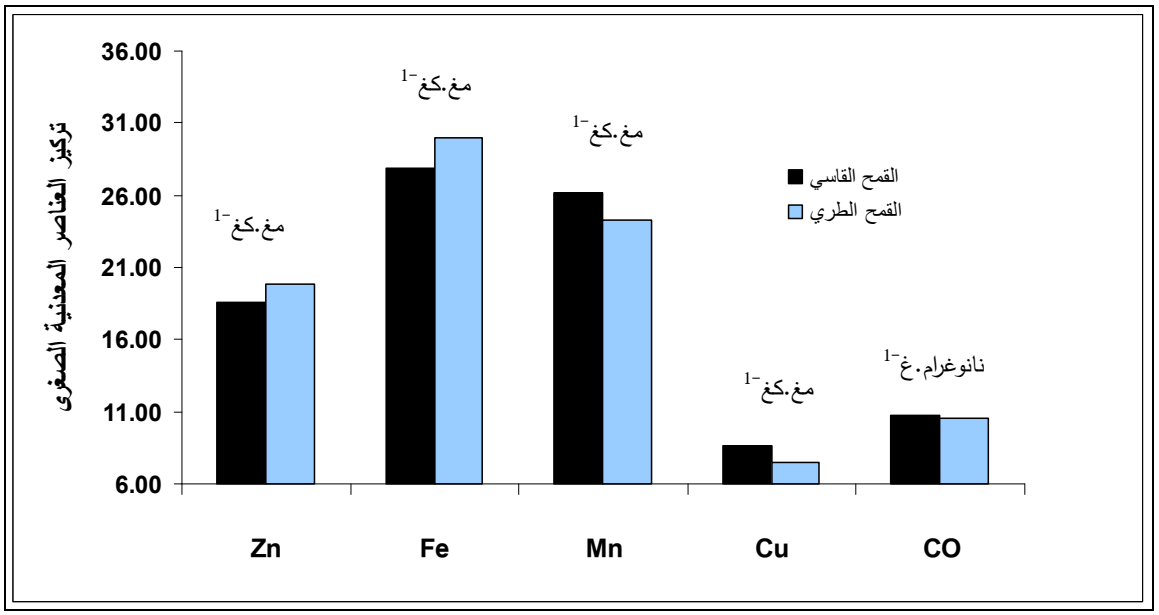
الجدول (8) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح الطري المدروسة.

	منطقة قرحتا		منطقة حمص	
	بحوث10	دوما6	بحوث10	دوما6
الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	20.04 ± 0.05^{a}	19.15 ± 0.12^{b}	20.98 ± 0.11^{c}	19.35 ± 0.21^{b}
الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	29.88 ± 0.12^{a}	30.63 ± 0.44^{b}	28.74 ± 0.01^{c}	30.57 ± 0.14^{d}
المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	23.22 ± 0.10^{a}	24.91 ± 0.06^{b}	24.55 ± 0.15^{c}	24.49 ± 0.02^{c}
النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	7.81 ± 0.15^{a}	7.45 ± 0.34^{b}	7.10 ± 0.21^{c}	7.41 ± 0.12^{b}
الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	10.51 ± 0.11^{a}	10.50 ± 0.20^{a}	10.20 ± 0.15^{b}	10.88 ± 0.12^{c}

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

3-4- توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في محتوى حبوب القمح من العناصر المعدنية الصغرى:

يبين الشكل (3) متوسطات تركيز العناصر المعدنية الصغرى لنوعي القمح المدروسين (القمح القاسي والقمح الطري)، حيث حُسب المتوسط لصنفي القمح لكلا النوعين، المزروعين في منطقة قرحتا ومنطقة حمص. لُوحظ من الشكل (3) انخفاض تركيز الزنك (18.45 مغ.كغ$^{-1}$) والحديد (27.91 مغ.كغ$^{-1}$) وارتفاع تركيز المنغنيز (26.13 مغ.كغ$^{-1}$) والنحاس (8.65 مغ.كغ$^{-1}$) في القمح القاسي بالمقارنة مع القمح الطري (19.88، 29.95، 24.29 و7.46 مغ.كغ$^{-1}$) للزنك، الحديد، المنغنيز والنحاس على التوالي، أما تركيز الكوبالت فلم يختلف معنوياً بين نوعي القمح (10.70 و10.54 نانوغرام.غ$^{-1}$) للقمح القاسي والطري على التوالي. تتوافق هذه النتائج مع (Rawat *et al.*, 2009) والذين بيَّنوا ارتفاع محتوى القمح الطري السداسي من الحديد والزنك بالمقارنة مع القمح القاسي الرباعي.



الشكل (3) متوسطات تركيز العناصر المعدنية الصغرى لنوعي القمح.

تم تحديد توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة (مكررات، نوع القمح، صنف القمح وموقع الزراعة) في محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى (الجدول 9)، وذلك لفهم، أولاً، التباين في الصفات الوراثية والبيئية المدروسة، ثانياً، معرفة درجة تأثير التفاعل (G × E) لهاتين الصفتين، ثالثاً، من الممكن أن تعطي فكرة عن درجة الارتباط بين محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى والممارسات الزراعية الأخرى، ورابعاً، لتحديد الظروف البيئية والأنماط الجينية المستقرة للصفات المدروسة، وبناءً على هذه النتائج يمكن مستقبلاً رسم خرائط QTLs (Quantitative Trait Locus) للعناصر المعدنية الصغرى في حبوب أصناف القمح المحلي (Struik *et al.*, 2017).

لُوحظ من الجدول (9) أنَّ تركيز العناصر المعدنية الصغرى المدروسة قد أظهر تباينات وراثية مهمة للغاية، فقد أبدت العوامل الوراثية، متمثلةً بنوع وصنف القمح، التأثير الكبير في تباين تركيز العناصر المعدنية الصغرى، حيث بلغ تأثير نوع القمح (47.49%، 63.15%، 85.77%، 80.56% و15.46%)، أما

تأثير صنف القمح فقد كان (45.07%، 31.03%، 10.77%، 14.15% و73.22%) للزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت على التوالي، وبالتالي إن العوامل الوراثية كانت مسؤولة عن (88.68–96.54%) من إجمالي التباين (مجموع تباين نوع وصنف القمح). على النقيض من ذلك، أظهرت العوامل البيئية، متمثلةً بموقع الزراعة، والتفاعل المتبادل للعوامل البيئية والوراثية تأثيراً غير معنوياً في محتوى حبوب أصناف القمح المدروسة من العناصر المعدنية الصغرى، حيث فقط (2.33–6.73%) من التباين الكلي كان عائداً لتأثير العوامل البيئية (مجموع تباين موقع الزراعة والتفاعل المتبادل لموقع الزراعة ونوع القمح). بينت دراسة سابقة أن عملية تنظيم تراكم المعادن في النباتات هي عملية وراثية معقدة، حيث يمكن أن يشارك العديد من المواقع الجينية (Loci) في التحكم في معدن واحد، وكما يمكن أن يؤثر موقع جيني واحد (Locus) في تراكم عدة معادن مختلفة (Ghandilyan *et al.*, 2009).

الجدول (9) توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى.

	المكررات		نوع القمح		صنف القمح		موقع الزراعة		الموقع × نوع القمح	
	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*
الزنك	0.01	0.93	47.49	0.00	45.07	0.00	2.67	0.00	4.06	0.04
الحديد	0.00	0.97	63.15	0.00	31.03	0.00	5.24	0.01	0.02	0.87
المنغنيز	0.00	0.95	85.77	0.00	10.77	0.01	0.57	0.49	1.76	0.24
النحاس	0.03	0.79	80.56	0.00	14.15	0.71	2.78	0.03	2.03	0.06
الكوبالت	0.12	0.88	15.46	0.12	73.22	0.00	3.75	0.42	2.15	0.54

3-5- 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 *et al.*, 2009). وتبعاً لذلك، تمَّ تحليل الخصائص الفيزيوكيميائية للدقيق عالي الجودة (استخراج 72%) والدقيق الموحد (استخراج 80%) ودقيق القمح الكامل (استخراج 100%) لصنف القمح القاسي دوما3 (الجدول 10)، صنف القمح القاسي شام9 (الجدول 11)، صنف القمح الطري بحوث10 (الجدول 12) وصنف القمح الطري دوما6 (الجدول 13).

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 (15.15-15.36%) و(15.10-15.22%) مقارنةً مع مثلاتها الناتجة عن طحن القمح الطري (13.25-14.01%) و(13.55-13.72%)، 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 *et al.*, 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 ارتفعت 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، 0.60، 0.61 و0.58%)، (0.92، 0.88، 0.89 و0.88%) و(1.54، 1.50، 1.64 و1.62%) أعلى معنوياً من الأنواع الناتجة عن طحن القمح الطري (0.42، 0.44، 0.42 و0.46%)، (0.60، 0.65، 0.65 و0.60%) و(1.10، 1.21، 1.11 و1.20%) للدقيق الزيرو، الدقيق الموحد ودقيق القمح الكامل على التوالي، وقد توافقت هذه النتائج مع أبحاث سابقة في هذا المجال (Sakhare and Inamdar, 2014; Morris *et al.*, 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 *et al.*, 2006).

كانت نتائج الرماد متوافقة مع نتائج قياس درجة اللون، حيث تراوحت بين (1.25–5.45 درجة) لأنواع دقيق القمح القاسي، وبين (0.41–3.25 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 بارتفاع كمية الأصبغة في القمح القاسي (Ramirez-Wong *et al*., 2007; Marie *et al*., 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 (10.44-14.12% و8.81-12.10%)، والنسبة المئوية للغلوتين الرطب بين (31.32-36.81% و28.15-29.95%) والنسبة المئوية للغلوتين الجاف بين (8.91-12.20% 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 and Steel, 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 (76.15-85.30%) وفي أنواع دقيق القمح الطري بين (66.35-77.20%). تعد خصائص بروتينات الدقيق الكمية والنوعية من المؤشرات الأساسية المرتبطة بالخصائص الريولوجية للعجينة وجودة المنتجات (Jiang *et al*., 2019)، وتخضع نوعية البروتينات (قوة الدقيق) إلى تأثير العوامل الوراثية فقط (Mann *et al*., 2009)، ويعود سبب انخفاض دليل الغلوتين لأنواع الدقيق المدروسة مع ارتفاع نسبة الاستخراج إلى ارتفاع نسبة الألياف والتي تعمل على تقطيع الشبكة الغلوتينية (Kurek *et al*., 2015).

الجدول (10) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.

منطقة الدراسة	الخصائص الفيزيوكيميائية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	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}	10.74 ± 0.24^{b}	12.20 ± 0.11^{c}
	دليل الغلوتين (%)	85.30 ± 2.45^{a}	81.50 ± 1.61^{b}	78.45 ± 2.11^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	15.31 ± 0.11^{a}	15.33 ± 0.15^{a}	15.36 ± 0.14^{a}
	الرماد (%)	0.60 ± 0.01^{a}	0.88 ± 0.02^{b}	1.50 ± 0.05^{c}
	اللون (درجة)	1.30 ± 0.05^{a}	2.62 ± 0.01^{b}	5.30 ± 0.10^{c}
	البروتين (%)	10.51 ± 0.06^{a}	12.25 ± 0.11^{b}	13.52 ± 0.21^{c}
	الغلوتين الرطب (%)	31.32 ± 0.22^{a}	32.10 ± 0.15^{b}	34.66 ± 0.20^{c}
	الغلوتين الجاف (%)	9.11 ± 0.32^{a}	10.53 ± 0.15^{b}	12.05 ± 0.21^{c}
	دليل الغلوتين (%)	85.25 ± 1.44^{a}	81.51 ± 0.77^{b}	78.40 ± 1.52^{c}

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

الجدول (11) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.

منطقة الدراسة	الخصائص الفيزيوكيميائية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	الرطوبة (%)	15.10 ± 0.12^{a}	15.16 ± 0.44^{a}	15.21 ± 0.34^{a}
	الرماد (%)	0.61 ± 0.01^{a}	0.89 ± 0.05^{b}	1.64 ± 0.08^{c}
	اللون (درجة)	1.20 ± 0.05^{a}	2.55 ± 0.01^{b}	5.32 ± 0.10^{c}
	البروتين (%)	10.54 ± 0.11^{a}	12.34 ± 0.22^{b}	13.15 ± 0.33^{c}
	الغلوتين الرطب (%)	33.35 ± 0.41^{a}	35.10 ± 0.10^{b}	36.69 ± 0.15^{c}
	الغلوتين الجاف (%)	9.02 ± 0.21^{a}	10.44 ± 0.05^{b}	11.88 ± 0.35^{c}
	دليل الغلوتين (%)	80.10 ± 1.82^{a}	81.30 ± 2.21^{b}	77.25 ± 1.24^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	15.15 ± 0.10^{a}	15.21 ± 0.25^{a}	15.22 ± 0.10^{a}
	الرماد (%)	0.58 ± 0.06^{a}	0.88 ± 0.01^{b}	1.62 ± 0.02^{c}
	اللون (درجة)	1.33 ± 0.02^{a}	2.65 ± 0.03^{b}	5.45 ± 0.05^{c}
	البروتين (%)	10.44 ± 0.20^{a}	12.26 ± 0.12^{b}	13.45 ± 0.11^{c}
	الغلوتين الرطب (%)	32.55 ± 0.24^{a}	35.12 ± 0.15^{b}	36.52 ± 0.62^{c}
	الغلوتين الجاف (%)	8.91 ± 0.05^{a}	10.21 ± 0.02^{b}	11.45 ± 0.11^{c}
	دليل الغلوتين (%)	79.40 ± 0.65^{a}	77.10 ± 1.10^{b}	76.15 ± 2.12^{c}

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

الجدول (12) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.

منطقة الدراسة	الخصائص الفيزيوكيميائية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	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}	1.10 ± 0.02^{c}
	اللون (درجة)	0.55 ± 0.05^{a}	0.90 ± 0.12^{b}	2.62 ± 0.11^{c}
	البروتين (%)	8.81 ± 0.12^{a}	10.05 ± 0.22^{b}	12.10 ± 0.10^{c}
	الغلوتين الرطب (%)	28.55 ± 0.25^{a}	29.62 ± 0.15^{b}	29.95 ± 0.66^{c}
	الغلوتين الجاف (%)	8.01 ± 0.05^{a}	9.28 ± 0.31^{b}	10.90 ± 0.25^{c}
	دليل الغلوتين (%)	72.42 ± 1.05^{a}	70.22 ± 1.24^{b}	66.35 ± 1.10^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	13.25 ± 0.11^{a}	13.58 ± 0.04^{a}	13.61 ± 0.31^{a}
	الرماد (%)	0.44 ± 0.02^{a}	0.65 ± 0.05^{b}	1.21 ± 0.01^{c}
	اللون (درجة)	0.65 ± 0.05^{a}	1.70 ± 0.03^{b}	3.25 ± 0.02^{c}
	البروتين (%)	9.25 ± 0.08^{a}	10.33 ± 0.20^{b}	11.81 ± 0.21^{c}
	الغلوتين الرطب (%)	28.62 ± 0.12^{a}	29.55 ± 0.15^{b}	29.90 ± 0.18^{c}
	الغلوتين الجاف (%)	8.31 ± 0.10^{a}	9.65 ± 0.02^{b}	9.88 ± 0.20^{c}
	دليل الغلوتين (%)	77.20 ± 1.43^{a}	75.60 ± 0.85^{b}	72.70 ± 1.25^{c}

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

الجدول (13) الخصائص الفيزيوكيميائية لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.

منطقة الدراسة	الخصائص الفيزيوكيميائية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	الرطوبة (%)	13.55 ± 0.14^{a}	13.56 ± 0.15^{a}	13.60 ± 0.13^{a}
	الرماد (%)	0.42 ± 0.01^{a}	0.65 ± 0.05^{b}	1.11 ± 0.04^{c}
	اللون (درجة)	0.64 ± 0.05^{a}	1.72 ± 0.01^{b}	3.10 ± 0.02^{c}
	البروتين (%)	8.92 ± 0.10^{a}	9.85 ± 0.02^{b}	11.10 ± 0.08^{c}
	الغلوتين الرطب (%)	28.15 ± 0.11^{a}	29.10 ± 0.22^{b}	29.65 ± 0.33^{c}
	الغلوتين الجاف (%)	7.95 ± 0.01^{a}	9.10 ± 0.06^{b}	9.55 ± 0.12^{c}
	دليل الغلوتين (%)	72.60 ± 1.24^{a}	70.10 ± 2.01^{b}	69.20 ± 0.72^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	13.68 ± 0.10^{a}	13.65 ± 0.02^{a}	13.72 ± 0.12^{a}
	الرماد (%)	0.46 ± 0.02^{a}	0.60 ± 0.01^{b}	1.20 ± 0.02^{c}
	اللون (درجة)	0.60 ± 0.01^{a}	1.65 ± 0.04^{b}	3.00 ± 0.06^{c}
	البروتين (%)	9.05 ± 0.16^{a}	9.82 ± 0.11^{b}	11.12 ± 0.10^{c}
	الغلوتين الرطب (%)	28.22 ± 0.31^{a}	29.25 ± 0.26^{b}	29.74 ± 0.12^{c}
	الغلوتين الجاف (%)	8.00 ± 0.05^{a}	8.90 ± 0.02^{b}	9.30 ± 0.10^{c}
	دليل الغلوتين (%)	72.40 ± 2.12^{a}	70.20 ± 1.21^{b}	69.40 ± 0.88^{c}

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

3-6- 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 *et al.*, 2016).

تعبر طريقة الفارينوغراف لتقدير الخصائص الريولوجية للعجين عن تطور العجين تحت ظروف عجن محددة بعد وصولها إلى المرحلة القياسية عند الخط 500 BU (Munteanu *et al.*, 2015). بيَّن قياس

الخصائص الريولوجية لأنواع الدقيق المدروسة (دقيق الزيرو، الدقيق الموحد ودقيق القمح الكامل) والناتجة عن طحن صنفي القمح القاسي (الجدول 14 و15) وصنفي القمح الطري (الجدول 16 و17) باستخدام جهاز الفارينوغراف وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) بين كلٍّ من أنواع الدقيق وأنواع القمح وموقع الزراعة. ازدادت امتصاصية الدقيق للماء مع رفع نسبة استخراج الدقيق من (61.10، 61.55، 60.40 و60.65%) و(56.35، 56.50، 55.10 و55.45%) في دقيق الزيرو إلى (64.20، 64.80، 62.95 و63.25%) و(58.55، 59.10، 58.45 و58.61%) في الدقيق الموحد، ووصلت إلى (66.45، 66.50، 65.55 و65.75%) و(60.22، 61.45، 61.00 و60.80%) 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 *et al.*, 2008)، وقد بيَّن Sudha وآخرون (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 *et al.*, 2007). وبشكلٍ عام، كان امتصاص الدقيق للماء للعينات المختبرة في مجال (55.10–66.50%) 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، 3.55، 3.55 و3.65 دقيقة) و(3.00، 3.00، 3.10 و3.00 دقيقة) الذي يحتوي على نخالة أقل، مقارنةً مع الدقيق 80% (4.05، 4.00، 3.95 و4.05 دقيقة) و(3.25، 3.20، 3.40 و3.20 دقيقة) والدقيق 100% (4.50، 4.50، 4.55 و4.10 دقيقة) (3.55، 3.50، 3.55

و3.50 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 *et al.*, 2016; Laurikainen *et al.*, 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 *et al.*, 2008). على النقيض من ذلك، كانت قيم زمن ثباتية العجينة، وهي مؤشر على قوة الدقيق (Rosell *et al.*, 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، 3.50، 3.75 و3.70 دقيقة) و(2.50، 2.55، 2.75 و2.55 دقيقة)، وللدقيق الموحد (3.20، 3.10، 3.60 و3.40 دقيقة) و(2.10، 2.20، 2.50 و2.20 دقيقة) ولدقيق القمح الكامل (2.75، 2.75، 2.50 و2.50 دقيقة) و(2.00، 2.05، 2.10 و2.00 دقيقة) لدقيق القمح القاسي والطري على التوالي. وكانت نتائج زمن ثباتية العجينة متوافقة مع نتائج درجة ضعف العجينة، والتي ازدادت معنوياً مع رفع نسبة استخراج الدقيق، حيث تراوحت بين (77.10–95.50 BU) في أنواع دقيق القمح القاسي، وبين (115.00–131.50 BU) في أنواع دقيق القمح الطري، وبالتالي يمكن الاستنتاج أنَّ النخالة لها تأثير تليين في العجين، وتتوافق هذه النتائج مع (Goesaert *et al.*, 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% (52.20 و44.20) مقارنةً مع الدقيق الموحد (50.30 و42.22) ودقيق القمح الكامل (45.21 و39.65) لدقيق القمح القاسي والطري على التوالي، وقد أشارت دراسات سابقة إلى أنَّه عندما كانت قيم الرقم الفالوريمتري أعلى، كانت الخصائص الريولوجية للعجين أفضل (Sahari *et al.*, 2006).

الجدول (14) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.

منطقة الدراسة	مؤشرات الفارينوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	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}
منطقة حمص	امتصاصية الماء (%)	61.55 ± 0.15^{a}	64.80 ± 0.33^{b}	66.50 ± 0.15^{c}
	زمن تطور العجينة (د)	3.55 ± 0.02^{a}	4.00 ± 0.05^{b}	4.50 ± 0.01^{c}
	زمن ثباتية العجينة (د)	3.50 ± 0.01^{a}	3.10 ± 0.02^{b}	2.75 ± 0.01^{c}
	درجة ضعف العجينة (BU)	82.00 ± 0.88^{a}	87.50 ± 1.15^{b}	95.50 ± 2.05^{c}
	الرقم الفالوريمتري	52.20 ± 0.22^{a}	50.30 ± 0.44^{b}	45.15 ± 0.65^{c}

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

الجدول (15) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.

منطقة الدراسة	مؤشرات الفارينوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	امتصاصية الماء (%)	60.40 ± 0.22^{a}	62.95 ± 0.12^{b}	65.55 ± 0.34^{c}
	زمن تطور العجينة (د)	3.55 ± 0.02^{a}	3.95 ± 0.03^{b}	4.55 ± 0.06^{c}
	زمن ثباتية العجينة (د)	3.75 ± 0.01^{a}	3.60 ± 0.02^{b}	2.50 ± 0.01^{c}
	درجة ضعف العجينة (BU)	77.10 ± 0.80^{a}	82.00 ± 1.44^{b}	90.30 ± 2.01^{c}
	الرقم الفالوريمتري	50.50 ± 0.66^{a}	46.40 ± 0.51^{b}	41.10 ± 0.24^{c}
منطقة حمص	امتصاصية الماء (%)	60.65 ± 0.72^{a}	63.25 ± 0.10^{b}	65.75 ± 0.11^{c}
	زمن تطور العجينة (د)	3.65 ± 0.03^{a}	4.05 ± 0.05^{b}	4.10 ± 0.02^{c}
	زمن ثباتية العجينة (د)	3.70 ± 0.05^{a}	3.40 ± 0.01^{b}	2.50 ± 0.02^{c}
	درجة ضعف العجينة (BU)	78.50 ± 2.21^{a}	84.60 ± 0.81^{b}	92.50 ± 0.85^{c}
	الرقم الفالوريمتري	50.00 ± 0.24^{a}	45.20 ± 0.14^{b}	42.60 ± 0.52^{c}

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

الجدول (16) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.

منطقة الدراسة	مؤشرات الفارينوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	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}
منطقة حمص	امتصاصية الماء (%)	56.50 ± 0.44^{a}	59.10 ± 0.61^{b}	61.45 ± 0.74^{c}
	زمن تطور العجينة (د)	3.00 ± 0.01^{a}	3.20 ± 0.04^{b}	3.50 ± 0.05^{c}
	زمن ثباتية العجينة (د)	2.55 ± 0.03^{a}	2.20 ± 0.01^{b}	2.05 ± 0.05^{c}
	درجة ضعف العجينة (BU)	120.00 ± 1.32^{a}	125.50 ± 0.91^{b}	130.20 ± 1.30^{c}
	الرقم الفالوريمتري	42.80 ± 0.44^{a}	40.55 ± 0.65^{b}	35.10 ± 0.15^{c}

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

الجدول (17) مؤشرات الفارينوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.

منطقة الدراسة	مؤشرات الفارينوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	امتصاصية الماء (%)	55.10 ± 0.33^{a}	58.45 ± 0.21^{b}	61.00 ± 0.25^{c}
	زمن تطور العجينة (د)	3.10 ± 0.01^{a}	3.40 ± 0.04^{b}	3.55 ± 0.06^{c}
	زمن ثباتية العجينة (د)	2.75 ± 0.03^{a}	2.50 ± 0.01^{b}	2.10 ± 0.05^{c}
	درجة ضعف العجينة (BU)	116.40 ± 3.10^{a}	121.60 ± 0.77^{b}	130.00 ± 1.53^{c}
	الرقم الفالوريمتري	44.20 ± 0.64^{a}	42.22 ± 0.15^{b}	39.65 ± 0.86^{c}
منطقة حمص	امتصاصية الماء (%)	55.45 ± 0.12^{a}	58.60 ± 0.56^{b}	60.80 ± 0.95^{c}
	زمن تطور العجينة (د)	3.00 ± 0.05^{a}	3.20 ± 0.01^{b}	3.50 ± 0.02^{c}
	زمن ثباتية العجينة (د)	2.55 ± 0.02^{a}	2.20 ± 0.04^{b}	2.00 ± 0.01^{c}
	درجة ضعف العجينة (BU)	115.00 ± 2.25^{a}	120.40 ± 2.67^{b}	131.50 ± 2.05^{c}
	الرقم الفالوريمتري	43.10 ± 0.11^{a}	41.62 ± 0.75^{b}	37.15 ± 0.50^{c}

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

3-7- خصائص الاكستينسوغراف لأنواع دقيق القمح المدروسة:

تقدم تقنية الاكستينسوغراف معلومات حول سلوك اللزوجة والمرونة (Viscoelastic behaviour) للعجين (Rosell *et al*., 2001)، حيث يقيس هذا الجهاز قابلية التمدد للعجين ومقاومة التمدد، ويؤدي الجمع بين المقاومة الجيدة وقابلية التمدد الجيدة إلى خصائص العجين المرغوبة (Walker and Hazelton, 1996).

تمَّ قياس الخصائص الريولوجية باستخدام جهاز الاكستنسوغراف لأنواع الدقيق المدروسة والمختلفة بنسب الاستخراج (72%، 80% و100%) لنوعي القمح المحلي القاسي والطري وسُجِّلت النتائج في الجداول (18، 19، 20 و21). 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 في قوة الدقيق، وهذا يتوافق مع مجمل الدراسات السابقة (Liu *et al*., 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 *et al*., 2015).

انخفضت القدرة، وهي مقدار الطاقة اللازمة للتشوه، معنوياً مع ارتفاع نسبة استخراج الدقيق لنوعي القمح، حيث كانت قيم القدرة لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3 (51.15، 50.35 و47.15 سم^2) و(51.00، 50.60 و47.55 سم^2) ولأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9 (53.30، 52.00 و48.55 سم^2) و(52.80، 51.50 و48.90 سم^2) مقارنةً مع أنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10 (45.20، 41.25 و35.75 سم^2) و(46.00، 43.30 و38.60سم^2) وأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6

(44.70، 41.80 و36.65 سم^2) و(44.30، 42.15 و35.95 سم^2) لدقيق الزيرو، الدقيق الموحد ودقيق القمح الكامل في منطقة حقل قرحتا وحقل حمص على التوالي.

من جهة أخرى، أبدى دقيق الزيرو مقاومة عالية للشد (275.50 و280.10 BU)، (278.10 و277.40 BU)، (220.25 و225.50 BU) و(225.15 و222.10 BU)، والتي تستخدم عادةً للتنبؤ بخصائص معاملة العجين وتحمل التخمير، بالمقارنة مع الدقيق الموحد (271.25 و273.50 BU)، (273.20 و272.00 BU)، (214.10 و215.00 BU) و(215.00 و210.40 BU) ودقيق القمح الكامل (266.20 و265.00 BU)، (268.50 و268.00 BU)، (205.50 و200.00 BU) و(200.20 و200.00 BU) للأصناف دوما3، شام9، بحوث10 ودوما6 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 (255.15–355.20 BU) في أنواع دقيق القمح القاسي، وبين (235.10–315.40 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 و135.00 مم)، (136.10 و132.50 مم)، (155.20 و158.00 مم) و(158.10 و158.60 مم)، وللدقيق الموحد (142.15 و141.55 مم)، (144.10 و145.00 مم)، (162.45 و164.25 مم)، و(164.25 و162.00 مم)، ولدقيق القمح الكامل (161.15 و160.10 مم)، (158.60 و156.20 مم)، (180.20 و181.00 مم) و(182.50 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 (1.58–2.68) 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 *et al.*, 2004).

الجدول (18) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.

منطقة الدراسة	مؤشرات الاكستينسوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	القدرة (سم^2)	51.15 ± 0.25^a	50.35 ± 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
منطقة حمص	القدرة (سم^2)	51.00 ± 0.41^a	50.60 ± 0.33^b	47.55 ± 0.15^c
	مقاومة الشد (BU)	280.10 ± 3.12^a	273.50 ± 2.44^b	265.00 ± 1.34^c
	المقاومة العظمى للشد (BU)	345.50 ± 3.15^a	322.10 ± 1.65^b	255.50 ± 1.22^c
	المرونة (مم)	135.00 ± 0.98^a	141.55 ± 3.45^b	160.10 ± 3.30^c
	المطاطية	2.56 ± 0.02^a	2.28 ± 0.04^b	1.60 ± 0.05^c

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

الجدول (19) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.

منطقة الدراسة	مؤشرات الاكستينسوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	القدرة (سم^2)	53.30 ± 0.56^a	52.00 ± 0.41^b	48.55 ± 0.12^c
	مقاومة الشد (BU)	278.10 ± 4.05^a	273.20 ± 1.66^b	268.50 ± 1.43^c
	المقاومة العظمى للشد (BU)	350.40 ± 2.21^a	326.20 ± 1.33^b	257.10 ± 3.25^c
	المرونة (مم)	136.10 ± 2.55^a	144.10 ± 1.12^b	158.60 ± 1.50^c
	المطاطية	2.57 ± 0.03^a	2.26 ± 0.04^b	1.62 ± 0.01^c
منطقة حمص	القدرة (سم^2)	52.80 ± 0.11^a	51.50 ± 0.23^b	48.90 ± 0.10^c
	مقاومة الشد (BU)	277.40 ± 2.15^a	272.00 ± 2.72^b	268.00 ± 4.01^c
	المقاومة العظمى للشد (BU)	355.20 ± 3.35^a	330.10 ± 5.24^b	261.50 ± 2.40^c
	المرونة (مم)	132.50 ± 3.42^a	145.00 ± 2.10^b	156.20 ± 0.88^c
	المطاطية	2.68 ± 0.05^a	2.28 ± 0.01^b	1.67 ± 0.04^c

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

الجدول (20) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.

منطقة الدراسة	مؤشرات الاكستينسوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	القدرة (سم^2)	45.20 ± 0.31^a	41.25 ± 0.42^b	35.75 ± 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
منطقة حمص	القدرة (سم^2)	46.00 ± 0.10^a	43.30 ± 0.22^b	38.60 ± 0.41^c
	مقاومة الشد (BU)	225.50 ± 4.15^a	215.00 ± 1.34^b	200.00 ± 2.11^c
	المقاومة العظمى للشد (BU)	315.40 ± 2.55^a	280.10 ± 1.05^b	235.50 ± 2.10^c
	المرونة (مم)	158.00 ± 0.76^a	164.25 ± 1.12^b	181.00 ± 1.42^c
	المطاطية	2.00 ± 0.05^a	1.71 ± 0.03^b	1.30 ± 0.02^c

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

الجدول (21) مؤشرات الاكستينسوغراف لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.

منطقة الدراسة	مؤشرات الاكستينسوغراف	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	القدرة (سم^2)	44.70 ± 0.55^a	41.80 ± 0.16^b	36.65 ± 0.12^c
	مقاومة الشد (BU)	225.15 ± 1.15^a	215.00 ± 2.33^b	200.20 ± 1.65^c
	المقاومة العظمى للشد (BU)	312.10 ± 2.22^a	280.10 ± 1.24^b	238.00 ± 4.10^c
	المرونة (مم)	158.10 ± 2.45^a	164.25 ± 0.66^b	182.50 ± 1.23^c
	المطاطية	1.97 ± 0.04^a	1.71 ± 0.05^b	1.30 ± 0.01^c
منطقة حمص	القدرة (سم^2)	44.30 ± 0.42^a	42.15 ± 0.22^b	35.95 ± 0.10^c
	مقاومة الشد (BU)	222.10 ± 5.02^a	210.40 ± 1.54^b	200.00 ± 3.22^c
	المقاومة العظمى للشد (BU)	310.50 ± 3.15^a	282.20 ± 4.67^b	235.50 ± 2.33^c
	المرونة (مم)	158.60 ± 1.01^a	162.00 ± 2.12^b	180.20 ± 3.11^c
	المطاطية	1.96 ± 0.02^a	1.74 ± 0.01^b	1.31 ± 0.03^c

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

3-8- 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 (22 و23) لأنواع دقيق أصناف القمح القاسي والجدول (24 و25) لأنواع دقيق أصناف 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، 20.15، 17.31 و18.10 مغ.كغ$^{-1}$) و(19.88، 20.77، 19.10 و19.28 مغ.كغ$^{-1}$)، وانخفض في الدقيق الموحد إلى (11.82، 12.76، 10.54 و11.05 مغ.كغ$^{-1}$) و(12.02، 14.45، 11.69 و10.95 مغ.كغ$^{-1}$)، بينما كان محتوى الدقيق الأبيض (دقيق الزيرو) في حدود (6.19، 7.33، 5.76 و6.12 مغ.كغ$^{-1}$) و(6.26، 7.31، 6.12 و6.24

مغ.كغ$^{-1}$) 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 وآخرون (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 (17.42–29.18 مغ.كغ$^{-1}$)، بينما تراوح محتوى الحديد في أنواع دقيق القمح الطري بين (20.55–30.56 مغ.كغ$^{-1}$). في دراسةٍ سابقةٍ، بيَّن Dewettinck وآخرون (2008) أن محتوى الحديد في القمح الكامل تراوح بين (10–50 مغ.كغ$^{-1}$)، 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 (25.62، 25.52، 26.56 و26.44 مغ.كغ$^{-1}$) و(23.15، 24.38، 24.88 و24.45 مغ.كغ$^{-1}$) في دقيق القمح الكامل إلى (15.05، 15.11، 18.42 و18.32 مغ.كغ$^{-1}$) و(14.80، 15.21، 13.95 و14.53 مغ.كغ$^{-1}$) في الدقيق الموحد، ثم انخفض بشكلٍ كبير ليصل إلى (4.50، 4.61، 5.31 و6.12 مغ.كغ$^{-1}$) و(4.70، 5.09، 4.66 و4.78 مغ.كغ$^{-1}$) 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$^{-1}$) حسب نوع القمح، منطقة الزراعة ونسبة استخراج الدقيق (Suchowilska *et al.*, 2012; Vrček and Vinković, 2012; Akinyele and Shokunbi, 2015; Ertl and Goessler, 2018).

بالإضافة إلى ذلك، أظهر دقيق الزيرو انخفاضاً واضحاً في نسبة النحاس (4.95، 4.82، 4.58 و4.86 مغ.كغ$^{-1}$) و(4.33، 4.21، 4.26 و4.15 مغ.كغ$^{-1}$)، تقريباً نصف كمية النحاس في دقيق القمح الكامل (8.70، 8.58، 8.45 و8.59 مغ.كغ$^{-1}$) و(7.40، 7.00، 7.38 و7.36 مغ.كغ$^{-1}$)، أما الدقيق الموحد فقد احتوى (6.77، 6.85، 6.88 و6.74 مغ.كغ$^{-1}$) و(5.80، 5.77، 5.87 و5.64 مغ.كغ$^{-1}$) 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 *et al.*, 2008)، والتي بينت أنَّ نسبة النحاس في أنواع حبوب القمح تتراوح بين (5.2–8.1 مغ.كغ$^{-1}$)، وتتراوح نسبته في أنواع الدقيق بين (1.5–2.8 مغ.كغ$^{-1}$).

تراوحت تركيزات الكوبالت لعينات أنواع الدقيق بين (2.46–11.18 نانوغرام.غ$^{-1}$) لأنواع دقيق القمح القاسي، وبين (3.00–10.79 نانوغرام.غ$^{-1}$) 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 مع معظم قيم الأبحاث المرجعية السابقة للحبوب والدقيق، والتي أفادت أن تركيز الكوبالت في الأنواع المختلفة من القمح والدقيق يتراوح بنطاق بين 4 و14 نانوغرام.غ$^{-1}$ (Bermudez *et al.*, 2011; Podio *et al.*, 2013).

الجدول (22) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.

منطقة الدراسة	العناصر المعدنية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	6.19 ± 0.10^{a}	11.82 ± 0.14^{b}	18.22 ± 0.15^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	18.81 ± 0.25^{a}	22.63 ± 0.15^{b}	27.12 ± 0.20^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.50 ± 0.12^{a}	15.05 ± 0.10^{b}	25.62 ± 0.10^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.95 ± 0.01^{a}	6.77 ± 0.05^{b}	8.70 ± 0.06^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	2.46 ± 0.04^{a}	6.17 ± 0.11^{b}	10.80 ± 0.11^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	7.33 ± 0.06^{a}	12.76 ± 0.21^{b}	20.15 ± 0.11^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	17.42 ± 0.22^{a}	21.50 ± 0.32^{b}	25.96 ± 0.25^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.61 ± 0.05^{a}	$15.11 \pm 0.0.9^{b}$	25.52 ± 0.20^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.82 ± 0.03^{a}	6.85 ± 0.02^{b}	8.58 ± 0.10^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	3.10 ± 0.01^{a}	6.21 ± 0.02^{b}	11.18 ± 0.12^{b}

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

الجدول (23) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.

منطقة الدراسة	العناصر المعدنية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	5.76 ± 0.08^{a}	10.54 ± 0.15^{b}	17.31 ± 0.22^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	19.89 ± 0.34^{a}	21.77 ± 0.11^{b}	29.10 ± 0.52^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	5.31 ± 0.10^{a}	18.42 ± 0.31^{b}	26.56 ± 0.66^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.58 ± 0.02^{a}	6.88 ± 0.04^{b}	8.45 ± 0.01^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	3.22 ± 0.01^{a}	5.40 ± 0.05^{b}	10.32 ± 0.11^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	6.12 ± 0.03^{a}	11.05 ± 0.12^{b}	18.10 ± 0.15^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	18.22 ± 0.16^{a}	20.85 ± 0.20^{b}	29.18 ± 0.33^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	6.12 ± 0.06^{a}	18.32 ± 0.11^{b}	26.44 ± 0.56^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.86 ± 0.05^{a}	6.74 ± 0.02^{b}	8.59 ± 0.10^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	3.46 ± 0.05^{a}	5.31 ± 0.02^{b}	10.22 ± 0.15^{c}

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

الجدول (24) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.

منطقة الدراسة	العناصر المعدنية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	6.26 ± 0.06^{a}	12.02 ± 0.22^{b}	19.88 ± 0.32^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	21.02 ± 0.15^{a}	24.95 ± 0.20^{b}	29.58 ± 0.25^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.70 ± 0.01^{a}	14.80 ± 0.14^{b}	23.15 ± 0.15^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.33 ± 0.01^{a}	5.80 ± 0.03^{b}	7.40 ± 0.02^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	3.00 ± 0.04^{a}	6.10 ± 0.01^{b}	10.46 ± 0.10^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	7.31 ± 0.02^{a}	14.45 ± 0.41^{b}	20.77 ± 0.10^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	20.65 ± 0.23^{a}	25.10 ± 0.12^{b}	28.54 ± 0.22^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	5.09 ± 0.11^{a}	15.21 ± 0.12^{b}	24.38 ± 0.18^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.21 ± 0.06^{a}	5.77 ± 0.04^{b}	7.00 ± 0.01^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	3.68 ± 0.01^{a}	6.44 ± 0.08^{b}	10.15 ± 0.11^{c}

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

الجدول (25) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.

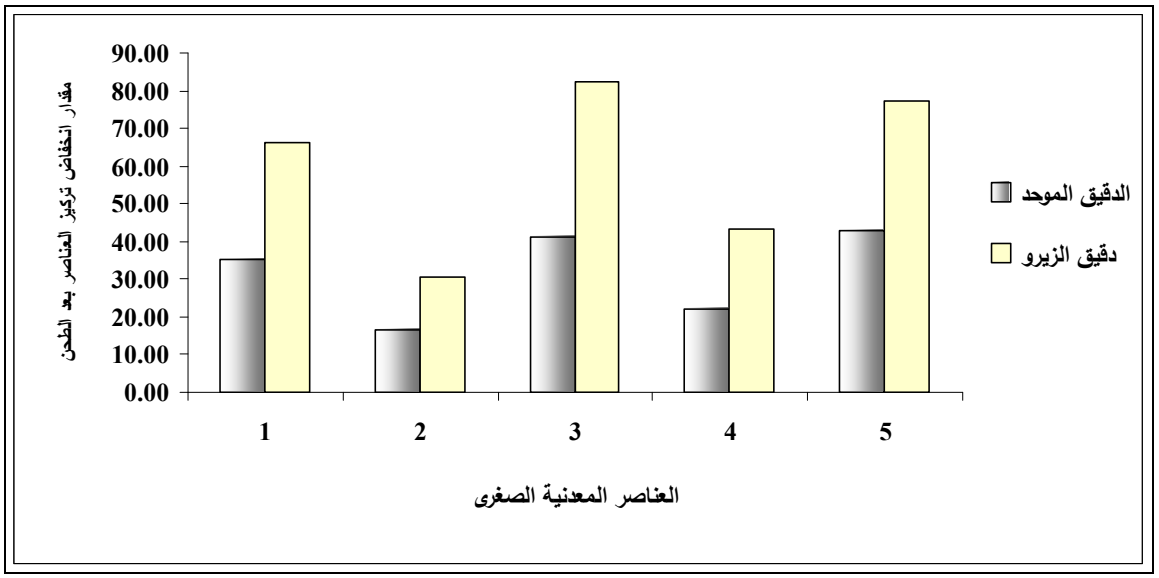
منطقة الدراسة	العناصر المعدنية	دقيق زيرو	دقيق موحد	دقيق كامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	6.12 ± 0.10^{a}	11.69 ± 0.15^{b}	19.10 ± 0.43^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	20.78 ± 0.64^{a}	25.33 ± 0.21^{b}	30.56 ± 0.34^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.66 ± 0.08^{a}	13.95 ± 0.12^{b}	24.88 ± 0.41^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.26 ± 0.02^{a}	5.87 ± 0.01^{b}	7.38 ± 0.11^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	3.50 ± 0.01^{a}	6.44 ± 0.06^{b}	10.49 ± 0.12^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	6.24 ± 0.02^{a}	10.95 ± 0.14^{b}	19.28 ± 0.11^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	20.55 ± 0.24^{a}	25.31 ± 0.45^{b}	30.50 ± 0.22^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.78 ± 0.02^{a}	14.53 ± 0.10^{b}	24.45 ± 0.16^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	4.15 ± 0.01^{a}	5.64 ± 0.06^{b}	7.36 ± 0.11^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	3.61 ± 0.02^{a}	6.56 ± 0.05^{b}	10.79 ± 0.15^{c}

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

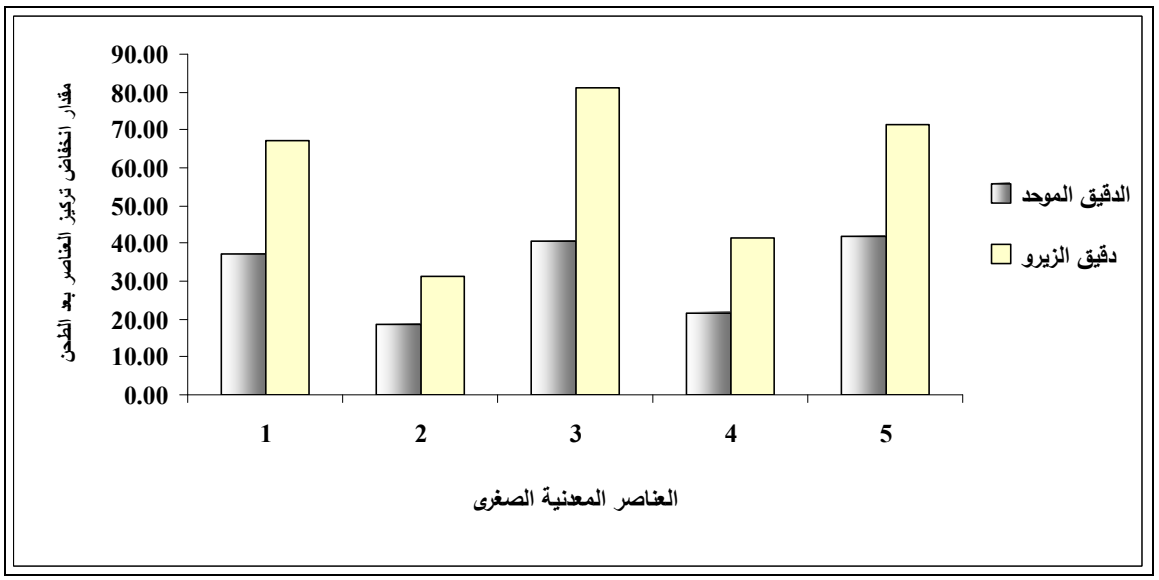
3-9- تأثير عملية الطحن في تركيز العناصر المعدنية الصغرى:

يبين الشكل (4 و5) 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 *et al.*, 2014).



الشكل (4) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح القاسي.



الشكل (5) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى لأنواع دقيق القمح الطري.

3-10- تحديد علاقة العناصر المعدنية الصغرى في الخصائص الكمية والنوعية لغلوتين الدقيق:

حُسِّبت قيم معاملات الارتباط بين محتوى أنواع الدقيق الناتجة عن طحن أصناف القمح القاسي والطري والمزروعة في منطقتين مختلفتين من العناصر المعدنية الصغرى والخصائص الكمية والنوعية لغلوتين الدقيق، وذلك للتحري عن دور هذه العناصر في خصائص الدقيق ومنه في جودة الخبز، وسُجِّلت النتائج في الجدول (26).

إن كمية وتكوين بروتينات التخزين في الاندوسبيرم (الغليادين والغلوتينين) له تأثير ملحوظ في الخصائص الريولوجية للعجين المصنوع من دقيق القمح، وتؤثر الظروف البيئية بشكل كبير في جودة الاستخدام النهائي، حيث أظهرت العديد من الدراسات أن التباين البيئي في سمات الجودة يمكن أن يتجاوز التباين الوراثي (Panozzo and Eagles, 2000). بالإضافة إلى ذلك، تلعب عملية التغذية المعدنية أيضاً دوراً رئيسياً في تحديد جودة الحبوب، لكن ركزت معظم الدراسات السابقة وبشكل كبير على تأثيرات المغذيات الكبيرة، وخاصة الآزوت والكبريت (Shewry *et al.*, 1995)، ولم يحظ تأثير المغذيات الدقيقة إلا بقدر قليل من الاهتمام ولكن تم إثبات قدرتها على التأثير في جودة الدقيق.

بينت النتائج عدم امتلاك عنصر الزنك أي تأثرات معنوية في خصائص الغلوتين، فيما عدا النسبة المئوية للغلوتين الجاف، حيث ارتبط الزنك معه بعلاقة ارتباط معنوية إيجابية (0.57). أكدت دراسات سابقة أن نقص الزنك والإجهاد الحراري يحدث أثناء مرحلة إمتلاء الحبوب في عدد من مناطق زراعة القمح المهمة حول العالم، وقد تمَّ توثيق التغيرات في تكوين بروتين الحبوب بسبب ارتفاع درجة الحرارة بشكل جيد، ولكن لا يُعرف سوى القليل عن تأثير الزنك، وأظهرت الدراسة أن ارتفاع تركيز الزنك في الحبوب أدى إلى تقليل نسبة الغليادين والبروتين البوليمري غير القابل للاستخلاص من SDS وزيادة نسبة البروتين البوليمري القابل للاستخلاص من SDS، وبالتالي أظهرت النتائج أن التغذية بالزنك يمكن أن تغير تركيبة البروتين وأن تأثيرات الزنك قد تتفاعل مع درجات حرارة ملء الحبوب (Peck *et al.*, 2008)، كما بينت دراسة

أخرى أنه يمكن أن تؤدي زيادة الزنك المتاح إلى زيادة تركيز بروتين الحبوب، والذي قد يتراكم بشكل تفضيلي في الغلوتين (Akgun *et al.*, 2016)، وهذا ما يتوافق مع نتائج هذه الدراسة. على النقيض من ذلك، فقد أظهر الحديد علاقات ارتباط عالية المعنوية مع جميع المؤشرات الكمية والنوعية للغلوتين، لكن أهم ما يميز تأثيرات الحديد في خصائص الغلوتين هو علاقات الارتباط السلبية مع دليل الغلوتين (−0.91) وزمن ثباتية العجينة (−0.94) والإيجابية مع درجة ضعف العجينة (0.93) ومرونة العجينة (0.89)، وهذا يدل على التأثير المضعف للحديد في قوة الدقيق، وقد توافقت هذه النتائج مع أبحاث سابقة (Sadeghi and Eatye Salehi, 2016; Rebellato *et al.*, 2017). وبشكل مشابه، أبدى عنصر المنغنيز تأثيرات سلبية في قوة الدقيق، من حيث الارتباط السلبي مع دليل الغلوتين (−0.80) وزمن ثباتية العجينة (−0.74) والارتباط الإيجابي مع درجة ضعف العجينة (0.77) ومرونة العجينة (0.82)، بينما أظهر عنصر النحاس تأثيراً إيجابياً في قوة الدقيق من خلال علاقة الارتباط الإيجابية مع دليل الغلوتين، زمن ثباتية العجينة، المقاومة العظمى للشد والمطاطية (0.99، 0.97، 0.96 و0.98) على التوالي، وعلاقة سلبية مع مرونة العجينة (−0.99)، وهذا يتوافق مع (Flynn *et al.*, 1987) الذي أظهر أن الدقيق المستخرج من القمح الناقص النحاس ينتج عجيناً مفرط التمدد وضعيفاً، على الرغم من احتوائه على تركيز عالٍ من البروتين في الحبوب. أظهرت نتائج الدراسة أيضاً التأثير السلبي لعنصر الكوبالت في قوة الدقيق، كما لم يلاحظ وجود دراسات مرجعية سابقة تؤكد تأثير الكوبالت في خصائص جودة دقيق القمح، ويعود ذلك بالدرجة الأولى لوجوده بتراكيز منخفضة جداً في القمح (Han *et al.*, 2018).

الجدول (26) معاملات الارتباط بين محتوى الدقيق من العناصر المعدنية الصغرى والمؤشرات الكمية والنوعية للغلوتين.

	الزنك	الحديد	المنغنيز	النحاس	الكوبالت
الغلوتين الرطب	-0.28	-0.75	-0.77	0.96	-0.79
الغلوتين الجاف	0.57	-0.45	0.94	-0.66	0.82
دليل الغلوتين	-0.07	-0.91	-0.80	0.99	-0.68
امتصاصية الماء	0.04	-0.96	-0.74	0.97	-0.60
زمن تطور العجينة	-0.18	-0.84	-0.78	0.99	-0.74
زمن ثباتية العجينة	0.00	-0.94	-0.74	0.97	-0.63
درجة ضعف العجينة	0.04	0.93	0.77	-0.98	0.66
المقاومة العظمى للشد	0.06	-0.94	-0.69	0.96	-0.58
المرونة	0.07	0.89	0.82	-0.99	0.69
المطاطية	-0.01	-0.94	-0.76	0.98	-0.64

3-11- تقدير الخصائص الكيميائية لعينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق المدروسة:

تمَّ تقييم الخصائص الكيميائية (النسبة المئوية للرطوبة، النسبة المئوية للرماد، النسبة المئوية للبروتينات، النسبة المئوية للبيدات، النسبة المئوية للألياف والنسبة المئوية للنشاء) لعينات الخبز منفصل الشطرين المحضر من أنواع الدقيق الناتج عن طحن حبوب صنف القمح القاسي المحلي دوما3 (الجدول 27) والصنف شام9 (الجدول 28) وعينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق الناتج عن طحن حبوب صنف القمح الطري المحلي بحوث10 (الجدول 29) والصنف دوما6 (الجدول 30).

إن أهم ما يميز نتائج التحليل الاحصائي هو الاختلاف المعنوي في جميع المؤشرات الكيميائية المدروسة بين عينات الخبز المصنعة من أنواع الدقيق الثلاثة، فقد ترافق رفع نسبة استخراج الدقيق مع ارتفاع معنوي في النسبة المئوية للرماد (1.18-2.25% و0.87-1.92%)، النسبة المئوية للبروتينات (12.20-

13.68% و10.25–11.75%)، النسبة المئوية للبيدات (0.50–0.74% و0.51–0.68%) والنسبة المئوية للألياف الخام (0.60–1.25% و0.52–0.98%)، وانخفاض معنوي في النسبة المئوية للرطوبة (33.14–38.76% و28.10–32.35%) والنسبة المئوية للنشاء (82.11–85.43% و84.73–87.81%) لعينات الخبز الناتجة عن طحن حبوب أصناف القمح القاسي والطري على التوالي، وقد توافقت هذه النتائج مع أبحاث سابقة أهتمت بدراسة تأثير نسبة استخراج الدقيق في خصائص الدقيق الناتج وجودة المنتجات النهائية (Inas, 2020)، وقد بينت دراسة سابقة أن انخفاض رطوبة الدقيق مع زيادة معدل استخراج الدقيق يرجع إلى وجود المزيد من نخالة القمح في الدقيق التي تحتوي على نسبة رطوبة أقل مقارنةً بجزيئات الاندوسبيرم (Majzoobi *et al.*, 2013)، بالإضافة إلى ذلك، من خلال زيادة معدل استخراج الدقيق، سيزداد محتوى الدقيق من البروتين والألياف الخام وهذا مهم جداً لقضايا التغذية والتأثير الفزيولوجي للسليلوز في الجهاز الهضمي (Heshe *et al.*, 2016). على الرغم من أن زيادة معدل استخراج الدقيق، ستزداد معها كمية البروتين، إلا أن جودة الغلوتين ستنخفض بسبب ارتفاع نسبة الألياف التي تعمل على تقطيع الشبكة الغلوتينية، وهذا يؤدي إلى ضعف جودة الخبز المصنع من دقيق مرتفع معدل الاستخراج مقارنةً بمعدلات الاستخراج المنخفضة للدقيق (Milani, 2018). من جهة أخرى، تميزت عينات الخبز المصنعة من أنواع الدقيق الناتجة عن طحن أصناف القمح القاسي بخصائص كيميائية أعلى من ناحية، الرطوبة، الرماد، البروتينات، اللبيدات والألياف، وأقل للنشاء مقارنةً مع عينات الخبز المصنعة من أنواع الدقيق الناتجة عن طحن أصناف القمح الطري، ويعود ذلك بشكل عام إلى تميز حبوب القمح الرباعية (*Triticum durum*) بمؤشرات كيميائية أعلى من حبوب القمح السداسية (*Triticum aestivum*) والتي بدورها تؤثر في خصائص الدقيق والمنتج النهائي (Brankovic *et al.*, 2014).

الجدول (27) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.

منطقة الدراسة	الخصائص الكيميائية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الرطوبة (%)	38.76 ± 0.66^{a}	35.25 ± 0.23^{b}	33.20 ± 0.11^{c}
	الرماد (%)	1.22 ± 0.04^{a}	1.88 ± 0.09^{b}	2.25 ± 0.12^{c}
	البروتين (%)	12.20 ± 0.43^{a}	12.91 ± 0.15^{b}	13.68 ± 0.10^{c}
	اللبيدات (%)	0.55 ± 0.01^{a}	0.61 ± 0.03^{a}	0.74 ± 0.05^{b}
	الألياف (%)	0.60 ± 0.01^{a}	0.86 ± 0.05^{b}	1.22 ± 0.11^{c}
	النشاء (%)	85.43 ± 0.33^{a}	83.74 ± 0.67^{b}	82.11 ± 0.54^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	38.44 ± 0.24^{a}	35.31 ± 0.41^{b}	33.14 ± 0.52^{c}
	الرماد (%)	1.18 ± 0.01^{a}	1.85 ± 0.03^{b}	2.21 ± 0.06^{c}
	البروتين (%)	12.33 ± 0.15^{a}	12.88 ± 0.22^{b}	13.56 ± 0.38^{c}
	اللبيدات (%)	0.56 ± 0.02^{a}	0.63 ± 0.04^{a}	0.72 ± 0.01^{b}
	الألياف (%)	0.62 ± 0.03^{a}	0.85 ± 0.02^{b}	1.25 ± 0.05^{c}
	النشاء (%)	85.31 ± 0.84^{a}	83.79 ± 0.25^{b}	82.26 ± 0.71^{c}

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

الجدول (28) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.

منطقة الدراسة	الخصائص الكيميائية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الرطوبة (%)	38.50 ± 0.42^{a}	35.68 ± 0.11^{b}	33.34 ± 0.45^{c}
	الرماد (%)	1.28 ± 0.02^{a}	1.87 ± 0.06^{b}	2.21 ± 0.10^{c}
	البروتين (%)	12.31 ± 0.15^{a}	12.92 ± 0.21^{b}	13.59 ± 0.22^{c}
	اللبيدات (%)	0.50 ± 0.02^{a}	0.63 ± 0.01^{a}	0.72 ± 0.03^{b}
	الألياف (%)	0.62 ± 0.04^{a}	0.85 ± 0.02^{b}	1.20 ± 0.01^{c}
	النشاء (%)	85.29 ± 0.63^{a}	83.73 ± 0.42^{b}	82.28 ± 0.66^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	38.47 ± 0.12^{a}	35.61 ± 0.24^{b}	33.31 ± 0.66^{c}
	الرماد (%)	1.25 ± 0.01^{a}	1.81 ± 0.02^{b}	2.24 ± 0.08^{c}
	البروتين (%)	12.25 ± 0.33^{a}	12.90 ± 0.15^{b}	13.66 ± 0.21^{c}
	اللبيدات (%)	0.55 ± 0.03^{a}	0.60 ± 0.06^{a}	0.71 ± 0.01^{b}
	الألياف (%)	0.65 ± 0.02^{a}	0.88 ± 0.04^{b}	1.22 ± 0.05^{c}
	النشاء (%)	85.30 ± 0.42^{a}	83.81 ± 0.37^{b}	82.17 ± 0.82^{c}

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

الجدول (29) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.

منطقة الدراسة	الخصائص الكيميائية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الرطوبة (%)	32.22 ± 0.54^{a}	30.91 ± 0.44^{b}	28.15 ± 0.10^{c}
	الرماد (%)	0.87 ± 0.02^{a}	1.02 ± 0.01^{b}	1.88 ± 0.06^{c}
	البروتين (%)	10.25 ± 0.12^{a}	10.92 ± 0.33^{b}	11.74 ± 0.15^{c}
	اللبيدات (%)	0.51 ± 0.02^{a}	0.58 ± 0.05^{a}	0.66 ± 0.01^{b}
	الألياف (%)	0.56 ± 0.05^{a}	0.68 ± 0.02^{b}	0.98 ± 0.04^{c}
	النشاء (%)	87.81 ± 0.21^{a}	86.80 ± 0.44^{b}	84.74 ± 0.63^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	32.31 ± 0.22^{a}	30.84 ± 0.32^{b}	28.10 ± 0.33^{c}
	الرماد (%)	0.88 ± 0.03^{a}	1.01 ± 0.06^{b}	1.85 ± 0.01^{c}
	البروتين (%)	10.28 ± 0.21^{a}	10.90 ± 0.44^{b}	11.75 ± 0.10^{c}
	اللبيدات (%)	0.52 ± 0.01^{a}	0.56 ± 0.03^{a}	0.65 ± 0.04^{b}
	الألياف (%)	0.55 ± 0.02^{a}	0.66 ± 0.05^{b}	0.96 ± 0.01^{c}
	النشاء (%)	87.77 ± 0.98^{a}	86.87 ± 0.57^{b}	84.79 ± 0.66^{c}

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

الجدول (30) الخصائص الكيميائية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.

منطقة الدراسة	الخصائص الكيميائية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الرطوبة (%)	32.31 ± 0.66^{a}	30.78 ± 0.20^{b}	28.21 ± 0.55^{c}
	الرماد (%)	0.91 ± 0.05^{a}	1.06 ± 0.04^{b}	1.92 ± 0.02^{c}
	البروتين (%)	10.33 ± 0.35^{a}	10.88 ± 0.54^{b}	11.72 ± 0.41^{c}
	اللبيدات (%)	0.55 ± 0.03^{a}	0.62 ± 0.01^{a}	0.68 ± 0.06^{b}
	الألياف (%)	0.54 ± 0.02^{a}	0.66 ± 0.01^{b}	0.95 ± 0.05^{c}
	النشاء (%)	87.67 ± 0.92^{a}	86.78 ± 0.54^{b}	84.73 ± 0.24^{c}
منطقة حمص	الرطوبة (%)	32.35 ± 0.44^{a}	30.69 ± 0.51^{b}	28.34 ± 0.21^{c}
	الرماد (%)	0.95 ± 0.02^{a}	1.08 ± 0.05^{b}	1.90 ± 0.01^{c}
	البروتين (%)	10.35 ± 0.15^{a}	10.86 ± 0.22^{b}	11.71 ± 0.11^{c}
	اللبيدات (%)	0.54 ± 0.01^{a}	0.60 ± 0.05^{b}	0.66 ± 0.06^{c}
	الألياف (%)	0.52 ± 0.05^{a}	0.64 ± 0.02^{b}	0.92 ± 0.01^{c}
	النشاء (%)	87.64 ± 0.59^{a}	86.82 ± 0.78^{b}	84.81 ± 0.66^{c}

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

3-12- تقدير الخصائص التصنيعية لعينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق المدروسة:

تمَّ عرض نتائج تقييم الخصائص التصنيعية (القطر، السماكة والوزن) لعينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق الناتج عن طحن صنف القمح القاسي دوما3 (الجدول 31)، صنف القمح القاسي شام9 (الجدول 32)، صنف القمح الطري بحوث 10 (الجدول 33) وصنف القمح الطري دوما6 (الجدول 34).

بينت نتائج تحليل التباين (ANOVA) انخفاض قطر رغيف الخبز مع ارتفاع نسبة استخراج الدقيق، حيث تراوح بين (14.30-20.45 سم) لخبز دقيق أصناف القمح القاسي و(12.15-16.35 سم) لخبز دقيق أصناف القمح الطري. على النقيض من ذلك، أدت عملية رفع نسبة استخراج الدقيق إلى زيادة معنوية في كلٌ من سماكة الرغيف ووزن الرغيف، حيث ازدادت السماكة من (5.10، 5.15، 4.70 و4.60 مم)

و(4.25، 4.20، 4.20 و4.30 مم) في الخبز المحضر من دقيق الزيرو إلى (9.10، 9.00، 8.50 و8.10 مم) و(5.30، 5.20، 5.10 و5.30 مم) في الخبز المحضر من دقيق القمح الكامل للقمح القاسي والطري على التوالي، بينما ازداد وزن رغيف الخبز لدقيق القمح القاسي من (95.70، 95.50، 92.10 و92.30 غ) إلى (99.35، 99.40، 96.20 و96.30 غ) ولدقيق القمح الطري من (81.10، 80.90، 80.20 و80.50 غ) إلى (86.10، 86.20، 85.80 و85.90 غ) للدقيق الزيرو ودقيق القمح الكامل على التوالي.

أثبتت العديد من الأبحاث المتعلقة بدراسة تأثير نسبة استخراج الدقيق في جودة الخبز الناتج أن أحد الخصائص الفيزيائية التي تعتمد على معدل الاستخراج هو درجة تحبب الدقيق (Flour granulation)، حيث تؤثر هذه الخاصية في الخصائص الريولوجية للعجين، مثل امتصاص الماء، وبالتالي في جودة الخبز الناتج، فعند رفع معدل استخراج الدقيق تزداد نسبة الجزيئات الخشنة في الدقيق، والتي بدورها يمكن أن تؤثر في شبكة الغلوتين في العجين، تهلم النشاء، حجم وبنية الخبز، العمر الافتراضي للخبز والجودة العامة للخبز، وبالتالي إن الدقيق بمعدلات استخراج مختلفة له جودة مختلفة (Azizi *et al.*, 2006; Sakhare *et al.*, 2013)، وهذا ما يفسر الاختلافات في الصفات التصنيعية لعينات الخبز المدروسة، أما الاختلافات في خصائص الخبز المحضر من أنواع الدقيق الناتج عن طحن صنف القمح القاسي مقارنةً مع خصائص الخبز المحضر من أنواع الدقيق الناتج عن طحن صنف القمح الطري فهي تعود إلى الاختلافات في الخصائص الكمية والنوعية للغلوتين (Dhaka and Khatkar, 2015).

الجدول (31) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.

منطقة الدراسة	الخصائص التصنيعية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	القطر (سم)	20.45 ± 0.44^{a}	18.65 ± 0.33^{b}	15.50 ± 0.66^{c}
	السماكة (مم)	5.10 ± 0.16^{a}	7.25 ± 0.22^{b}	9.10 ± 0.15^{c}
	الوزن (غ)	95.70 ± 1.10^{a}	97.75 ± 2.44^{b}	99.35 ± 2.15^{c}
منطقة حمص	القطر (سم)	20.40 ± 0.25^{a}	18.50 ± 0.21^{b}	15.30 ± 0.43^{c}
	السماكة (مم)	5.15 ± 0.05^{a}	7.20 ± 0.10^{b}	9.00 ± 0.02^{c}
	الوزن (غ)	95.50 ± 0.88^{a}	97.70 ± 1.15^{b}	99.40 ± 1.01^{c}

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

الجدول (32) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.

منطقة الدراسة	الخصائص التصنيعية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	القطر (سم)	19.85 ± 0.51^{a}	16.90 ± 0.12^{b}	14.30 ± 0.62^{c}
	السماكة (مم)	4.70 ± 0.10^{a}	6.60 ± 0.02^{b}	8.50 ± 0.05^{c}
	الوزن (غ)	92.10 ± 0.75^{a}	94.30 ± 0.92^{b}	96.20 ± 1.10^{c}
منطقة حمص	القطر (سم)	19.70 ± 0.32^{a}	16.80 ± 0.20^{b}	14.20 ± 0.55^{c}
	السماكة (مم)	4.60 ± 0.05^{a}	6.40 ± 0.01^{b}	8.10 ± 0.02^{c}
	الوزن (غ)	92.30 ± 1.25^{a}	94.10 ± 0.88^{b}	96.30 ± 0.45^{c}

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

الجدول (33) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.

منطقة الدراسة	الخصائص التصنيعية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	القطر (سم)	15.20 ± 0.15^{a}	14.25 ± 0.21^{b}	12.15 ± 0.32^{c}
	السماكة (مم)	4.25 ± 0.01^{a}	4.50 ± 0.04^{a}	5.30 ± 0.05^{b}
	الوزن (غ)	81.10 ± 2.22^{a}	83.20 ± 3.24^{b}	86.10 ± 1.22^{c}
منطقة حمص	القطر (سم)	15.50 ± 0.21^{a}	14.20 ± 0.11^{b}	12.25 ± 0.10^{c}
	السماكة (مم)	4.20 ± 0.02^{a}	4.40 ± 0.05^{a}	5.20 ± 0.01^{b}
	الوزن (غ)	80.90 ± 0.68^{a}	83.10 ± 1.10^{b}	86.20 ± 0.88^{c}

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

الجدول (34) الخصائص التصنيعية للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.

منطقة الدراسة	الخصائص التصنيعية	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	القطر (سم)	16.10 ± 0.22^{a}	14.95 ± 0.15^{b}	12.85 ± 0.11^{c}
	السماكة (مم)	4.20 ± 0.05^{a}	4.30 ± 0.01^{a}	5.10 ± 0.02^{b}
	الوزن (غ)	80.20 ± 1.15^{a}	82.90 ± 1.31^{b}	85.80 ± 0.91^{c}
منطقة حمص	القطر (سم)	16.35 ± 0.10^{a}	14.80 ± 0.12^{b}	12.60 ± 0.15^{c}
	السماكة (مم)	4.30 ± 0.01^{a}	4.25 ± 0.02^{a}	5.30 ± 0.06^{b}
	الوزن (غ)	80.50 ± 2.05^{a}	83.10 ± 1.22^{b}	85.90 ± 1.52^{c}

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

3-13- تقدير محتوى العناصر المعدنية الصغرى في عينات الخبز المحضر من أنواع الدقيق المدروسة:

يبين الجدول (35 و36) والجدول (37 و38) متوسطات تركيز العناصر المعدنية الصغرى (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت) في عينات الخبز منفصل الشطرين والمحضر من أنواع الدقيق الناتجة عن طحن حبوب صنفي القمح القاسي وحبوب صنفي القمح الطري المحلي على التوالي.

إن محتوى العناصر المعدنية المطلوبة بكميات صغيرة من قبل جسم الإنسان، ولكنها مع ذلك ضرورية ومصممة كعناصر دقيقة (Microelements)، كانت بالترتيب التالي (الحديد > الزنك ≈ المنغنيز > النحاس > الكوبالت) لجميع عينات الخبز، حيث تباين تركيز المعادن بشكل كبير بين عينات الخبز المحضرة من أجزاء الطحن المختلفة لنوعي القمح المدروسين، وكانت عينات الخبز من دقيق القمح الكامل الأعلى بشكل عام في محتوى العناصر المعدنية الصغرى.

لوحظ أن الحديد كان العنصر الدقيق الرئيسي في الخبز، بقيم تتراوح بين (15.75-26.98 مغ/كغ) للخبز المحضر من أنواع دقيق القمح القاسي وبين (19.23-28.69 مغ/كغ) للخبز المحضر من أنواع دقيق القمح الطري، وكانت النتائج التي تم الحصول عليها متوافقة مع تلك التي أبلغ عنها باحثون آخرون في القمح القاسي (Cubadda *et al.*, 2009) والقمح الطري (Vignola *et al.*, 2016). من جهة أخرى، كان تركيز العناصر الدقيقة الأخرى التي تم تحليلها في هذه الدراسة بين (4.35-16.22 مغ/كغ و4.42-16.92 مغ/كغ) للزنك، (3.92-24.41 مغ/كغ و4.08-22.52 مغ/كغ) للمنغنيز، (2.12-6.10 مغ/كغ و2.05-5.65 مغ/كغ) للنحاس و(1.22-7.01 نانوغرام/غ و1.42-6.79 نانوغرام/غ) للكوبالت لعينات خبز دقيق القمح القاسي والطري على التوالي. بالمقارنة مع أبحاث سابقة، لوحظ أن Anjum وآخرون (2002) قد ذكروا قيماً مماثلةً تقريباً للنحاس (2.9-5.3 مغ/كغ) وأقل للمنغنيز (6.8-9.7 مغ/كغ)، بينما Shi وآخرون (2010) وRoye وآخرون (2020) قد حصلوا على قيم أقل من النحاس

والزنك وقيم أعلى من المنغنيز، وكانت القيم المحسوبة للزنك أعلى من تلك التي أبلغ عنها Wang وآخرون (2020) الذي أشار إلى أن متوسط محتوى الزنك قد تراوح من (0.24–1.6 مغ/كغ)، وتعود هذه الاختلافات بين الدراسات السابقة إلى تأثير التركيب الوراثي والظروف البيئية في التركيب المعدني للقمح (Ciudad–Mulero *et al.*, 2021).

الجدول (35) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي دوما3.

منطقة الدراسة	العناصر المعدنية الصغرى	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	4.35 ± 0.15^{a}	9.44 ± 0.24^{b}	15.78 ± 0.33^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	16.36 ± 0.45^{a}	20.55 ± 0.65^{b}	26.98 ± 0.11^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.45 ± 0.14^{a}	12.52 ± 0.51^{b}	23.10 ± 0.34^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.12 ± 0.10^{a}	4.62 ± 0.01^{b}	5.88 ± 0.11^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.35 ± 0.02^{a}	3.82 ± 0.05^{b}	6.40 ± 0.10^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	5.22 ± 0.06^{a}	9.98 ± 0.11^{b}	16.10 ± 0.10^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	15.75 ± 0.34^{a}	20.12 ± 0.31^{b}	26.77 ± 0.42^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.35 ± 0.12^{a}	12.66 ± 0.22^{b}	23.41 ± 0.15^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.46 ± 0.02^{a}	4.55 ± 0.08^{b}	5.79 ± 0.10^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.22 ± 0.01^{a}	3.77 ± 0.04^{b}	6.38 ± 0.01^{c}

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

الجدول (36) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح القاسي شام9.

منطقة الدراسة	العناصر المعدنية الصغرى	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	4.51 ± 0.02^{a}	8.91 ± 0.21^{b}	16.12 ± 0.10^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	17.11 ± 0.52^{a}	19.84 ± 0.15^{b}	26.31 ± 0.24^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.24 ± 0.05^{a}	12.67 ± 0.28^{b}	24.41 ± 0.35^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.33 ± 0.03^{a}	4.74 ± 0.02^{b}	5.81 ± 0.05^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.43 ± 0.05^{a}	3.77 ± 0.01^{b}	6.89 ± 0.04^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	4.85 ± 0.01^{a}	9.11 ± 0.11^{b}	16.22 ± 0.21^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	16.66 ± 0.34^{a}	18.71 ± 0.15^{b}	26.84 ± 0.31^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	3.92 ± 0.05^{a}	15.44 ± 0.32^{b}	24.05 ± 0.21^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.71 ± 0.01^{a}	4.48 ± 0.05^{b}	6.10 ± 0.02^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.81 ± 0.02^{a}	3.86 ± 0.06^{b}	7.01 ± 0.10^{c}

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

الجدول (37) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري بحوث10.

منطقة الدراسة	العناصر المعدنية الصغرى	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	4.52 ± 0.05^{a}	10.15 ± 0.11^{b}	16.33 ± 0.41^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	19.45 ± 0.20^{a}	21.36 ± 0.12^{b}	28.55 ± 0.10^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.15 ± 0.15^{a}	12.25 ± 0.10^{b}	22.40 ± 0.42^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.05 ± 0.32^{a}	3.91 ± 0.05^{b}	5.22 ± 0.45^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.42 ± 0.10^{a}	4.02 ± 0.06^{b}	6.33 ± 0.01^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	4.88 ± 0.10^{a}	10.68 ± 0.12^{b}	16.92 ± 0.21^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	19.31 ± 0.11^{a}	21.44 ± 0.10^{b}	27.24 ± 0.15^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.10 ± 0.04^{a}	12.35 ± 0.25^{b}	22.52 ± 0.32^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.12 ± 0.05^{a}	3.88 ± 0.01^{b}	5.31 ± 0.02^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.55 ± 0.06^{a}	4.15 ± 0.05^{b}	6.45 ± 0.02^{c}

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

الجدول (38) محتوى العناصر المعدنية الصغرى للخبز المحضر من أنواع دقيق صنف القمح الطري دوما6.

منطقة الدراسة	العناصر المعدنية الصغرى	خبز دقيق الزيرو	خبز الدقيق الموحد	خبز دقيق القمح الكامل
منطقة قرحتا	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	4.42 ± 0.03^{a}	9.88 ± 0.10^{b}	16.51 ± 0.22^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	19.23 ± 0.16^{a}	21.78 ± 0.31^{b}	28.69 ± 0.12^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.10 ± 0.01^{a}	12.33 ± 0.11^{b}	22.52 ± 0.21^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.62 ± 0.05^{a}	4.02 ± 0.01^{b}	5.65 ± 0.03^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.58 ± 0.02^{a}	4.25 ± 0.01^{b}	6.79 ± 0.05^{c}
منطقة حمص	الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	4.76 ± 0.02^{a}	9.85 ± 0.18^{b}	16.74 ± 0.11^{c}
	الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	19.31 ± 0.22^{a}	21.65 ± 0.15^{b}	27.59 ± 0.41^{c}
	المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	4.08 ± 0.02^{a}	12.55 ± 0.21^{b}	22.42 ± 0.12^{c}
	النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	2.35 ± 0.01^{a}	3.91 ± 0.04^{b}	5.52 ± 0.05^{c}
	الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	1.68 ± 0.03^{a}	4.33 ± 0.01^{b}	6.71 ± 0.04^{c}

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

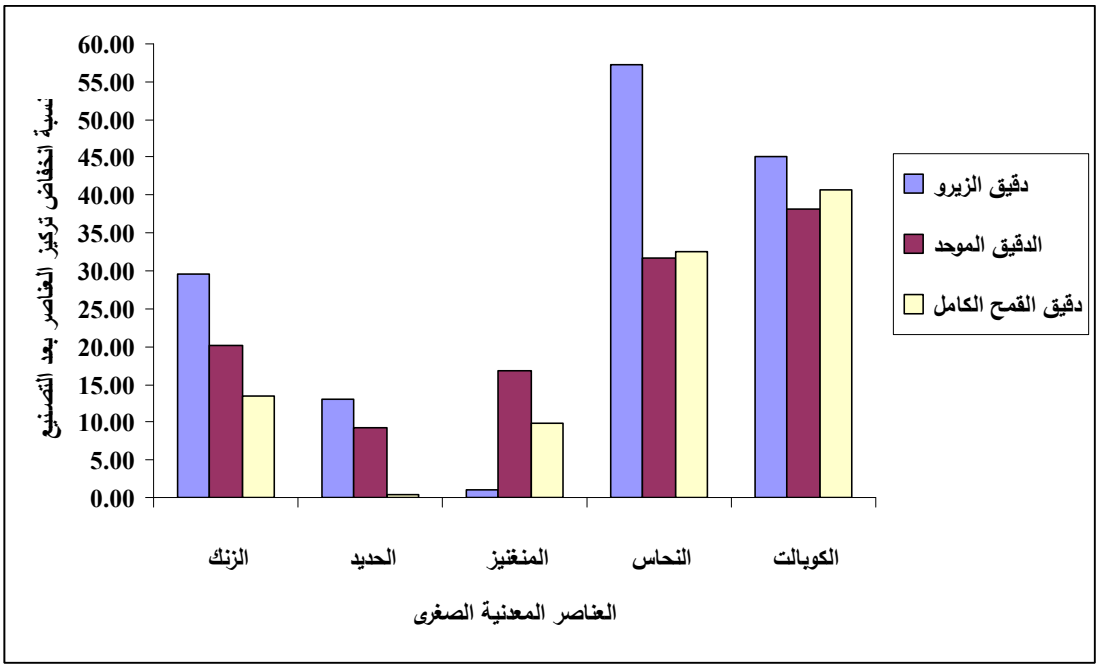
3-14- تأثير عملية التصنيع في تركيز العناصر المعدنية الصغرى:

تمَّ في هذا البحث التحري عن تأثير العملية التصنيعية في تراكيز العناصر المعدنية الصغرى لعينات الخبز المحضرة من أنواع الدقيق الناتجة عن طحن نوعي القمح المحلي (القاسي والطري) المدروسين، حيث تمَّ حساب النسبة المئوية للفرق في متوسطات تركيز العناصر بين الدقيق والخبز، وعرضت النتائج في الشكلين (6 و7)، ويهدف هذا الاختبار إلى تحديد مقدار النقص في العناصر المعدنية الصغرى بعد عملية تحويل الدقيق إلى خبز، وبالتالي إعطاء فكرة إلى برامج تدعيم الدقيق بالكميات الواجب إضافتها من العناصر المعدنية الصغرى لكل نوع دقيق لتغطية الاحتياجات اليومية للأفراد من هذه العناصر (Kamal-Eldin, 2008).

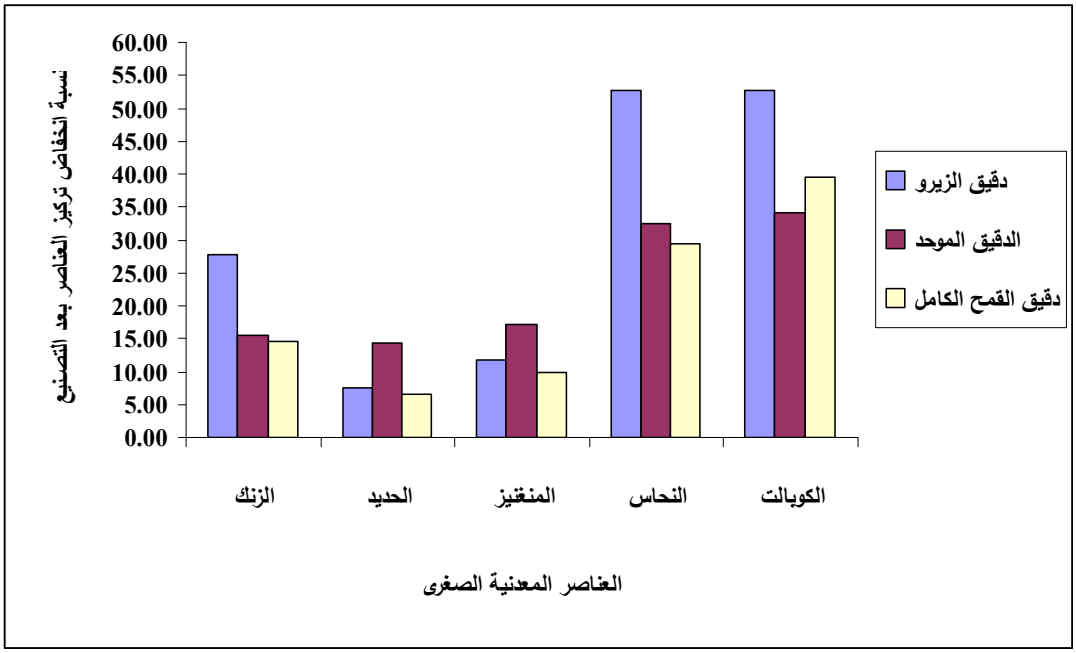
إن أهم ما يميز النتائج المتعلقة بنسبة الفقد في العناصر المعدنية الصغرى المدروسة هو التباين العالي المعنوية في نسبة الفقد بين أنواع الدقيق ونوعي القمح، فقد وصلت نسبة الفقد في النحاس لعينات الخبز المحضر من دقيق زيرو القمح القاسي إلى (57.17%) مقارنةً بـ (52.69%) لعينات الخبز المحضر من دقيق زيرو القمح الطري، بينما كانت نسبة فقد النحاس في الخبز المحضر من الدقيق الموحد (31.78% و32.57%) وفي الخبز المحضر من دقيق القمح الكامل (32.41% و29.46%) للقمح القاسي والطري على التوالي. على النقيض من ذلك، أظهر الحديد أقل نسبة فقد مقارنةً ببقية العناصر، حيث تراوحت نسبة الفقد في الحديد في الخبز المحضر من أنواع الدقيق القاسي بين (0.52–13.01%) وفي الخبز المحضر من أنواع الدقيق الطري بين (6.64–14.38%). بالنسبة لعنصر الزنك، وصلت نسبة الفقد إلى (29.68% و27.84%) في خبز دقيق الزيرو، وانخفضت إلى (20.14% و15.56%) في خبز الدقيق الموحد، وإلى (13.39% و14.55%) في خبز القمح الكامل للقاسي والطري على التوالي، بينما أظهر عنصر المنغنيز اختلافات كبيرة بين عينات الخبز المحضرة من أنواع دقيق نوعي القمح، حيث كانت الفقد أعلى في أنواع دقيق القمح الطري (9.97–17.24%) مقارنةً مع (1.09–16.83%) في أنواع دقيق القمح القاسي. وأخيراً، أدت عملية تحويل الدقيق إلى خبز إلى فقد أكثر من (30%) من عنصر الكوبالت، ووصلت نسبة الفقد إلى (52.67%) في عينات خبز دقيق زيرو القمح الطري.

تبعاً للدراسات المرجعية السابقة، تمَّ تفسير تنوع النتائج من خلال عوامل خارجية (Extrinsic) وعوامل داخلية (Intrinsic)، حيث تعتمد كمية المعادن الموجودة في خبز القمح بطريقة ما على النسبة المئوية للاستخراج في إنتاج الخبز الأبيض (أو الدقيق المكرر)، ويحدث تسمية الخبز الأبيض عندما يصل الاستخراج إلى 75% أو أقل، ويؤدي انخفاض نسبة الاستخراج إلى انخفاض مستويات المعادن في الخبز (Dewettinck *et al.*, 2008)، بالإضافة إلى ذلك، إن تكوين التربة واستخدام الأسمدة والموقع الجغرافي للأصناف قد يؤثر في المحتوى المعدني في الحبوب (Ekholm *et al.*, 2007)، وتبعاً لذلك، في بعض البلدان، فإن

إضافة العناصر الغذائية، مثل الحديد، أصبح مطلوب بموجب القانون لاستعادة المحتوى المفقود في عملية الطحن والتصنيع (O'Connor, 2012)، وسبب آخر للتدعيم هو حقيقة أن الخبز المحضر من الحبوب، وخاصةً القمح، يحتوي على نسبة منخفضة من المعادن (Vieira *et al.*, 2012).



الشكل (6) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى في عينات الخبز المحضرة من أنواع دقيق القمح القاسي.



الشكل (7) نسبة انخفاض تركيز العناصر المعدنية الصغرى في عينات الخبز المحضرة من أنواع دقيق القمح الطري.

3-15- تأثير العوامل البيئية (الموقع وموسم الزراعة) في محتوى حبوب القمح من العناصر المعدنية الصغرى:

أجري أولاً تقدير لمحتوى أصناف حبوب القمح المدروسة من العناصر المعدنية الصغرى (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت)، لأصناف القمح القاسي والقمح الطري والمزروعة في منطقتين مختلفتين خلال موسم الزراعة 2020/2019، وسُجلت النتائج في الجدول (39 و40) على التوالي.

أبدت نتائج التحليل قيماً متقاربة إلى حدٍ ما مع نتائج موسم الزراعة 2019/2018، فقد أعطت أصناف القمح الطري مستويات أعلى معنوياً لكلٍ من الزنك والحديد، بينما أبدى القمح القاسي نسب أعلى من المنغنيز والنحاس، أما الكوبالت فلم يختلف معنوياً بين نوعي القمح، وقد تراوح تركيز الزنك بين (17.67-19.50

مغ.كغ$^{-1}$ و20.33–20.82 مغ.كغ$^{-1}$)، الحديد (26.76–28.54 مغ.كغ$^{-1}$ و28.32–28.84 مغ.كغ$^{-1}$)، المنغنيز (26.17–27.30 مغ.كغ$^{-1}$ و24.12–24.88 مغ.كغ$^{-1}$)، النحاس (8.15–8.68 مغ.كغ$^{-1}$ و7.05–7.64 مغ.كغ$^{-1}$) والكوبالت (10.18–10.88 نانوغرام.غ$^{-1}$ و9.61–9.75 نانوغرام.غ$^{-1}$) لأصناف القمح القاسي وأصناف القمح الطري على التوالي. تتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه (Zeidan *et al.*, 2010; Gomaa *et al.*, 2015; Rawashdeh and Sala, 2015) الذين بينوا اختلاف محتوى العناصر المعدنية بين مواسم النمو تبعاً للتطبيق الورقي للمغذيات الدقيقة.

الجدول (39) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح القاسي المدروسة للموسم 2019–2020.

	منطقة قرحتا		منطقة حمص	
	دوما3	شام9	دوما3	شام9
الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	18.25 ± 0.12^{a}	17.67 ± 0.34^{b}	19.50 ± 0.61^{c}	19.10 ± 0.11^{d}
الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	26.98 ± 0.44^{a}	28.54 ± 0.33^{b}	26.76 ± 0.46^{c}	28.51 ± 0.15^{b}
المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	26.17 ± 0.21^{a}	26.56 ± 0.65^{b}	27.30 ± 0.11^{c}	26.72 ± 0.10^{d}
النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	8.68 ± 0.11^{a}	8.62 ± 0.08^{a}	8.40 ± 0.01^{b}	8.15 ± 0.03^{c}
الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	10.55 ± 0.06^{a}	10.32 ± 0.02^{b}	10.88 ± 0.12^{c}	10.18 ± 0.05^{d}

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

الجدول (40) محتوى العناصر المعدنية الصغرى لأصناف القمح الطري المدروسة للموسم 2019-2020.

	منطقة قرحتا		منطقة حمص	
	بحوث10	دوما6	بحوث10	دوما6
الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	20.60 ± 0.41^{a}	20.33 ± 0.15^{b}	20.82 ± 0.22^{c}	20.28 ± 0.12^{b}
الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	28.65 ± 0.31^{a}	28.61 ± 0.21^{b}	28.32 ± 0.76^{c}	28.84 ± 0.10^{d}
المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	24.15 ± 0.23^{a}	24.88 ± 0.45^{b}	24.12 ± 0.32^{a}	24.55 ± 0.18^{c}
النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	7.64 ± 0.02^{a}	7.22 ± 0.11^{b}	6.85 ± 0.05^{c}	7.05 ± 0.01^{d}
الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	9.74 ± 0.10^{a}	9.61 ± 0.01^{b}	9.75 ± 0.03^{a}	9.67 ± 0.10^{b}

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

تمَّ بعد ذلك قياس توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة (المكررات، نوع القمح، صنف القمح، موقع الزراعة وموسم الزراعة) في محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى (الجدول 41).

يبين الجدول (41) أن العوامل الوراثية (نوع وصنف القمح) قد كانت مسؤولة عن أكثر من 70% من التباين في تركيز العناصر المعدنية الصغرى، حيث بلغ تأثير نوع القمح (41.22%، 55.43%، 62.38%، 61.94% و10.25%) وبلغ تأثير صنف القمح (32.40%، 22.68%، 8.55%، 9.10% و60.45%) للزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت على التوالي. أما العوامل البيئية (موقع الزراعة وموسم الزراعة) فقد كانت مسؤولة عن أقل من 30% من التباين الكلي، وهذا يتوافق مع دراسة Ghandilyan وآخرون (2009) بأن محتوى الحبوب من العناصر المعدنية يخضع لتأثير العوامل الوراثية.

الجدول (41) توزع التباين لتأثير المتغيرات المدروسة في محتوى الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى.

	القطاعات		نوع القمح		صنف القمح		موقع الزراعة		موسم الزراعة	
	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*	التباين (%)	*P*
الزنك	0.12	0.84	41.22	0.00	32.40	0.02	12.35	0.01	13.41	0.02
الحديد	0.09	0.91	55.43	0.01	22.68	0.00	14.88	0.00	5.82	0.00
المنغنيز	0.24	0.73	62.38	0.00	8.55	0.00	10.21	0.12	17.72	0.02
النحاس	0.05	0.55	61.94	0.01	9.10	0.52	10.96	0.01	17.15	0.01
الكوبالت	0.18	0.42	10.25	0.34	60.45	0.01	12.57	0.56	15.35	0.00

3-16- تحديد درجة ومستوى تجانس تركيب الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى:

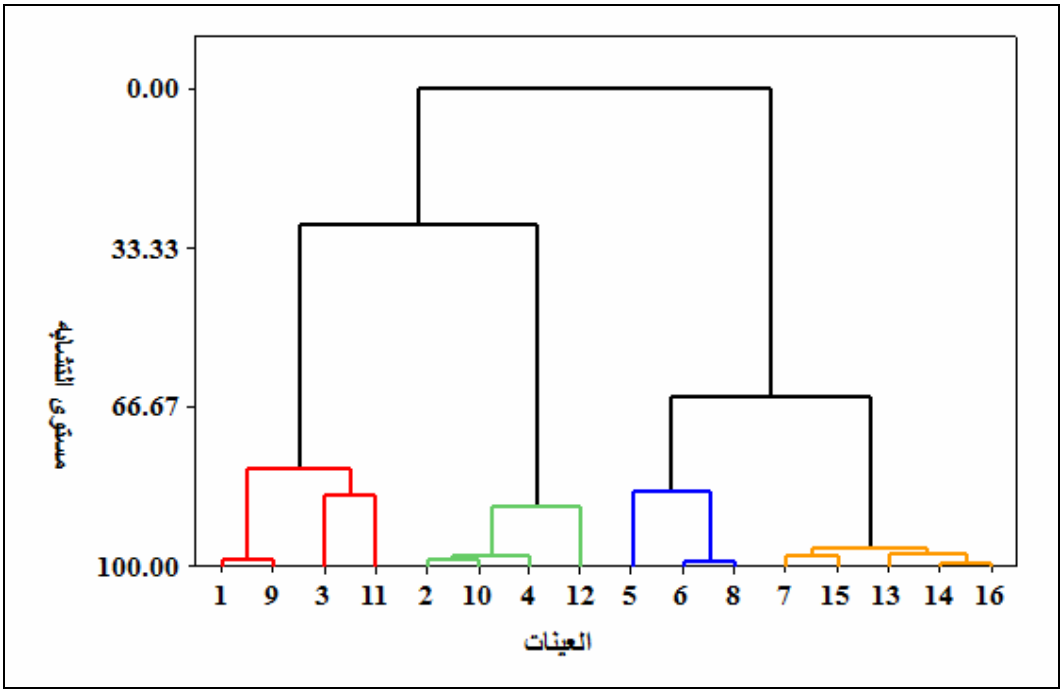
بغرض تحديد تجانس تركيب الحبوب من العناصر المعدنية الصغرى، أُجري اختبار التحليل العنقودي (Cluster Analysis) نوع (Cluster Observations) على العينات المختبرة (16 عينة)، حسب الطريقة المتبعة في (Kara, 2009; Zhao *et al.*, 2023)، كما هو مبين في الجدول (42).

الجدول (42) عينات الحبوب المدروسة.

رقم العينة	الصنف	النوع	الموقع	الموسم
1	دوما3	قاسي	قرحتا	2019/2018
2	شام9	قاسي	قرحتا	2019/2018
3	دوما3	قاسي	حمص	2019/2018
4	شام9	قاسي	حمص	2019/2018
5	بحوث10	طري	قرحتا	2019/2018
6	دوما6	طري	قرحتا	2019/2018
7	بحوث10	طري	حمص	2019/2018
8	دوما6	طري	حمص	2019/2018
9	دوما3	قاسي	قرحتا	2020/2019
10	شام9	قاسي	قرحتا	2020/2019
11	دوما3	قاسي	حمص	2020/2019
12	شام9	قاسي	حمص	2020/2019
13	بحوث10	طري	قرحتا	2020/2019
14	دوما6	طري	قرحتا	2020/2019
15	بحوث10	طري	حمص	2020/2019
16	دوما6	طري	حمص	2020/2019

يبين الشكل (8) مخطط الديندوغرام للعناصر المعدنية الصغرى المختبرة في عينات حبوب القمح المدروسة، حيث أكدت نتائج هذا التحليل نتائجنا السابقة بالأهمية الأساسية للعوامل الوراثية في تراكم العناصر المعدنية الصغرى في حبوب القمح، وأن العوامل البيئية المتعلقة بموقع الزراعة أو موسم الزراعة لا تمتلك تأثيراً معنوياً في قيم العناصر المعدنية الصغرى في حبوب القمح، وهذا ما أكدته دراسات سابقة (Ghandilyan *et al.*, 2009)، وعلى الرغم من تأكيد هذه الدراسات على أهمية العوامل الوراثية في تراكم المعادن في حبوب القمح، أثبتت بعض الدراسات أنه يمكن استخدام الظروف البيئية المناسبة مع اختيار أصناف القمح

التي تحتوي على نسبة عالية من المعادن لتعزيز التوافر الحيوي العالي للمعادن في الحبوب (Lopez *et al.*, 2003; Zhao *et al.*, 2009; Hussain *et al.*, 2010).



الشكل (8) التحليل العنقودي للعناصر المعدنية الصغرى في عينات حبوب القمح المختبرة.

تبعاً لذلك، وبناءً على نتائج هذا البحث، يمكن وضع قيم تقريبية ممثلة (Representative values) لأنواع القمح السوري القاسي والطري لمحتواها من العناصر المعدنية الصغرى (الجدول 43) حسب الطريقة المتبعة في (Araujo *et al.*, 2008).

الجدول (43) القيم الممثلة لمحتوى أنواع القمح السوري من العناصر المعدنية الصغرى.

العناصر المعدنية	القمح القاسي			القمح الطري		
	المتوسط	الوسيط	الانحراف المعياري	المتوسط	الوسيط	الانحراف المعياري
الزنك (مغ.كغ$^{-1}$)	18.58	18.28	0.95	20.19	20.31	0.66
الحديد (مغ.كغ$^{-1}$)	27.80	27.88	1.20	29.28	28.79	0.93
المنغنيز (مغ.كغ$^{-1}$)	26.40	26.53	0.57	24.36	24.52	0.54
النحاس (مغ.كغ$^{-1}$)	8.56	8.62	0.19	7.32	7.32	0.32
الكوبالت (نانوغرام.غ$^{-1}$)	10.59	10.50	0.36	10.11	9.98	0.48

الفصل الرابع

الاستنتاجات والتوصيات

Conclusions

and

Recommendations

4- الاستنتاجات CONCLUSIONS:

1. أظهر تحليل التباين للخصائص الفيزيوكيميائية لحبوب القمح المدروسة وجود اختلافات معنوية بين أنواع وأصناف القمح وبين مواقع الزراعة لجميع الصفات المدروسة.
2. ارتفعت قيم الوزن النوعي، ووزن الألف حبة، ودرجة البلورية، والنسبة المئوية للرماد، والنسبة المئوية للبروتينات لأصناف حبوب القمح القاسي مقارنةً مع أصناف حبوب القمح الطري، وتدل جميع القيم على سلامة الحبوب.
3. تميزت أصناف القمح المدروسة بانخفاض محتواها الرطوبي إلى أقل من 9%، وتُعد هذه من الصفات المهمة والتي تميز الأقماح السورية، وذلك لارتباط المحتوى الرطوبي للحبوب بكفاءة عملية التخزين وأداء عملية الطحن.
4. خضع كلٌ من الوزن النوعي للحبوب، ووزن الألف حبة، والنسبة المئوية للرماد والنسبة المئوية للبروتينات لسيطرة العوامل الوراثية متمثلةً بنوع القمح، بينما تأثرت درجة البلورية بالعوامل البيئية، وكما لم يظهر التفاعل المتبادل للعوامل الوراثية والعوامل البيئية (موقع الزراعة × نوع القمح) تأثيراً كبيراً في المؤشرات المدروسة.
5. تميزت أصناف القمح الطري بمستوياتٍ أعلى معنوياً لكلٍ من الزنك والحديد، بينما أبدى القمح القاسي نسب أعلى من المنغنيز والنحاس، أما الكوبالت فلم يختلف معنوياً بين نوعي القمح، وقد كانت تراكيز العناصر المعدنية الصغرى في هذه الدراسة قريبة من نتائج دراسات سابقة.
6. أظهر تركيز العناصر المعدنية الصغرى المدروسة تباينات وراثية مهمة للغاية، فقد أبدت العوامل الوراثية، متمثلةً بنوع وصنف القمح، التأثير الكبير في تباين تركيز هذه العناصر، حيث كانت العوامل الوراثية مسؤولة عن (88.68-96.54%) من إجمالي التباين الكلي. على النقيض من ذلك، أظهرت العوامل البيئية، متمثلةً بموقع الزراعة، والتفاعل المتبادل للعوامل البيئية والوراثية تأثيراً غير معنوياً في

محتوى أصناف حبوب القمح المدروسة من العناصر المعدنية الصغرى، حيث فقط (2.33–5.90%) من التباين الكلي كان عائداً لتأثير العوامل البيئية.

7. أظهر تحليل الخصائص الفيزيوكيميائية للدقيق وجود فروقات معنوية ($P \leq 0.05$) بين أنواع الدقيق (دقيق الزيرو، الدقيق الموحد ودقيق القمح كامل) لكل نوع قمح، بالإضافة إلى وجود فروقات معنوية بين أنواع القمح (قاسي وطري).
8. أدى رفع نسبة استخراج الدقيق إلى زيادة معنوية في درجة لون الدقيق، النسبة المئوية للرماد وخصائص البروتينات الكمية (النسبة المئوية للبروتينات الكلية، النسبة المئوية للغلوتين الرطب والنسبة المئوية للغلوتين الجاف)، على النقيض من ذلك، انخفضت قيم دليل الغلوتين، كمؤشر على نوعية البروتينات وبالتالي قوة الدقيق.
9. بيَّن قياس الخصائص الريولوجية لأنواع الدقيق المدروسة باستخدام جهاز الفارينوغراف وجود فروقات معنوية بين كلاً من أنواع الدقيق وأنواع القمح، وقد ازدادت امتصاصية الدقيق للماء، زمن تطور العجينة ودرجة ضعف العجينة، وانخفض زمن ثباتية العجينة والرقم الفالوريمتري مع رفع نسبة استخراج الدقيق.
10. لوحظ من النتائج التأثير عالي المعنوية لمعدل استخراج الدقيق في جميع مؤشرات الاكستينسوغراف المُقاسة، فقد انخفضت القدرة، مقاومة الشد، المقاومة العظمى للشد ومطاطية العجينة وازدادت مرونة العجينة مع رفع نسبة استخراج الدقيق، وبذلك نستنتج بأنَّ رفع نسبة استخراج الدقيق تترافق مع انخفاض في قوة الدقيق.
11. على الرغم من أنَّ عملية الطحن تُحسِّن من الخصائص الحسية، الفيزيوكيميائية والريولوجية للدقيق، لكن القيمة الغذائية تنخفض، حيث أظهرت هذه الدراسة أن انخفاض معدل استخراج الدقيق يقلل

معنوياً من محتوى العناصر المعدنية الصغرى (الزنك، الحديد، المنغنيز، النحاس والكوبالت) في الدقيق الناتج، وتتغير قيمة الانخفاض تبعاً لنسبة استخراج الدقيق ونوع المعدن.

12. أنَّ عملية الطحن، وكما هو متوقع، قد خفضت من تراكيز 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.

13. أظهرت العناصر المعدنية الصغرى المدروسة، عدا الزنك، تأثيرات عالية المعنوية في خصائص غلوتين الدقيق الكمية والنوعية، فقد أبدى كل من الحديد، المنغنيز والكوبالت علاقات ارتباط سلبية معنوية مع قوة الدقيق، بينما أبدى عنصر النحاس علاقة إيجابية معنوية مع قوة الدقيق، وبالتالي كشفت هذه الدراسة عن دور العناصر المعدنية الصغرى في خصائص الدقيق ومنه في جودة الخبز الناتج.

14. بيَّن تحليل الخصائص الكيميائية لعينات الخبز المصنعة من أنواع الدقيق الثلاثة لنوعي القمح المحلي (القاسي والطري) وجود اختلافات معنوية في جميع المؤشرات المدروسة، فقد ترافق رفع نسبة استخراج الدقيق مع ارتفاع معنوي في النسبة المئوية للرماد، النسبة المئوية للبروتينات، النسبة المئوية للبيدات والنسبة المئوية للألياف الخام، وانخفاض معنوي في النسبة المئوية للرطوبة والنسبة المئوية للنشاء.

15. تميزت عينات الخبز المصنعة من أنواع الدقيق الناتجة عن طحن صنف القمح القاسي بخصائص كيميائية أعلى من ناحية، الرطوبة، الرماد، البروتينات، اللبيدات والألياف، وأقل للنشاء مقارنةً مع عينات الخبز المصنعة من أنواع الدقيق الناتجة عن طحن صنف القمح الطري.

16. بينت نتائج تحليل التباين انخفاض قطر رغيف الخبز وزيادة سماكة الرغيف ووزن الرغيف مع ارتفاع نسبة استخراج الدقيق.

17. كان محتوى العناصر المعدنية الصغرى بالترتيب التالي (الحديد > الزنك ≈ المنغنيز > النحاس > الكوبالت) لجميع عينات الخبز.

18. تباين تركيز المعادن بشكل كبير بين عينات الخبز المحضرة من أجزاء الطحن المختلفة لنوعي القمح المدروسين، وكانت عينات الخبز من دقيق القمح الكامل الأعلى بشكل عام في محتوى العناصر المعدنية الصغرى، ولوحظ أن الحديد كان العنصر الدقيق الرئيسي في الخبز.

19. أدت عملية التصنيع (تحويل الدقيق إلى خبز عربي منفصل الشطرين) إلى تباين عالي المعنوية في نسبة الفقد بالعناصر المعدنية الصغرى بين أنواع الدقيق ونوعي القمح، ووصلت نسبة الفقد إلى (57.17%) للنحاس، (52.67%) للكوبالت، (29.68%) للزنك، (17.24%) للمنغنيز و(14.38%) للحديد.

20. أبدت نتائج تقدير كمية العناصر المعدنية الصغرى لحبوب اصناف القمح المدروسة والمزروعة في موسم الزراعة 2020/2019 قيماً متقاربة إلى حدٍ ما مع نتائج موسم الزراعة 2019/2018، كما كانت العوامل الوراثية (نوع وصنف القمح) مسؤولة عن أكثر من 70% من التباين في تركيز العناصر المعدنية الصغرى، أما العوامل البيئية (موقع الزراعة وموسم الزراعة) فقد كانت مسؤولة عن أقل من 30% من التباين الكلي.

21. وبالنسبة إلى البيانات التي تم تحليلها، كان اختبار التحليل العنقودي (HCA) فعالٍ في تصنيف عينات حبوب القمح المدروسة (16 عينة)، كما وفر معلومات مفيدة عن درجة تجانس وتركيب العينات، مما مكننا من وضع قيم تقريبية ممثلة (Representative values) لمحتوى أنواع القمح السوري القاسي والطري من العناصر المعدنية الصغرى.

5- المقترحات والتوصيات RECOMMENDATIONS:

1. التوسع في العمل لإضافة متغيرات جديدة إلى العوامل البيئية مثل الري والتسميد، ودراسة تأثيرها في محتوى الحبوب 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. متابعة الدراسة لتحديد نسبة العناصر المعدنية الصغرى في منتجات المخابز الأخرى.
4. تحديد أسباب الفقد في العناصر المعدنية الصغرى خلال عمليات التصنيع والعمل على الحد منها.

المراجع العلمية

References

6- المراجع العلمية REFERENCES:

6-1- المراجع العربية:

حبيبه، محمد فادي. (2015). تحديد الخصائص الفيزيوكيميائية المثلى للدقيق المؤثرة في امتصاصيته للماء ومردود العجين والخبز)، **رسالة ماجستير**، قسم علوم الأغذية، كلية الزارعة، جامعة دمشق.

سمينة، غياث، عودة كرم. (1994). تغذية الإنسان، **كتاب جامعي**، كلية الزارعة، منشوارت جامعة دمشق.

مصطفى مصطفى كمال. (1993). تكنولوجيا صناعات الحبوب ومنتجاتها، الطبعة الثالثة، **المكتبة الأكاديمية**، القاهرة، مصر، ص420.

6-2- المراجع الأجنبية:

AACC. (2000). Approved Methods of the AACC, 10th edn. **Methods 10-22, 55-10, 44-15A, 08-01, 46-10, 30-25, 32-45**. St Paul, MN. AACC.

Abd-el-Aal, E. -S. M., Hucl, P. and Sosulski F. W. (1995). Compositional and nutritional characteristics of spring einkorn and spelt wheats. **Cereal Chemistry**, 72, 621-624.

Abebe, Y., Bogale, A., Hambidge, K. M., Stoecker, B. J., Bailey, K. and Gibson, R. S. (2007). Phytate, zinc, iron and calcium content of selected raw and prepared foods consumed in rural Sidama, Southern Ethiopia, and implications for bioavailability. **J. Food Compos. Anal.**, 20, 161-168.

Adams, M. L., Lombi, E., Zhao, F. J. and McGrath, S. P. (2002). Evidence of low selenium concentrations in UK bread-making wheat grain. **J. Sci. Food Agric.**, 82, 1160-1165.

Ahmed, Z. A., Abduljabbar, I. A., Mousa, S. M., Abed, S. A. and Owaid, S. T. (2020). The effect of changing the milling extraction rate on the flour properties. **Technology Reports of Kansai University**, 62, 1121-1129.

Akgun, I., Karaman, R., Eraslan, F. and Kaya, M. (2016). Effect of Zinc on some grain quality parameters in bread and durum wheat cultivars. **Universal Journal of Agricultural Research**, 4, 260-265.

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.

Aleid, S. M., AL-Hulaibi, A. A., Ghoush, M. A. and Al-Shathri, A. A. (2014). Enhancing arabic bread quality and shelf life stability using bread improvers. **Journal of Food Science and Technology**, 52, 4761-4772.

Anjum, F. M., Butt, M. S., Ahmad, N. and Ahmad, I. (2002). Phytate and mineral content in different milling fractions of some Pakistani spring wheats. **Int. J. Food Sci. Technol.**, 37, 13-17.

AOAC. (2000). Official methods of analysis of AOAC International, 16th edition. Volume 1. **Arlington**, USA.

AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC International, 16th edition. Volume 1. **Arlington**, USA.

Araujo, R. G. O., Macedo, S. M., Korn, M. A., Pimentel, M. F., Bruns, R. E. and Ferreira, S. L. C. (2008). Mineral composition of wheat flour consumed in Brazilian cities. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 19, 935-942.

Ashish, B., Neeti, K. and Himanshu, K. (2013). Copper toxicity: A comprehensive study. **Research Journal of Recent Sciences**, 2, 58-67.

Atwell, W. A. (2001). Wheat flour, American Association of Cereal Chemists, Inc., **SI. Paul**, Minnesota, USA, 147p.

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.

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.

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.

Bass, E. J. (1988). Wheat flour milling. In: Pomeranz, Y. Wheat Chemistry and Technology. **St. Paul, AACC**, MN, USA. 1-68.

Bender, D. A. (2006). Benders dictionary of nutrition and food technology (8^{th} ed.). Abington: **Woodhead Publishing & CRC Press**.

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.

Bern, C. and Brumm, T. J. (2009). Grain Test Weight Deception. Iowa State University-University Extension. **PMR 1005**, October 2009.

Betschart, A. A. (1988). Nutritional quality of wheat products. In Wheat: Chemistry and Technology; **American Association of Cereal Chemists: St Paul**, MN, USA, pp. 91-129.

Bilgiçli, N. and İbanoğlu, Ş. (2015). Effect of pseudo cereal flours on some physical, chemical and sensory properties of bread. **J. Food Sci. Tech.**, 52, 7525-7529.

Bouis, H. E. (2000). Enrichment of food staples through plant breeding: A new strategy for fighting micronutrient malnutrition. **Nutrition**, 16, 701-704.

Bouis, H. E. (2003). Micronutrient fortification of plants through plant breeding: Can it improve nutrition in man at low cost? **Proc. Nutr. Soc.**, 62, 403-411.

Boyacioglu, M. H. and D'Appolonia, B. L. (1994). Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. I. Comparison of chemical, rheological, and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. **Cereal Chemistry**, 71, 21-28.

Brankovic, G., Dodig, D., Zorić, Z. M., Surlan-Momirovic, G., Dragicevic, V. and Djuric, N. (2014). Effects of climatic factors on grain vitreousness stability

and heritability in durum wheat. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 38, 429-440.

Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R. Lagoutte, F. and Gourdon, J. (2001). Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. **Euphytica**, 119, 59-67.

Buri, R. C., Von Reding, W. and Gavin, M. H. (2004). Description and Characterization of Wheat Aleurone. **Cereal Food World**, 49, 274-282.

Cakmak, I. (2002). Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. **Plant and Soil**, 247, 3-24.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant Soil**, 302, 1-17.

Cakmak, I., Pfeiffer, W. H. and McClafferty, B. (2010). Biofortification of durum wheat with zinc and iron. **Cereal Chem.**, 87, 10-20.

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.

Chen, J. (2012). An original discovery: Selenium deficiency and Keshan disease (an endemic heart disease). Asia. **Pac. J. Clin. Nutr.**, 21, 320-326.

Ciudad-Mulero, M., Matallana-González, M., Callejo, M. ., Carrillo, J., Morales, P. and Fernández-Ruiz, V. (2021). Durum and bread wheat flours. Preliminary mineral characterization and its potential health claims. **Agronomy**, 11, 108-121.

Combs, G. F., Jr. (2001). Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, 85, 517-547.

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.

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.

Czaja, T., Sobota, A. and Szostak, R. (2020). Quantification of ash and moisture in wheat flour by raman spectroscopy. **Foods**, 9, 280-287.

Delcour, J. A., Joye, I. J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K. and Lagrain, B. (2012). Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. Annu. Rev. **Food Sci. Technol.**, 3, 1-24.

Desheva, G. (2016). Effects of genotype, environment and their interaction on quality characteristics of winter bread wheat. **Journal of Basic and Applied Research**, 2, 363-372.

Dewettnick, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M. and Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: influence ofprocessing, food interaction and consumer perception. **Journal of Cereal Science**, 48, 243-247.

Dexter, E. J. and Edwards, N. M. (1998a). The implications of frequently encountered grading factors on the processing quality of common wheat. **Association of Operative Millers Bulletin**, June, 7115-7122.

Dexter, E. J. and Edwards, N. M. (1998b). The implications of frequently encountered grading factors on the processing quality of durum wheat. **Association of Operative Millers Bulletin**, October, 7165-7171.

Dhaka, V. and Khatkar, B. S. (2015). Effects of gliadin/glutenin and HMW-GS/LMW-GS ratio on dough rheological properties and bread-making potential of wheat varieties: Gluten proteins, dough rheology and bread quality. **Journal of Food Quality**, 38, 71-82.

Dobraszczyk, B. J., Whitworth, M. B., Vincent, J. F. V. and Khan, A. A. (2002). Single kernel wheat hardness and fracture properties in relation to density and the modeling of fracture in wheat endosperm. **J. Cereal Sci.**, 35, 245-263.

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.

Dziki, D. and Laskowski, J. (2005). Wheat kernel physical properties and milling process. **Acta Agrophysica**, 6, 59-71.

Edwards, W. P. (2007). The science of bakery products. **Cambridge: RSC Publishing**.

Ekholm, P., Reinivuo, H., Mattila, P., Pakkala, H., Koponen, J., Happonen, A., Hellström, J. and Ovaskainen, M. L. (2007). Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. **J. Food Compos. Anal.**, 20, 487-495.

El-Haramein, J. F. and Adleh, B. (1994). Bread in Syria. **Food Reviews International**, 10, 419-436.

El-khayat, G. H., Samaan, J., Manthey, F. A., Fuller, M. F. and Brennan, C. S. (2006). Durum wheat quality: I. Some physical and chemical characteristics of Syrian durum wheat genotypes. **International Journal of Food Science and Technology**, 41, 1-8.

El-Porai, E. S., Salama, A. E., Sharaf, A. M., Hegazy, A. I. and Gadallah, M. G. E. (2013). Effect of different milling processes on Egyptian wheat flour properties and pan bread quality**. Annals of Agricultural Sciences**, 58, 51-59.

Eriksen, L., Eriksen, N. and Haavaldsen, S. (1961). The effect of cobalt ions on the biosynthesis of hemoglobin by rabbit reticulocytes in vitro. **Acta Physiologica**, 53, 300-307.

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.

Esposito, F., Arlotti, G., Bonifati, A. M., Napolitano, A., Vitale, D. and Fogliano (2005). Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. **Food Research International**, 38, 1167-1173.

Fan, M. S., Zhao, F. J., Fairweather-Tait, S. J., Poulton, P. R., Dunham, S. J. and McGrath, S. P. (2008). Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, 22, 315-324.

FAO. (2003). Food energy-methods of analysis and conversion factors, Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**.

FAO. (2011). Annual Agriculture Statistical Food and Agriculture Organization of United Nations FAO, **Roma. Italy**.

FAO/WHO. (2002). Vitamin and Minerals Requirements in Human Nutrition, 2nd ed Geneva, **World Health Organization**, Geneva, Switzerland.

Faostat, F. (2022). Statistical Databases; **Food and Agriculture Organization of the United Nations**: Rome, Italy.

Fardet, A. (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre?. **Nutrition Research Reviews**, 23, 65-134.

Faris, J. D. (2014). Wheat domestication: Key to agricultural revolutions past and future. In **Genomics of Plant Genetic Resources**; Springer: Berlin, Germany, pp. 439-464.

Feillet, P. (1988). Protein and enzyme composition of durum wheat. In: Fabriani, G. and Lintas, C. Durum Wheat: Chemistry and Technology. **St. Paul, AACC**, MN, USA. 93.

Feillet, P., Autran, J. C. and Icard-Vemiere, C. (2000). Pasta brownness: An assessment. **Journal of Cereal Science**, 32, 215-233.

Ficco, D. B. M., Riefolo, C., Nicastro, G., De Simone, V., Di Gesu, A. M., Beleggia, R., Platani, C., Cattivelli, L. and De Vita, P. (2009). Phytate and mineral

elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars. **Field Crops Res.**, 111, 235-242.

Filipcev, B., Kojic, J., Krulj, J., Bodroza-Solarov, M. and Ilic, N. (2018). Betaine in cereal grains and grain-based products. **Foods**, 7, 49-60.

Flynn, A. G., Panozzo, J. F. and Gardner, W. K. (1987). The effect of copper deficiency on the baking quality and dough properties of wheat flour. **Journal of Cereal Science**, 6, 91-98.

Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D. and Nam, S. (2018). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. **Journal of Cereal Science**, 79, 210-217.

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.

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.

Ghandilyan, A., Ilk, N., Hanhart, C., Mbengue, M., Barboza, L., Schat, H. and Aarts, M. G. M. (2009). A strong effect of growth medium and organ type on the identification of QTLs for phytate and mineral concentrations in three Arabidopsis thaliana RIL populations. **Journal of Experimental Botany**, 60, 1409-1425.

Gharibzahedi, S. M. T. and Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends Food Sci. Technol.**, 62, 119-132.

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.

Gomaa, M. A., Radwan, F. I., Kandil, E. E. and El-Zweek, S. M. A. (2015). Effect of some macro and micronutrients application methods on productivity and quality of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Middle East J. Agric. Res.**, 4, 1-11.

Gomez-Becerra, H. F., Yazici, A., Ozturk, L., Budak, H., Peleg, Z., Morgounov, A., Fahima, T., Saranga, Y. and Cakmak, I. (2010). Genetic variation and environmental stability of grain mineral nutrient concentrations in Triticum dicoccoides under five environments. **Euphytica**, 171, 39-52.

Graham, R. D. and Welch, R. M. (1996). Breeding for staple food crops with high micronutrient density. In **Worker papers on agricultural strategies for micronutrients**, ed. Bouis, H. D., 1-72. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Graham, R. D., Welch, R. M., Saunders, D. A., Ortiz-Monasterio, I., Bouis, H. E., Bonierbale, M., de Haan, S., Burgos, G., Thiele, G., Liria, D. M. R., Meisner, C. A., Beebe, S. E., Potts, M. J., Kadian, M., Hobbs, P. R., Gupta, R. K. and Twomlow, S. J. (2007). Nutritious subsistence food systems. **Adv. Agron.**, 92, 1-74.

Granett, T. P. and Graham, R. (2005). Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. **Ann. Bot.**, 95, 817-826.

Gupta, U. C. (1992). Cobalt content of forages and cereals grown on Prince Edward Island. **J. Soil Sci.**, 73, 1-7.

Gutiérrez-Alamo, P., Pérez De Ayala, M. W. A., Verstegen, L. A., Den, H. and Villamide, M. J. (2008). Variability in wheat: Factors affecting its nutritional value. **World's Poultry Science Journal**, 64, 1, 20-39.

Guttieri, M. J., Ahmad, R., Stark, J. C. and Souza, E. (2000). End-use quality of six hard red spring wheat cultivars at different irrigation levels. **Crop Science**, 40, 631-635.

Guttieri, M. J., Stark, J. C., O'Brien, K. and Souza, E. (2001). Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deicit. **Crop Science**, 41, 327-335.

Guzmán, C., Medina-Larqué, A. S., Velu, G., González-Santoyo, H., Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Ortiz-Monasterio, I. and Peña, R. J. (2014). Use of wheat genetic resources to develop biofortified wheat with enhanced grain zinc and iron concentrations and desirable processing quality. **J. Cereal Sci.**, 60, 617-622.

Hallberg, L.; Brune, M. and Rossander, L. (1989). Iron absorption in man: Ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. **Am. J. Clin. Nutr.**, 49, 140-144.

Halverson, J. and Zeleny, L. (1988). Criteria of wheat quality. In: Wheat Chemistry and Technology Vol. 1, 3rd edition. Y. Pomeranz, ed. **Am. Assoc. Cereal. Chem.**, st. Paul, MN. 15-45.

Han, Q., Huo, Y., Yang, X., He, Y., Wu, J. Y. and Cai, H. (2018). Determination of ultra-trace cobalt in water and wheat flour samples using cloud point extraction coupled with laser thermal lens spectrometr. **Analytical Methods**, 23, 2597.

Harland, B. F. and Morris, E. R. (1995). Phytate: A good or a bad food component? **Nutrition Research**, 15, 733-754.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson. W. L. (2005). Soil fertility and fertilizer: **An introduction to nutrient management**. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, Inc.

Hemery, Y., Holopainen, U., Lampi, A. -M., Lehtinen, P., Nurmi, T., Piironen, V., Edelmann, M. and Rouau, X. (2011). Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part II: Electrostatic separation of particles. **J. Cereal Sci.**, 53, 9-18.

Henry. R. J. and Kettlewell, P. S. (1996). Cereal grain quality. 1st ed. **London UK**. Chapman and Hall.

Herbert V. (1992). Everyone should be tested for iron disorders. **J. Am. Die.t Assoc.**, 92, 1502-1509.

Heshe, G. G., Haki, G. D., Woldegiorgis, A. and Gemede, H. F. (2016). Effect of conventional milling on the nutritional value and antioxidant capacity of wheat types common in Ethiopia and a recovery attempt with bran supplementation in bread. **Food Science & Nutrition**, 4, 534-543.

Heshe, G. G., Haki, G. D., Woldegiorgis, A. and Gemede, H. F. (2016). Effect of conventional milling on the nutritional value and antioxidant capacity of wheat types common in Ethiopia and a recovery attempt with bran supplementation in bread. **Food Science & Nutrition**, 4, 534-543.

Heshe, G. G., Haki, G. D., Woldegiorgis, A. Z. and Gemede, H. F. (2015). Effect of conventional milling on the nutritional value and antioxidant capacity of wheat types common in Ethiopia and a recovery attempt with bran supplementation in bread. **Food Science & Nutrition**, 4, 534-543.

Hill, J., Robson, A. D. and Loneragan, J. F. (1979a). The effect of copper and nitrogen supply on the distribution of copper in dissected wheat grain. **Australian Journal of Agricultural Research**, 30, 233-237.

Hill, J., Robson, A. D. and Loneragan, J. F. (1979b). The effect of copper supply on the senescence and the retranslocation of nutrients from the oldest leaf of wheat. **Annals of Botany**, 44, 279-287.

Hocking, P. J. (1994). Dry-matter production, mineral nutrient concentrations, and nutrient distribution and redistribution in irrigated spring wheat. **Journal of Plant Nutrition**, 17, 1289-1308.

Hoseney, R. C. (1992). Principles of cereal science and technology. AACC, **St. Paul**, MN, USA.

Hussain, A., Larsson, H., Kuktaite, R. and Johansson, E. (2010). Mineral composition of organically grown wheat genotypes: Contribution to daily minerals intake. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 7, 3442-3456.

Iglesias-Puig, E., Monedero, V. and Haros, M. (2015). Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. **Lwt-Food Sci. Technol.**, 60, 71-77.

Ijaz, A., Anjum, F. M and Butt, M. S. (2001). Quality characteristics of wheat varieties grown In Pakistan from 1933 to 1996. **Pak. J. of Food Sciences.**, 11 (1-4), 1-8.

Ilker, E., Altinbas, M. and Tosun, M. (2009). Selection for test weight and kernel weight in high yielding wheat using a safety-first index. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 33, 37-45.

Inas, A. (2020). The effect of changing the milling extraction rate on the flour properties. **Technology Reports of Kansai University**, 62, 1121-1129.

Iuliana, B., Georgeta, S., Violeta, I. and Iuliana, A. (2010). Physicochemical and rheological analysis of flourmill streams**. Cereal Chem.**, 87, 112-117.

Jamieson, P. D., Stone, P. J. and Semenov, M. A. (2001). Towards modeling quality in wheat from grain nitrogen concentration to protein composition. **Aspects of Applied Biology**, 64, 111-126.

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.

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.

Joshi, C. P. and Nguyen, H. T. (1993). Application of the random amplified polymorphic DNA technique for the detection of polymorphism among wild and cultivated tetraploid wheats. **Genome**, 36, 602-609.

Kamal-Eldin, A. (2008). Micronutrients in cereal products: Their bioactivities and effects on health. **Technology of Functional Cereal Products**, 86-111.

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.

Kara, D. (2009). Evaluation of trace metal concentrations in some herbs and herbal teas by principal component analysis. **Food Chem.**, 114, 347-354.

Kärkkäinen, O., Lankinen, M. A., Vitale, M., Jokkala, J., Leppänen, J., Koistinen, V., Lehtonen, M., Giacco, R., Rosa-Sibakov, N., Micard, V., Rivellese, A. A. A., Schwab, U., Mykkänen, H., Uusitupa, M., Kolehmainen, M., Riccardi, G., Poutanen, K., Auriola, S. and Hanhineva, K. (2018). Diets rich in whole grains increase betainized compounds associated with glucose metabolism. **Am. J. Clin. Nutr.**, 108, 971-979.

Karunakaran, C., Muir, W. E., Jayas, D. S., White, N. D. G. and Abramson, D. (2001). Safe storage time of high moisture wheat. **Journal of Stored Products Research**, 37, 303-312.

Kashian, S. and Fathivand, A. A. (2015). Estimated daily intake of Fe, Cu, Ca and Zn through common cereals in Tehran, Iran. **Food Chemistry**, 176, 193-196.

Kaur, K. D., Jha, A., Sabikhi, L. and Singh, A. (2014). Significance of coarse cereals in health and nutrition: A review. **J. Food Sci. Technol.**, 51, 1429-1441.

Khan, K. and Shewry, P. (2009). Wheat Chemistry and Technology. Fourth Edition, AACC International, **A dvancing grain science world wide**, p. 82-83.

Kikafunda, J. K., Walker, A. F., Allan, E. F. and Tumwine, J. K. (1998). Effect of zinc supplementation on growth and body composition of Ugandan preschool children: A randomized, controlled, intervention trial. **The American Society for Clinical Nutrition**, 68, 1261-1266.

Kim, Y. R., Cornillon, P., Campanella, O., Stroshine, R., Lee, S. and Shim, J. (2008). Small and large deformation rheology for hard wheat flour dough as influenced by mixing and resting. **J Food Sci.**, 73, 1-8.

Kochian, L. V. (1991). Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plants. In: Mortvedt, J. J., Cox, F. R., Shuman, L. M. and Welch, R. M., eds.

Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society of America, 229-296.

Kroutil, M., Hejtmánková, A. and Lachman, J. (2010). Effect of spring wheat (Triticum aestivum L.) treatment with brassinosteroids on the content of cadmium and lead in plant aerial biomass and grain. **Plant, Soil and Environment**, 56, 43-50.

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.

Lachman, J., Miholová, D., Pivec, V., Jírů K. and Janovská, D. (2011). Content of phenolic antioxidants and selenium in grain of einkorn (*Triticum monococcum*), emmer (*Triticum dicoccum*) and spring wheat (*Triticum aestivum*) varieties. **Plant, Soil and Environment**, 57, 235-243.

Lachman, J., Orsák, M., Pivec, V. and Jírů, K. (2012). Antioxidant activity of grain of einkorn (*Triticum monococcum* L.), emmer *(Triticum dicoccum Schuebl* [Schrank]) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Plant, Soil and Environment*, 58, 15-21.

Laddomada, B., Durante, M., Minervini, F., Garbetta, A., Cardinali, A., D'Antuono, I., Caretto, S., Blanco, A. and Mita, G. (2015). Phytochemical composition and anti-inflammatory activity of extracts from the whole-meal flour of Italian durum wheat cultivars. **Int. J. Mol. Sci.**, 16, 3512-3527.

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.

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.

Leyssens, L., Vinck, B., Van Der Straeten, C., Wuyts, F. and Maes, L. (2017). Cobalt toxicity in humans. A review of the potential sources and systemic health effects. **Toxicology**, 387:43-56.

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.

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.

Loneragan, J. F. (1981). Distribution and movement of copper in plants. In: Loneragan, J. F., Robson, A. D. and Graham, R. D., eds. Copper in Soils and Plants. **Sydney: Academic Press**, 165-188.

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.

Lotfi, M., Venkatesh Mannar, M. G., Merx, R. J. H. M. and den Hauvel, P. N. (1996). Food vehicles and fortificants. In: Micronutrient Fortification of Foods, Current Practices, Research and Opportunities. **Micronutrient Initiative (IDRC)**, Ottawa, Canada. 11-24.

Lu, X., Brennan, M. A., Guan, W., Zhang, J., Yuan, L. and Brennan, C. S. (2021). Enhancing the nutritional properties of bread by incorporating mushroom bioactive compounds: The manipulation of the pre-dictive glycaemic response and the phenolic properties. **Foods**, 10, 731-746.

Lundgren, M. (2011). Composition of fractions from air-classified wheat flour. Second cycle, A1E. **Uppsala: SLU**, Dept. of Food Science.

Lyons, G., Ortiz-Monasterio, I., Stangoulis, J. and Graham, R. (2005). Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? **Plant Soil**, 269, 369-380.

Ma, W. (2019). Wheat gluten protein and its impacts on wheat processing quality. **Front. Agr. Sci. Eng.**, 6, 279-287.

Magallanes-López, A. M., Hernandez-Espinosa, N., Velu, G., Posadas-Romano, G., Ordoñez-Villegas, V. M. G., Crossa, J., Ammar, K. and Guzmán, C. (2017). Variability in iron, zinc and phytic acid content in a worldwide collection of commercial durum wheat cultivars and the effect of reduced irrigation on these traits. **Food Chem.**, 237, 499-505.

Majzoobi, M., Farahnaky, A., Nematolahi, Z., Hashemi, M. M. and Taghipour, M. (2013). Effect of different levels and particle sizes of wheat bran on the quality of flat bread. **Journal of Agricultural Science and Technology**, 15, 115-123.

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.

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.

Mao, H., Chen, M., Su, Y., Wu, N., Yuan, M., Yuan, S., Brestic, M., Zivcak, M., Zhang, H. and Chen, Y. (2018). Comparison on photosynthesis and antioxidant defense systems in wheat with different ploidy levels and octoploid triticale. **Int. J. Mol. Sci.**, 19, 3006.

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 Mendel Net 2015**, At: At Fac Agron, Brno, Czech Republic

Marles, R. J. (2017). Mineral nutrient composition of vegetables, fruits and grains: The context of reports of apparent historical declines. **Journal of Food Composition and Analysis**, 56, 93-103.

Marta, A. D., Grifoni, D., Mancini, M., Zipoli, G. and Orlandini, S. (2011). The influence of climate on durum wheat quality in Tuscany, Central Italy. **Int. J. Biometeorol**, 55, 87-96.

Martínez-Ballesta, M. C., Dominguez-Perles, R., Moreno, D. A., Muries, B., Alcaraz-López, C., Bastías, E., García-Viguera, C. and Carvajal, M. (2010). Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 30, 295-309.

Martorell, R. and Trowbridge, F. (2002). Forging effective strategies to combat iron deficiency: Foreword. **J. Nutr.**, 132, 789S.

Milani, J. (2018). Application of coated wheat bran to producing barbari bread with increased nutritional value and improved bread texture and shelf life. **Acta Alimentaria**, 47, 259-266.

Miller, T. E. (1987). Systematics and evolution. In Lupton, F. G. H. (Ed) Wheat Breeding: Tts scientific basis. **Chapman and Hell**, London pp 30.

Mishra, J. (2016). Effects of bran treatment on rheology and sensory quality of whole wheat flat bread. **MSc Thesis**, South Dakota State University, USA.

Mitiku, D., Abera, S. and Bussa, N. (2018). Evaluation of physicochemical properties and sensory attributes of leavened bread produced from composite flours of wheat (*Triticum aestivum* L.) and sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Science, Technology and Arts Research Journal**, 5, 95-103.

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.

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.

Morris, C. F., Shackley, B. J., King, G. E. and Kidwell, K. K. (1997). Genotypic and enviornmental variation for flour swelling volume in wheat. **Cereal Chemistry**, 74, 16-21.

Mueen-ud-Din, G., Rehman, S., Anjum, F. M., Nawaz, H. and Murtaza, M. A. (2010). Effect of wheat flour extraction rates on flour composition, farinographic characteristics and sensory perception of sourdough naans. **International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**, 4, 668-674.

Munteanu, M., Voicu, G., Ștefan, 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.

Munteanu, M., Voicu, G., Ungureanu, N., Zăbavă, B. Ș., 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.

Murphy, K. M., Reeves, P. G. and Jones, S. S. (2008). Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. **Euphytica**, 163, 381-390.

Nachit, M. M. (1998). Durum breeding research to improve dryland productivity in the Mediterranean region. In SEWANA (South Europe, West Asia and North Africa). **Durum Research Network**. PP. 1-15.

Neethirajan, S., Karunakaran, C., Symons, S. and Jayas, D. (2006). Classification of vitreousness in durum wheat using soft X-rays and transmitted light images. **Computers and Electronics in Agriculture**, 53, 71-78.

O'Connor, A. (2012). An overview of the role of bread in the UK diet. **Nutr. Bull.**, 37, 193-212.

O'Dell, B. L. (1972). Distribution of phytate and nutritionally important elements among the morphological components of cereal grains. **J. Agric. Food Chem.**, 20, 718-721.

O'Brien, T. P., Sammut, M. E., Lee, J. W. and Smart, M. G. (1985). The vascular system of the wheat spikelet. **Australian Journal of Plant Physiology**, 12, 487-512.

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.

Ortiz-Monasterio, J. I., Palacios-Rojas, N., Meng, E., Pixley, K., Trethowan, R. and Pena, R. J. (2007). Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. **J. Cereal Sci.**, 46, 293-307.

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.

Pahlavan-Rad, M. R. and Pessarakli, M. (2009). Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese applications and uptake and concentration of zinc, iron, and manganese in wheat grains. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 40, 1322-1332.

Paltridge, N. G., Milham, P. J., Ortiz-Monasterio, J. I., Velu, G., Yasmin, Z., Palmer, L. J., Guild, G. E. and Stangoulis, J. (2012). Energy-dispersive Xray fluorescence spectrometry as a tool for zinc, iron and selenium analysis in whole grain wheat. **Plant and Soil**, 361, 261-269.

Panozzo, J. F. and Eagles, H. A. (2000). Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. **Australian Journal of Agricultural Research**, 51, 629-636.

Patterson, k. Y., Holbrook, J. T., Bodner, J. E., Kelsay, J. L., Smith, J. C. and Veillon, C. (1984). Zinc, copper, and manganese intake and balance for

adults consuming self-selected diets. **The American Society for Clinical Nutrition**, 40, 1397-1403.

Pauly, A., Pareyt, B., Fierens, E. and Delcour, J. A. (2013). Wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. turgidum* L. ssp. *durum*) kernel hardness: II. Implications for end-product quality and role of puroindolines therein. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 12, 427-438.

Pearson, J. N. and Rengel, Z. (1994). Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal of Experimental Botany**, 45, 1829-1835.

Peck, A.W., McDonald, G. K. and Graham, R.D. (2008). Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Cereal Science**, 47, 266-274.

Piironen, V. and Salmenkallio-Marttila, M. (2009). Micronutrients and Phytochemicals in Wheat Grain. In WHEAT: Chemistry and Technology; **American Association of Cereal Chemists: St Paul**, MN, USA, pp. 179-222.

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.

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, USA.

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.

Posner, E. S. and Hibbs, A. N. (2005). Wheat Flour Milling. Second edition. **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul, MN, USA.

Poutanen, K. S., Kårlund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M., Eriksen, A. K., Silventoinen, P. C., Nordlund, E., Sozer, N., Hanhineva, K. J., Kolehmainen, M. and Landberg, R. (2022). Grains - a major source of sustainable protein for health. **Nutr Rev.**, 80, 1648-1663.

Prabhasankar, P., Haridas Rao, P. (2001). Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour. **Eur Food Res Technol.**, 213, 465-469.

Que, L. and Raymond, Y. N. (1996). Dioxygen activation by enzymes with mononuclear non-heme iron active sites. **Chemical Reviews**, 96, 2607-2624.

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.

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.

Rawashdeh, H. M. and Sala, F. (2015). Effect of some micronutrients on growth and yield of wheat and its leaves and grain content of iron and boron. **Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture**, 72, 1-6.

Rawat, N., Tiwari, V. K., Singh, N., Randhawa, G., Singh, K., Chhuneja, P. and Dhaliwal, H. (2009). Evaluation and utilization of Aegilops and wild Triticum species for enhancing iron and zinc content in wheat. **Genetic Resources and Crop Evolution**, 56, 53-64.

Rayman, M. P. (2002). The argument for increasing selenium intake. **Proc. Nutr. Soc.**, 61, 203-215.

Rebellato, A. P., Bussi, J., Silva, Joyce, G. S., Greiner, R., Steel, C. J. and Pallone, J. A. L. (2017). Effect of different iron compounds on rheological and

technological parameters as well as bioaccessibility of minerals in whole wheat bread. **Food Research International**, 94, 65-71.

Rodriguez-Ramiro, I., Brearley, C., Bruggraber, S., Perfecto, A., Shewry, P. and Fairweather-Tait, S. (2017). Assessment of iron bioavailability from different bread making processes using an in vitro intestinal cell model. **Food Chemistry**, 228, 91-98.

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.

Rothkaehl, J. (2004). Determination of the rheological properties of dough from domestic wheat flour (in Polish). **ZPZiP IBPRS**. Warszawa, 2004.

Roye, C., Bulckaen, K., De Bondt, Y., Liberloo, I., Van De Walle, D., Dewettinck, K. and Courtin, C. (2020). Side-by-side comparison of composition and structural properties of wheat, rye, oat, and maize bran and their impact on in vitro fermentability. **Cereal Chem. J.**, 97, 20-33.

Ruibal-Mendieta, N. L., Delacroix, D. L., Mignolet, E., Pycke, J. M., Marques, C., Rozenberg, R., Petitjean, G., Habib-Jiwan, J. L., Meurens, M., Quetin-Leclercq, J., Delzenne, N. M. and Larondelle, Y. (2005). Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) as a source of breadmaking flours and bran naturally enriched in oleic acid and minerals but not phytic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistr**y, 53, 2751-2759.

Rustgi, S., Shewry, P., Brouns, F., Deleu, L. J. and Delcour, J. A. (2019). Wheat seed proteins: Factors influencing their content, composition, and technological properties, and strategies to reduce adverse reactions. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 18, 1751-1769.

Rybicka, I. and Gliszczyńska-Świgło, A. (2017). Minerals in grain gluten-free products. The content of calcium, potassium, magnesium, sodium, copper, iron, manganese, and zinc. **J. Food Compos. Anal.**, 59, 61-67.

Saberi-Firouzi, M., Omrani, G., Nejabat, M., Mehrabani, D. and Khadem, Olhosseini, F. (2008). Prevalence of Celiac Disease in Shiraz, Southern Iran. **The Saudi Journal of Gastroenterology**, 14, 135-138.

Sadeghi, H. and Eatye Salehi, E. (2016). Effects of iron supply on the rheological properties and sensory characteristics of bread dough enriched with micronutrients. **Journal of Fundamental and Applied Sciences**, 8, 203-230.

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.

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.

Sakhare, S. D., Inamdar, A. A., Soumya, C., Indrani, D. and Rao, G. V. (2013). Effect of flour particle size on microstructural, rheological and physico-sensory characteristics of bread and south Indian parotta. Journal of Food Science and Technology, 51, 4108-4113.

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.

Samaan, J. (2007). Characterisation of grain quality of Syrian durum wheat genotypes affecting milling performance and end-use quality. **PhD Thesis**, School of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Plymouth, UK.

Samaan, J., El-Khayat, G. H., Manthey, F. A., Fuller, M. P. and Brennan, C. S. (2006). Durum wheat quality: II. The relationship of kernel physicochemical composition to semolina quality and end product utilisation. **International Journal of Food Science and Technology**, 41, 47-55.

Sankara Rao, D. S. and Deosthale, Y. G. (1981). Mineral and trace element composition of wheat and wheat flours of different extraction rates. **Journal of Plant Foods**, 3, 251-257.

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.

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.

Sassi, K., Abid, G., Jemni, L., Dridi-Al Mohandes, B. and Boubaker, M. (2012). Tude comparative de six variétés de blé dur (Triticum durum Desf.), visà-vis du stress hydrique. **Journal of Animal & Plant Sciences**, 15, 2157-2170.

Sawant, A. A., Patil, S. C., Kalse, S. and Thakor, N. (2012). Effect of temperature, relative humidity and moisture content on germination percentage of wheat stored in different storage structures. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 14, 110-118.

Sayed, H. S., Sakr, A. M. and Hassan, N. M. M. (2016). Effect of pseudo cereal flours on technological, chemical and sensory properties of pan bread. **World J. Dairy Food Sci.**, 11, 10-17.

Shewry, P. R. and Hey, S. J. (2015). Do "ancient" wheat species differ from modern bread wheat in their contents of bioactive components? **J. Cereal Sci.**, 65, 236-243.

Shewry, P. R. and Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. **Food Energy Secur.**, 4, 178-202.

Shewry, P. R., Napier, J. A. and Tatham, A.S. (1995). Seed storage proteins, structures and biosynthesis. **Plant Cell**, 7, 945-956.

Shewry, P. R., Pellny, T. K. and Lovegrove, A. (2016). Is modern wheat bad for health. **Nat. Plants**, 2, 16097.

Shi, R., Zhang, Y., Chen, X., Sun, Q., Zhang, F., Römheld, V. and Zou, C. (2010). Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **J. Cereal Sci.**, 51, 165-170.

Shoaib, A. and Arabi, M. I. E. (2006). Genetic diversity among Syrian cultivated and landraces wheat revealed by AFLP markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, 53, 901-906.

Sissons, M. J., Osborne, B. G., Hare, R., A., Sissons, S. A. and Jackson, R. (2000). Application of the single-kernel characterization system to durum wheat testing and quality prediction. **Cereal Chemistry**, 77, 4-10.

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.

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.

Soetan, K. O., Olaiya, C. O. and Oyewole, O. E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. **African Journal of Food Science**, 4, 200-222.

Soltner, D. (2005). Les grandes productions végétales. 20ème Edition. **Collection science et techniques agricoles**. 472p.

Spiegel, H., Sager, M., Oberforster, M., Mechtler, K., Stuger, H. P. and Baumgarten, A. (2009). Nutritionally relevant elements in staple foods: Influence of arable site versus choice of variety. **Environ. Geochem. Health**, 31, 549-560.

Struik, P., Nelson, M., Gil, F., Phuke, R., Anuradha, K., Radhika, K., Jabeen, F., Ghanta, A., Thatikunta, R., Hariprasanna, K., Mehtre, S., Deshpande, S., Gaddameedi, A., Das, R., Rathore, A., Hash, T., Reddy, B. and Are, A. P. (2017). Genetic variability, genotype × environment interaction, correlation, and gge biplot analysis for grain iron and zinc concentration and other

agronomic traits in ril population of sorghum (*Sorghum bicolor* L. *Moench*). **Frontiers in Plant Science**, 1, 1-13.

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.

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.

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.

Surma, M., Adamski, T., Banaszak, Z., Kaczmarek, Z., Kuczyńska, H., Majcher, M., Ługowska, B., Obuchowskił, W., Salmanowicz, B. and Krystkowiak, K. (2012). Effect of genotype, environment and their interaction on quality parameters of wheat breeding lines of diverse grain hardness. **Plant Production Science**, 15, 192-203.

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.

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.

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.

Thungo, Z., Shimelis, H., Odindo, A. and Mashilo, J. (2020). Genotype-by-environment effects on grain quality among heat and drought tolerant bread

wheat (Triticum aestivum L.) genotypes, **Journal of Plant Interactions**, 15, 83-92.

Tishchenko, K. I., Beloglazkina, E. K., Mazhuga, A. G. and Zyk, N. V. (2016). Copper-containing enzymes: Site types and low-molecular-weight model compounds. **Review Journal of Chemistry**, 6, 49-82.

Triboï, E., Martre, P. and Triboï-Blondel, A. (2003). Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. **Journal of Experimental Botany**, 54, 1731-1742.

Tulchinsky, T. (2010). Micronutrient deficiency conditions: Global health issues. **Public Health Reviews**, 32, 243-255.

Uauy, R., Hertrampf, E. and Reddy, M. (2002). Iron fortification of foods: Overcoming technical and practical barriers. **J. Nutr.**, 132, 849S-852S.

van Lill, D., Purchase, J. L., Smith, M. F., Agenbag, G. A. and de Villiers, O. T. (1995). Multivariate assessment of environmental effects on hard red winter wheat. I. Principal-components analysis of yield and breadmaking characteristics. **South African Journal of Plant and Soil**, 12, 158-163.

Velu, G., Singh, R., Arun, B., Mishra, V., Tiwari, C., Joshi, A., Virk, P., Cherian, B. and Pfeiffer, W. (2015). Reaching out to farmers with high Zinc wheat varieties through public-private partnerships–An Experience from Eastern-Gangetic Plains of India. Adv. **Food Technol. Nutr. Sci.**, 1, 73-75.

Velu, G., Singh, R., Arun, B., Mishra, V., Tiwari, C., Joshi, A., Virk, P., Cherian, B. and Pfeiffer, W. (2015). Reaching out to farmers with high Zinc wheat varieties through public-private partnerships–An Experience from Eastern-Gangetic Plains of India. **Adv. Food Technol. Nutr. Sci**., 1, 73-75.

Velu. G., Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Peña, R. J., Arun, B., Mahendru-Singh, A., Yaqub M. M., Sohu, V. S., Mavi, G. S., Crossa, J., Alvarado, G., Joshi, A. K. and Pfeiffer, W. H. (2012). Performance of biofortified spring wheat

genotypes in target environments for grain zinc and iron concentrations. **Field Crops Research**, 137, 261-267.

Vieira, E., Soares, M. E., Ferreira, I. M. P. L. V. O. and Pinho, O. (2012). Validation of a fast sample preparation procedure for quantification of sodium in bread by flame photometry. **Food Anal. Method.**, 5, 430-434.

Vignola, M. B., Moiraghi, M., Salvucci, E., Baroni, V. and Perez, G. T. (2016). Whole meal and white flour from Argentine wheat genotypes: Mineral and arabinoxylan differences. **Journal of Cereal Science**, 71, 217-223.

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.

Walker, C. E. and Hazelton, J. L. (1996). Dough rheological tests. **Cereal Foods World**, 41, 23-28.

Wandersleben, T., Morales, E., Burgos-Díaz, C., Barahona, T., Labra, E., Rubilar, M. and Salvo-Garrido, H. (2018). Enhancement of functional and nutritional properties of bread using a mix of natural ingredients from novel varieties of flaxseed and lupine. **LWT**, 91, 48-54.

Wang, M., Kong, F., Liu, R., Fan, Q. and Zhang, X. (2020). Zinc in wheat grain, processing, and food. **Front. Nutr.**, 7, 124-131.

Welch, R. M., and Graham, R. D. (2005). Agriculture: The real nexus for enhancing bioavailable micronutrients in food crops. **J. Trace Elem. Med. Biol.**, 18, 299-307.

WHO, (1994). Indicators and strategies for iron deficiency and anemia programs. **Raft report of the WHO / UNICEF / UNU Consultation**. Geneva, Switzerland.

WHO. (2002). Ten leading causes of illness and disease in low income countries. http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310_2008.pdf. **The World Health Report** 2002 Geneva: WHO.

WHO. (2002). The World Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. **World Health Organization**, Rome.

Williams, P. C., Elharamein, F. J., Nelson, W. and Srivastava, J. P. (1988). Evaluation of wheat quality for the baking of Syrian-type 2-layered flat breads. **Journal of Cereal Science**, 7, 195-207.

Williams, R. M., O'Brien, L., Eagles, H. A., Solah, V. A. and Jayasena, V. (2008). The influences of genotype, environment, and genotype×environment interaction on wheat quality. **Australian Journal of Agricultural Research - AUST J AGR RES.**, 59, 95-111.

Wrigley, C. W. and Bietz, J. A. (1987). Proteins and amino acids. In: Pomeranz, Y. Wheat Chemistry and Technology. **St. Paul, AACC**, MN, USA.

Yan, J., Xue, W. -T., Yang, R. -Z., Qin, H. -B., Zhao, G., Tzion, F. and Cheng, J. -P. (2018). Quantitative Trait Loci Conferring Grain Selenium Nutrient in Durum Wheat_ Wild Emmer Wheat RIL Population. **Czech J. Genet. Plant Breed.**, 54, 52-58.

Yanagisawa, H. (2004). Zinc deficiency and clinical practice. **Japan Medical Association Journal**, 47, 359-364.

Zeidan, M. S., Manal, F. and Hamouda, H. A. (2010). Effect of foliar fertilization of Fe, Mn and Zn on wheat yield and quality in low sandy soils fertility. **World J Agric Scie.**, 6, 696-699.

Zhang, Y., He, Z. H., Ye, G. Y., Zhang, A. M. and Van Ginkel, M. (2004). Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. **Euphytica**, 139, 75-83.

Zhao, F. J., and McGrath, S. P. (2009). Biofortification and phytoremediation. **Curr. Opin. Plant Biol.**, 12, 373-380.

Zhao, F. J., Su, Y. H., Dunham, S. J., Rakszegi, M., Bedo, Z., McGrath, S. P. and Shewry, P. R. (2009). Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. **J. Cereal Sci.**, 49, 290-295.

Zhao, M., Gou, J., Zhang, K. and Ruan, J. (2023). Principal components and cluster analysis of trace elements in buckwheat flour. **Foods**, 12, 225-234.

Zhou, K., Laux, J. J. and Yu, L. (2004). Comparison of Swiss red wheat grain and fractions for their antioxidant properties. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, 52, 1118-1123.

Zornoza, P., Vázquez, S., Esteban, E., Fernández-Pascua, M. and Carpena, R. (2002). Cadmium-stress in nodulated white lupin: Strategies to avoid toxicity. **Plant Physiology and Biochemistry**, 40, 1003-1009.

Abstract

The research was conducted at the Central Grain Laboratory and the laboratories of Food Science Department and Soil Science Department, with the aim of studying the effect of environmental and genetic factors on the physicochemical properties of the grains of approved durum and soft wheat varieties and their content of micromineral elements. Two varieties of each wheat type were selected, grown in two different regions during two growing seasons. Analysis of variance showed that there were significant differences between types and varieties of wheat grains, and between cultivation sites for all the studied physicochemical traits, while genetic factors (type and cultivar of wheat) were responsible for more than 70% of the variation in the concentration of micromineral elements, while environmental factors (cultivation site and growing season) were responsible for less than 30% of the total variance. On the other hand, the analysis of the physicochemical properties of the studied flour types showed that there were significant differences between them for each type of wheat, and between types of wheat, and it was found that a decrease in flour extraction rate significantly reduced the micromineral elements content in the resulting flour, and the value of the decrease changed depending on the flour extraction rate and the mineral type. The concentration of micromineral elements in standardized 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 (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 wheat and soft wheat, respectively. Analysis of the chemical and processing characteristics of bread samples prepared from all types of flour showed that there were significant differences in all the indicators studied. The micromineral elements content was in the following order (iron > zinc > manganese > copper > cobalt) for all bread samples, and it varied greatly between the bread samples prepared from the different milling parts of the two types of the studied wheat. Moreover, the manufacturing process led to a highly significant difference in the percentage of micromineral elements loss between the flour types and the two wheat types, and reached (57.17%) for copper, (52.67%) for cobalt, (29.68%) for zinc, (17.24%) for manganese and (14.38%) for iron. This study revealed the important role of micromineral elements in flour properties, including the quality of the resulting bread. The results of the cluster analysis confirmed the fundamental importance of genetic factors in the accumulation of micromineral elements in wheat grains. Accordingly, approximate representative values of soft and hard Syrian wheat were established for their content of micromineral elements.

Keywords: Soft wheat, durum wheat, physicochemical properties, rheological properties, pita bread, micronutrients.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Agriculture Engineering
Dep. of Food Science

Determination the Effective Factors on Micro Mineral Elements Content in Syrian Wheat Types and its Products

Thesis submitted for obtaining a PhD degree in Agricultural Engineering
(Food Science)

By
Mohamad Fadi Habiba

Supervisor
Prof. Abdul Hakim Azizieh
Faculty of Agriculture
Dep. of Food Science

Co-supervisor
Dr. Jihad Samaan
Faculty of Agriculture
Dep. of Food Science

2024