



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇİMLENDİRİLMİŞ AMARANT (*AMARANTHUS SP.*)
VE KARABUĞDAY (*FAGOPYRUM SP.*)
TOHUMLARININ EKMEK VE TARHANA
ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Nezahat OLCAY

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nezahat OLCAY tarafından hazırlanan “Çimlendirilmiş Amaranth (*Amaranthus* sp.) ve Karabuğday (*Fagopyrum* sp.) Tohumlarının Ekmek ve Tarhana Üretiminde Kullanımı” adlı tez çalışması 06/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

.....

Danışman

Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Doç. Dr. Elif YAVER

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından 221419007 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Nezahat OLCAY

Tarih: 06.11.2024

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ÇİMLENDİRİLMİŞ AMARANT (*AMARANTHUS SP.*) VE KARABUĞDAY (*FAGOPYRUM SP.*) TOHUMLARININ EKMEK VE TARHANA ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Nezahat OLCAY

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

2024, 310 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

Doç. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL

Doç. Dr. Durmuş SERT

Doç. Dr. Elif YAVER

Glutensiz yapılarının yanı sıra zengin besinsel içeriklere sahip yalancı tahıllar, değişen beslenme alışkanlıklarıyla tüketiciler tarafından daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Bu durum, gıda endüstrisinin ve araştırmacılarının yalancı tahıllı ürün formülasyonları geliştirilmesine olan ilgisini de artırmıştır. Bu çalışmada, yalancı tahıllardan karabuğday ve amarant kullanılarak, besinsel ve fonksiyonel özellikleri artırılmış, yeni fermente tahıl ürünleri formülasyonlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, karabuğday ve amarant tohumları üç farklı ön işlem uygulanarak (kimyasal dezenfektan (NaOCl), ultrason işlemi ve *Lactobacillus plantarum* inokülasyonu) çimlendirilmiş, ardından kurutulup öğütülerek elde edilen unlar dört farklı oranda (%0, 10, 20 ve 30), tarhana ve ekmekek formülasyonunda buğday ununa ikame edilmiştir. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları ve bunlardan üretilen tarhana ve ekmekek örneklerinin bazı fiziksel, kimyasal, besinsel ve duyuşsal özellikleri araştırılmıştır.

Çimlendirilmiş yalancı tahıl unları, buğday unundan daha koyu ve kırmızı renkte bulunmuştur. Ultrason uygulaması yalancı tahıl unlarının L^* değerlerinin daha yüksek bulunmasına neden olmuştur. Çimlendirilmiş amarant unlarının ham kül, yağ ve protein açısından, çimlendirilmiş karabuğday unlarının ise dirençli nişasta ve toplam nişasta açısından diğer örneklerden üstün olduğu görülmüştür. Çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının fitik asit içerikleri buğday unundan önemli derecede yüksek bulunsada, ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonunun fitik asiti azaltıcı etkisi dikkat çekmiştir. Çimlendirilmiş karabuğday unlarının serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içerikleri ile serbest ve bağlı DPPH ve FRAP antioksidan aktivite değerlerinin oldukça yüksek bulunması, fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanım potansiyelini ortaya koymuştur. *L. plantarum* inokülasyonu, çimlendirilmiş unların FRAP değerleri üzerinde pozitif etki göstermiştir. Çimlendirilmiş amarant unları zengin Ca, Mn, Fe, Zn, Se, Na ve Mg içerikleriyle ön plana çıkmıştır. Farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri buğday unundan yüksek bulunurken, ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonunun hem mineral madde içeriklerini hem de minerallerin ekstrakte edilebilirliklerini artırdığı tespit edilmiştir. Buğday ununun kül ve nişasta sindirilebilirliğinin düşük bulunması, çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının besin maddelerinin alınmasına olan önemli katkısına işaret etmektedir. Ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonu, çimlendirilmiş unların sindirilebilirlik değerleri üzerinde de pozitif etki göstermiştir.

Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının tarhana ve ekmekek formülasyonunda kullanılması, daha koyu, kırmızı ve sarı renkli son ürünlerin üretilmesine neden olmuştur. Çimlendirilmiş yalancı tahıl

unu ikamesi tarhanaların su ve yağ absorpsiyon kapasitelerini artırırken, köpük kapasitesi ve köpük stabilitesinin azalmasına neden olmuştur. Çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesi, ekmeklerde ise ağırlık, sertlik, sakızimsılık ve çığnenebilirlik değerlerinde artış, hacim, elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerlerinde azalma görülmesine neden olmuştur. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesi, tarhana ve ekmek örneklerinin ham yağ, ham kül, ham protein, dirençli nişasta ve toplam nişasta içeriklerini zenginleştirmiştir. Ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonunun çimlendirilmiş unlardaki pozitif etkisi, tarhana ve ekmek örneklerinde son ürüne yansımamıştır. Serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içerikleri ile serbest ve bağlı DPPH ve FRAP antioksidan aktivite değerleri, tarhana ve ekmeklerdeki çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesiyle önemli derecede artmıştır. Benzer şekilde, son ürünlerin mineral madde içerikleri ve mineral maddelerin ekstrakte edilebilirlikleri de çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle oldukça gelişmiştir. Besinsel özelliklerin yanı sıra, sindirilebilirlik özellikleriyle ilişkili olarak, çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikameli örneklerin besin maddelerinin biyobulunabilirlik özellikleri de kontrol örneklerinden üstün bulunmuştur. Duyusal değerlendirmede, %10 oranında çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesine sahip tarhana örnekleri ve %30 ikame oranına sahip ekmek örnekleri daha fazla beğeni kazanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Amarant, çimlendirme, ekmek, karabuğday, *Lactobacillus plantarum*, tarhana, ultrason

ABSTRACT

Ph.D THESIS

THE USAGE OF GERMINATED AMARANTH (*AMARANTHUS SP.*) AND BUCKWHEAT (*FAGOPYRUM SP.*) SEEDS IN THE PRODUCTION OF BREAD AND TARHANA

Nezahat OLCAY

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY IN FOOD ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

2024, 310 Pages

Jury

Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Prof Dr. Nilgün ERTAŞ

Assoc. Prof. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL

Assoc. Prof. Dr. Durmuş SERT

Assoc. Prof. Dr. Elif YAVER

Pseudocereals, known for their rich nutritional profiles and gluten-free properties, have gained increasing popularity among consumers due to evolving dietary preferences. This trend has sparked greater interest within both the food industry and academic research, particularly in the development of innovative pseudocereal-based product formulations. The present study aimed to create new fermented cereal products with enhanced nutritional and functional qualities by incorporating pseudocereals such as buckwheat and amaranth. To achieve this, the seeds of buckwheat and amaranth were germinated using three distinct pretreatment methods (chemical disinfection (NaOCl), ultrasound treatment, and inoculation with *Lactobacillus plantarum*). Following germination, the seeds were dried, ground into flour, and then substituted for wheat flour in tarhana and bread formulations at varying levels (0, 10, 20 and 30%). The study examined various physical, chemical, nutritional, and sensory characteristics of both the germinated pseudocereal flours and the resultant tarhana and bread products.

The germinated pseudocereal flours were found to be darker and more reddish in color compared to wheat flour. Ultrasound treatment increased the lightness (L^*) values of the pseudocereal flours. Germinated amaranth flours exhibited higher levels of crude ash, fat, and protein than the other samples, while germinated buckwheat flours were superior in terms of resistant starch and total starch content. Although the phytic acid content of the germinated pseudocereal flours was significantly higher than that of wheat flour, ultrasound treatment and *L. plantarum* inoculation notably reduced the phytic acid levels. Additionally, the germinated buckwheat flours contained high amounts of free, bound, and total phenolic compounds, as well as enhanced antioxidant activity (DPPH and FRAP), indicating their potential as functional food ingredients. The *L. plantarum* inoculation also positively influenced the FRAP values of the germinated flours. Germinated amaranth flours stood out for their rich mineral content, particularly in Ca, Mn, Fe, Zn, Se, Na and Mg. The extractable mineral content of germinated buckwheat and amaranth flours was higher than that of wheat flour, and both ultrasound treatment and *L. plantarum* inoculation were found to increase both the mineral content and the mineral extractability. Wheat flour exhibited low ash and starch digestibility, highlighting the significant contribution of germinated pseudocereal flours to nutrient absorption. Ultrasound treatment and *L. plantarum* inoculation also positively affected the digestibility of the germinated flours.

The incorporation of germinated buckwheat and amaranth flours into tarhana and bread formulations resulted in products with darker, red, and yellow hues. The substitution of germinated pseudocereal flours increased the water and oil absorption capacities of tarhana, but it also decreased foam capacity and foam stability. In bread, pseudocereal flour substitution led to increases in weight, hardness, gumminess, and chewiness, while reducing volume, elasticity, cohesiveness, and flexibility. The substitution enriched the crude fat, ash, protein, resistant starch, and total starch contents of both tarhana and bread samples. However, the positive effects of ultrasound treatment and *L. plantarum* inoculation on the germinated flours were not reflected in the final products. Furthermore, the substitution of germinated pseudocereal flours significantly increased the free, bound, and total phenolic contents, as well as the DPPH and FRAP antioxidant activity in both tarhana and bread samples. Mineral content and mineral extractability were similarly enhanced in the final products. Beyond their nutritional benefits, the bioavailability of nutrients in the germinated pseudocereal flour-substituted samples was superior to that of the control samples, particularly with respect to digestibility. Sensory evaluation revealed that tarhana samples with 10% germinated buckwheat and amaranth flour substitution, and bread samples with 30% substitution, were the most favored by panelists.

Keywords: Amaranth, bread, buckwheat, germination, *Lactobacillus plantarum*, tarhana, ultrasound





Dayım Fatih Candan'a

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana her konuda yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR'e, doktora eğitimimde YÖK 100/2000 Doktora Projesi ile YÖK Doktora Bursu almamı sağlayan Yükseköğretim Kurulu'na, tez çalışmamı maddi olarak destekleyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (BAP, 221419007 nolu proje) ve aileme teşekkür ederim.

Nezahat OLCAY
KONYA-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Yalancı Tahıllarda Çimlendirme	4
2.2. Çimlendirmede Ultrason Teknolojisinin Kullanımı	15
2.3. Mikrobiyal İnokülasyon ile Çimlendirme.....	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1. Materyal	27
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Deneme deseni	27
3.2.2. Tohumların çimlendirilmesi	28
3.2.3. Tarhana üretimi	30
3.2.4. Ekmek üretimi.....	30
3.2.5. Laboratuvar analizleri	31
3.2.5.1. Analitik analizler	31
3.2.5.1.1. Renk analizi.....	31
3.2.5.1.2. Nem analizi	32
3.2.5.1.3. Ham kül analizi	32
3.2.5.1.4. Ham yağ analizi	32
3.2.5.1.5. Ham protein analizi	32
3.2.5.1.6. Nişasta analizi	32
3.2.5.1.7. Fitik asit analizi	33
3.2.5.1.8. Fenolik madde miktarı analizleri	33
3.2.5.1.9. Antioksidan aktivite analizleri	35
3.2.5.1.10. Mineral madde analizi.....	35
3.2.5.1.11. HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde analizi.....	35
3.2.5.1.12. Gastrik sindirilebilirlik analizi	36
3.2.5.1.13. Sindirilebilir kül analizi	36
3.2.5.1.14. Sindirilebilir nişasta analizi.....	36
3.2.5.2. Tarhana analizleri.....	36
3.2.5.2.1. Renk analizi.....	37
3.2.5.2.2. Fizikokimyasal özellik analizleri	37

3.2.5.2.3. Kimyasal analizler.....	38
3.2.5.2.4. Duyusal analiz.....	39
3.2.5.3. Ekmek analizleri	39
3.2.5.3.1. Renk analizi.....	39
3.2.5.3.2. Fiziksel analizler	39
3.2.5.3.3. Kimyasal analizler.....	40
3.2.5.3.4. Duyusal analiz.....	41
3.2.6. İstatistiki analiz	41
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	42
4.1. Hammadde Analiz Sonuçları	42
4.1.1. Renk değerleri.....	42
4.1.2. Kimyasal analiz sonuçları	44
4.1.3. Fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerine ait sonuçlar.....	52
4.1.4. Mineral madde içeriklerine ait analiz sonuçları.....	59
4.1.5. Sindirilebilirlik analizlerine ait sonuçlar.....	66
4.2. Tarhana Örneklerine Ait Analiz Sonuçları	71
4.2.1. Renk değerlerine ait sonuçlar	71
4.2.2. Fizikokimyasal özelliklere ait sonuçlar	76
4.2.3. Kimyasal analiz sonuçları	84
4.2.4. Fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerine ait analiz sonuçları	101
4.2.5. Mineral madde analiz sonuçları	118
4.2.6. Sindirilebilirlik analiz sonuçları.....	138
4.2.7. Duyusal analiz sonuçları	146
4.3. Ekmek Örneklerine Ait Analiz Sonuçları	151
4.3.1. Renk analizi sonuçları.....	151
4.3.2. Fiziksel analiz sonuçları.....	163
4.3.3. Tekstür analiz sonuçları	171
4.3.4. Kimyasal analiz sonuçları	191
4.3.5. Fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerine ait analiz sonuçları	205
4.3.6. Mineral madde analiz sonuçları	220
4.3.7. Sindirilebilirlik analiz sonuçları.....	238
4.3.8. Duyusal analiz sonuçları	244
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	249
5.1 Sonuçlar	249
5.2 Öneriler	259
6. KAYNAKLAR	261
EKLER	297

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Amarant tanesinin enine (A) ve boyuna (B) kesitinin ışık mikroskobundaki görüntüsü	5
Şekil 2.2. Karabuğday tanesinin enine kesitinin görünümü	5
Şekil 2.3. Çimlendirme ön işlemleri	16
Şekil 2.4. Kavitasyon oluşum mekanizması	18
Şekil 3.1. Sıcaklık kontrolü sağlanan beher içerisinde tohumlara ultrason uygulama işlemi	29
Şekil 4.1. Tarhana örneklerinin a^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	75
Şekil 4.2. Tarhana örneklerinin b^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	75
Şekil 4.3. Gıdalarda köpük ve emülsiyon oluşum mekanizması	77
Şekil 4.4. Tarhana örneklerinin yağ absorpsiyon kapasitesi üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonu	81
Şekil 4.5. Tarhana örneklerinin ham yağ içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları	90
Şekil 4.6. Tarhana örneklerinin toplam nişasta değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları	91
Şekil 4.7. Tarhana örneklerinin fitik asit içerikleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonu	92
Şekil 4.8. Tarhana örneklerinin ham kül içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x oran” interaksiyonları	94
Şekil 4.9. Tarhana örneklerinin ham protein içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x oran” interaksiyonları	95
Şekil 4.10. Tarhana örneklerinin dirençli nişasta içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	98
Şekil 4.11. Fenolik bileşiklerde fermantasyonla meydana gelen değişimler	102
Şekil 4.12. Tarhana örneklerinin serbest fenolik madde miktarları üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	108
Şekil 4.13. Tarhana örneklerinin toplam fenolik madde miktarları üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	108
Şekil 4.14. Tarhana örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları	113
Şekil 4.15. Tarhana örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	117
Şekil 4.16. Tarhana örneklerinin Ca ve Zn içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	126
Şekil 4.17. Tarhana örneklerinin Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	127
Şekil 4.18. Tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Ca, Mn ve Cu içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	136
Şekil 4.19. Tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Zn, Na, Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	137
Şekil 4.20. Tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları	141
Şekil 4.21. Tarhana örneklerinin GS değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	144

Şekil 4.22. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin duyusal analiz sonuçları.....	147
Şekil 4.23. Çimlendirilmiş amarant unu ikameli tarhana örneklerinin duyusal analiz sonuçları.....	148
Şekil 4.24. Ekmek örneklerinin kabuk a^* ve b^* ile iç dokularının b^* renk değerleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonu	156
Şekil 4.25. Ekmek örneklerinin kabuk a^* ve b^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” interaksiyonu.....	159
Şekil 4.26. Ekmek örneklerinin kabuk ve iç b^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” interaksiyonu.....	160
Şekil 4.27. Ekmek örneklerinin iç dokularının L^* ve a^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonları	162
Şekil 4.28. Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonu.....	166
Şekil 4.29. Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” interaksiyonu.....	168
Şekil 4.30. Ekmek örneklerinin hacim değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu.....	170
Şekil 4.31. Ekmek örneklerinin spesifik hacim değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu.....	170
Şekil 4.32. Ekmek örneklerinin 1. gün koheziflik değerleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonu.....	177
Şekil 4.33. Ekmek örneklerinin 1. gün koheziflik değerleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” interaksiyonu	179
Şekil 4.34. Ekmek örneklerinin 1. gündeki bazı taktürel özellikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	182
Şekil 4.35. Ekmek örneklerinin 3. gün elastikiyet ve esneklik değerleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonu	188
Şekil 4.36. Ekmek örneklerinin 3. gündeki bazı taktürel özellikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	190
Şekil 4.37. Ekmek örneklerinin kül ve ham yağ içerikleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonları	198
Şekil 4.38. Ekmek örneklerinin kül ve ham yağ içerikleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonları	198
Şekil 4.39. Ekmek örneklerinin dirençli nişasta ve fitik asit içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	202
Şekil 4.40. Ekmek örneklerinin serbest ve bağlı fenolik madde içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	211
Şekil 4.41. Ekmek örneklerinin bazı antioksidan değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	219
Şekil 4.42. Ekmek örneklerinin Ca, Mn, Fe ve Zn içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	228
Şekil 4.43. Ekmek örneklerinin Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	229
Şekil 4.44. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Ca içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları	234
Şekil 4.45. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Fe içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” ve “çeşit x oran” interaksiyonları.....	235
Şekil 4.46. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Zn içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu	236

Şekil 4.47. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Na, Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu	237
Şekil 4.48. Ekmek örneklerinin GS ve KSO değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu	242
Şekil 4.49. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmek örneklerinin duyusal analiz sonuçları.....	245
Şekil 4.50. Çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmek örneklerinin duyusal analiz sonuçları.....	246



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı yalancı tahılların ve hububatların besinsel bileşiminin karşılaştırması	6
Çizelge 2.2. Ham ve çimlendirilmiş karabuğdayın bazı kimyasal özellikleri	8
Çizelge 2.3. Çimlendirilmiş karabuğday ununun kimyasal kompozisyonu	9
Çizelge 2.4. Amaran ve amarant filizinin kimyasal kompozisyonu	11
Çizelge 2.5. Ham ve çimlendirilmiş amarant ununun bazı kimyasal özellikleri	12
Çizelge 2.6. Ham çimlendirilmiş amarant örneklerine ait bazı özellikler	13
Çizelge 2.7. Amaran tohum ve filiz örneklerine ait bazı biyoaktif özellikler	14
Çizelge 2.8. Karabuğday ve karabuğday filizlerinin bazı lipit özellikleri	23
Çizelge 2.9. Baklagil filizlerine ait bazı besinsel özellikler	24
Çizelge 2.10. Probiyotikçe zengin soya fasulyesi filizlerindeki potansiyel biyoerişilebilir antioksidanlara ait sonuçlar	25
Çizelge 3.1. Tarhana ve ekmek üretim deneme deseni	28
Çizelge 4.1. Hammaddelerin renk değerlerine ait analiz sonuçları	42
Çizelge 4.2. Hammaddelerin bazı kimyasal analiz sonuçları	46
Çizelge 4.3. Hammaddelerin fenolik madde içerikleri ve antioksidan aktivitelerine ait analiz sonuçları	54
Çizelge 4.4. Hammaddelerin mineral madde analiz sonuçları	61
Çizelge 4.5. Hammaddelere ait ekstrakte edilebilir mineral madde analiz sonuçları	64
Çizelge 4.6. Hammaddelerin sindirilebilirlik değerlerine ait analiz sonuçları	67
Çizelge 4.7. Tarhana örneklerinin renk ölçümlerine ait sonuçlar	71
Çizelge 4.8. Tarhana örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları	72
Çizelge 4.9. Tarhana örneklerinin renk değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	72
Çizelge 4.10. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal analizlerine ait sonuçlar	78
Çizelge 4.11. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları	79
Çizelge 4.12. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	79
Çizelge 4.13. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait sonuçlar	86
Çizelge 4.14. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları	87
Çizelge 4.15. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları	87
Çizelge 4.16. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	88
Çizelge 4.17. Literatürde kontrol tarhana örneğine ait bildirilen bazı kimyasal analiz sonuçları	101
Çizelge 4.18. Tarhana örneklerinin fenolik madde analizlerine ait sonuçlar	103
Çizelge 4.19. Tarhana örneklerinin fenolik içerik analizlerine ait varyans analizi sonuçları	104
Çizelge 4.20. Tarhana örneklerinin fenolik içerik analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	105
Çizelge 4.21. Tarhana örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait sonuçlar	110
Çizelge 4.22. Tarhana örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait varyans analizi sonuçları	111
Çizelge 4.23. Tarhana örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	112
Çizelge 4.24. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait sonuçlar	120
Çizelge 4.25. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları	122

Çizelge 4.26. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	122
Çizelge 4.27. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	123
Çizelge 4.28. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait sonuçları.....	129
Çizelge 4.29. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerine ait varyans analizi sonuçları.....	131
Çizelge 4.30. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerine ait varyans analizi sonuçları.....	131
Çizelge 4.31. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	132
Çizelge 4.32. Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik analizlerine ait sonuçlar	139
Çizelge 4.33. Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	140
Çizelge 4.34. Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	140
Çizelge 4.35. Ekmek örneklerinin renk analizi sonuçları.....	152
Çizelge 4.36. Ekmek örneklerinin kabuk kısmının renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	153
Çizelge 4.37. Ekmek örneklerinin iç dokularının renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	153
Çizelge 4.38. Ekmek örneklerinin renk değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	155
Çizelge 4.39. Ekmek örneklerinin fiziksel analiz sonuçları	164
Çizelge 4.40. Ekmek örneklerinin fiziksel analizlerine ait varyans analizi sonuçları..	165
Çizelge 4.41. Ekmek örneklerinin fiziksel analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	165
Çizelge 4.42. Ekmek örneklerinin 1. gündeki tekstür profil analizi (TPA) sonuçları..	173
Çizelge 4.43. Ekmek örneklerinin 1. gündeki TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	174
Çizelge 4.44. Ekmek örneklerinin 1. gündeki TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	174
Çizelge 4.45. Ekmek örneklerinin 1. gündeki tekstür profil özelliklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	175
Çizelge 4.46. Ekmek örneklerinin 3. gün tekstür profili analizi sonuçları.....	184
Çizelge 4.47. Ekmek örneklerinin 3. gün TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları	186
Çizelge 4.48. Ekmek örneklerinin 3. gün TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları	186
Çizelge 4.49. Ekmek örneklerinin 3. gün tekstür profil değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	187
Çizelge 4.50. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait sonuçlar	192
Çizelge 4.51. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları	194
Çizelge 4.52. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları	194
Çizelge 4.53. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	195
Çizelge 4.54. Ekmek örneklerinin fenolik madde analizlerine ait sonuçlar.....	207

Çizelge 4.55. Ekmek örneklerinin fenolik madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	208
Çizelge 4.56. Ekmek örneklerinin fenolik madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	209
Çizelge 4.57. Ekmek örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait sonuçlar.....	213
Çizelge 4.58. Ekmek örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	215
Çizelge 4.59. Ekmek örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	216
Çizelge 4.60. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait sonuçlar	222
Çizelge 4.61. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	223
Çizelge 4.62. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	223
Çizelge 4.63. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	225
Çizelge 4.64. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait sonuçlar.....	230
Çizelge 4.65. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	232
Çizelge 4.66. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	232
Çizelge 4.67. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	233
Çizelge 4.68. Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik analizlerine ait sonuçlar	239
Çizelge 4.69. Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik analizlerine ait varyans analizi sonuçları.....	240
Çizelge 4.70. Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları	241

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a^*	: (+) kırmızı, (-) yeşil renk değeri
atm	: Atmosfer
B	: Bor
b^*	: (+) sarı, (-) mavi renk değeri
Ca	: Kalsiyum
cal	: Kalori
Cl	: Klor
cm^2	: Santimetre kare
cm^3	: Santimetre küp
Co	: Kobalt
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
CU	: Ceralpha Unit
CuSO ₄	: Bakır (II) sülfat
dk	: Dakika
F	: Flor
Fe	: Demir
Fe (II)-TPTZ	: Ferrik tripiridiltriazine
Fe (III)-TPTZ	: Ferrik tripiridiltriazin
g	: Gram
h	: Hacim
Hz	: Hertz
HCl	: Hidroklorik asit
HNO ₃	: Nitrik asit
H ₂ SO ₄	: Sülfirik asit
I	: İyot
IC ₅₀	: Half maximal inhibitory concentration (yarı maksimal inhibitör konsantrasyonu)
K	: Potasyum
kcal	: Kilokalori

kDa	: Kilodalton
kg	: Kilogram
kHz	: Kilohertz
L*	: (0) siyah-(100) beyaz
M	: Molar
Mg	: Miligram
Mg	: Magnezyum
MHz	: Megahertz
ml	: Mililitre
mmol	: Milimol
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
Na	: Sodyum
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
NaKC ₄ H ₄ O ₆	: Potasyum sodyum tartrat
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
NaOH	: Sodyum hidroksit
nm	: Nanometre
P	: Fosfor
rpm	: Revolutions per minute (dakikadaki devir sayısı)
S	: Kükürt
Se	:Selenyum
sn	: Saniye
W	: Watt
Zn	: Çinko
α	: Alfa
β	: Beta
γ	: Gama
°C	: Celsius
°K	: Kelvin
μg	: Mikrogram
μm	: Mikrometre
μmol	: Mikromol
%	: Yüzde

Kısaltmalar

AACC	: Amerikan Tahıl Kimyacıları Derneği
ABTS	: 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonic asit)
ACE	: Anjiyotensin dönüştürücü enzim aktivitesi
BFM	: Bağlı fenolik madde miktarı
CEP	: Hücre zarfı proteinazları
DN4	: Tip 4 enzime dirençli nişasta
DPPH	: 2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil
FODMAP	: Fermente olabilir oligosakkaritler disakkaritler, monosakkaritler, poliol
FRAP	: Demir iyonu indirgeyici antioksidan güç
GABA	: Gama-aminobutirik asit
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
GOPOD	: Glukoz oksidaz/peroksidaz reaktifi
GS	: Gastrik sindirilebilirlik değeri
IP	: İnositol fosfat
ICP-AES	: İndüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi
KSO	: Kül sindirilebilirlik oranı
MÖ	: Milattan önce
MRS	: De Man–Rogosa–Sharpe agar
MS	: Milattan sonra
ORAC	: Oksijen radikali emilim kapasitesi
PPO	: Polifenoloksidaz
TE	: Trolox eşdeğeri
TEAC	: Trolox eşdeğeri antioksidan kapasite
TPA	: Tesktür profil analizi
SFM	: Serbest fenolik madde miktarı
TFM	: Toplam fenolik madde miktarı

1. GİRİŞ

Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench), amarant (*Amaranthus caudatus*) ve kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) fiziksel yapıları, kimyasal bileşimleri ve gıdalarda kullanım olanaklarıyla tahıllara benzeyen antik tohum çeşitleridir. Tahıllar ile aynı familyada yer almayan bu tohumlar, yalancı tahıllar (pseudocereal) olarak bilinmektedir. Yalancı tahıllar, çift çenekli bitki yapıları ile tahıllardan ayrılırken, zengin nişasta içerikleriyle tahıllara benzerlik göstermektedir (Yaver ve Bilgiçli, 2020). Yalancı tahılların en dikkat çekici özelliği kimyasal yapılarında gluten ihtiva etmemeleridir (Graziano ve ark., 2022).

Karabuğday tarımının M.Ö. 6000’li yıllarda, Çin’in güney batısında başladığı düşünülmektedir. M.S. 3000’li yıllarda ticaret yollarıyla Avrupa’ya taşınan karabuğday, günümüzde başta Rusya ve Çin olmak üzere Asya, Avrupa ve Amerika’da üretilmektedir (Graziano ve ark., 2022; Zou ve ark., 2023). Karabuğday, sert iklimler ve marjinal arazilerde dahi yetişebilecek ekolojik uyum yeteneğine sahiptir (Huda ve ark., 2021). Erişte, kek, çay, sirke ve alkollü içecekler gibi birçok farklı gıda ürününde hali hazırda kullanılan karabuğdayın, geleneksel tıpta kullanımını da yaygındır. Bileşimindeki protein, polisakkarit, flavonoid gibi fitokimyasal maddeler sayesinde karabuğdayın; antioksidan, antidiyabetik, antikanser, anti-inflamatuar ve hipolipidemik gibi pek çok terapötik etkisi de bulunmaktadır (Zou ve ark., 2023).

Aztek ve Mayaların temel gıda bileşeni olarak sayılan amarant, Orta ve Güney Amerika’ya özgü bir bitkidir (Graziano ve ark., 2022). 16-17. yüzyıllarda diğer kıta ve ülkelerde de amarant tarımına başlanmış olup, çeşitli amarant türleri tahıl, sebze veya süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir (Baraniak ve Kania-Dobrowolska, 2022). Amarant bitkisinin yaprakları taze veya pişirilmiş sebze olarak, tohumları ise un halinde ekmek, kurabiye, makarna ve erişte gibi ürün formülasyonlarında kullanılarak tüketilmektedir. Amarant yapraklarının Afrika ülkelerinde tıbbi amaçlı kullanımına da rastlanmaktadır (Baraniak ve Kania-Dobrowolska, 2022; Schmidt ve ark., 2023). Protein içeriği %13 ile %18 arasında değişen amarant genel olarak, tahıllardan daha yüksek, baklagillerden daha düşük oranda protein ihtiva etmektedir. Ayrıca yüksek lif (%6.7), vitamin (A ve C) ve mineral madde (Ca, Fe ve P) içeriği ile amarant, önemli bir gıda maddesi olarak görülmektedir (Schmidt ve ark., 2023).

Amerikan Tahıl Kimyacıları Derneği (AACC) 2008 yılında çimlendirilmiş ya da filizlendirilmiş taneleri “kepek/kabuk, tohum/öz ve endosperm dahil olmak üzere tam

halde maltlanmış ya da filizlendirilmiş, filiz uzunluğu tohum uzunluğunu aşmayan ve besin değeri azalmayan tam taneler” olarak tanımlamıştır. Çimlendirilmiş taneler oligosakkarit, aminoasit, vitamin ve antioksidan maddeler açısından oldukça zengin gıdalardır. Tohumların besin değerinin artırılması ve sindirilebilirlik özelliklerinin geliştirilmesi açısından çimlendirme önemli bir biyoprosesdir (Ding ve Feng, 2019). Gıda piyasasında, filizlenmiş taneler veya bunlardan elde edilen unlarla üretilen fırın ürünleri, kahvaltılık gevrekler, atıştırmalıklar, makarnalar ve içecekler gibi birçok ürün yer almaktadır. Bu ürünler tüketiciler tarafından da daha doğal, besleyici ve sağlıklı olarak görüldüğünden, son yıllarda çimlendirilmiş gıda formülasyonlarına olan üretici ve tüketici ilgisi artış göstermektedir (Lemmens ve ark., 2019).

Ultrason teknolojisi, tohum metabolizmasını uyaran, tanede su ve oksijen alımını artıran, böylece tanelerin çimlenmesini hızlandırıcı ve artırıcı etki gösteren yeşil bir teknolojidir (Nogueira ve ark., 2024). Ultrasonik çimlendirmenin uygun fiyatlı, yüksek verimli ve çevre dostu olma gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Teknolojik faydaların yanı sıra, ultrasonik çimlendirmenin tanelerde besinsel gelişimi sağlama gibi avantajları da bulunmaktadır. Ultrasonun oluşturduğu stres, tanede fenolik asit metabolizmasını etkileyerek polifenoller gibi biyoaktif bileşiklerin üretimini artırmakta, bu da tanenin antioksidan özelliklerini geliştirmektedir (Wang ve ark., 2023).

Antik çağlardan beri beslenmenin bir parçası olan ve dünya çapında en çok tüketilen temel gıdalardan biri olan ekmek, günlük diyetin ayrılmaz bir parçasıdır. İnsan vücudunun temel enerji kaynağı olan ekmek; proteinler, kompleks karbonhidratlar, diyet lif, B vitamini ve mineraller açısından da önemli bir gıda maddesidir (Dong ve Karboune, 2021). Bir diğer fermente tahıl ürünü olan tarhana ise ülkemizdeki en önemli geleneksel gıdalardan birisidir. Farklı hammaddeler, üretim metotları ve tüketim şekilleri bulunan tarhana, genel olarak proteinler, karbonhidratlar, vitaminler ve mineraller açısından zengin bir gıdadır (Baslar ve ark., 2022). Ekmek ve tarhana gibi tahıl bazlı ürünler besin piramidinin tabanını oluşturmaktadır (Dong ve Karboune, 2021). Dolayısıyla bu ürünlerin zenginleştirilmesi günlük diyetle sağlanan besin alımını artırabilir. Gıda formülasyonlarının zenginleştirilmesindeki genel amaç, teşhis edilebilir hastalıkların önlenmesi stratejisinden düşük besin alımını artırmak ve yetersiz beslenmeyi önlemek stratejisine dönmüştür. Bu açıdan, ekmek ve tarhana gibi sıklıkla tüketilen gıda maddelerinin zenginleştirilmesi önem arz etmektedir (Kaim ve Goluch, 2023).

Bu tez çalışmasında ilk olarak, karabuğday ve amarant tohumları üç farklı ön işlem uygulanarak çimlendirilmiştir. Çimlendirmede tohumların sanitasyonunu sağlamak

amacıyla kimyasal dezenfektan (sodyum hipoklorit (NaOCl)) madde kullanımına alternatif olarak, ultrason uygulaması ve *Lactobacillus plantarum* inokülasyonu ön işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ön işlemlerin, çimlendirilmiş karabuğday ve amarantın besinsel özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant tohumlarının öğütülmesiyle elde edilen unlar, dört farklı oranda (%0, 10, 20 ve 30) tarhana ve ekmek formülasyonunda buğday ununa ikame edilmiştir. Elde edilen son ürünlerin fiziksel, kimyasal, besinsel ve duyuşsal özellikleri araştırılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

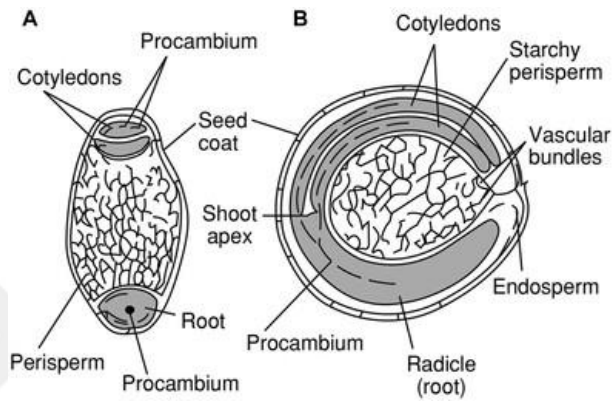
2.1. Yalancı Tahıllarda Çimlendirme

Tahılların besin değerinin artırılmasında uygun, güvenilir ve etkili bir metot olarak kullanılan çimlendirme, genel olarak tohumun su alması sonucu gerçekleşen enzimatik ve katabolik metabolizma faaliyetleri ile kökün tohumdan çıkması olarak tanımlanmaktadır. Çimlendirme tahıl ve baklagillerde yalnızca besin öğelerinin zenginleştirilmesi amacıyla değil, aynı zamanda antibesinsel maddelerin azaltılması amacıyla da uygulanmaktadır (Kahve ve Bayrak, 2023). Çimlendirme koşulları her bitki ve tohum için cins, tür ve familya gibi farklılıklara bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden; nem, sıcaklık, ışık ve besin maddesi gibi çimlendirme koşullarının standardize edilmesi oldukça zordur (Kılınçer ve Demir, 2019). Çimlendirme sırasında tohumlarda, glikozitlere bağlı ya da esterleşmiş olarak bulunan biyoaktif özellikteki ikincil metabolitler açığa çıktığı için çimlendirilmiş taneler fonksiyonel gıdalar olarak kabul edilmektedir (Francis ve ark., 2022; Kahve ve Bayrak, 2023). Dünya genelinde en fazla çimlendirilerek tüketilen gıdalar; buğday, yulaf, arpa, karabuğday, lüpen, çeltik, soya, nohut, bezelye, fasulye, yonca ve brokoli olarak sayılabilir (Yetim ve ark., 2010; Kılınçer ve Demir, 2019).

Dünya nüfusunun 2030 yılına kadar 3 kat ve 2050 yılında 9.8 milyar artması beklenmektedir. Giderek artan şehirleşme, tarım arazileri üzerinde bir tehdit oluşturmaktadır. İnsanlar için 2050'de ortalama günlük kalori ihtiyacının 3000 kcal'ye yükselmesi ön görülmektedir. Bütün bu beklentilerin ise gelecekte gıda güvenesi açısından global ölçekte çeşitli zorluklar oluşturacağı düşünülmektedir. Geçmişten günümüze kadar gıda güvenesi; pirinç, buğday ve mısır gibi başlıca tüketilen tahıl ürünleri ile yakından ilişkili olsa da bu temel gıda ürünlerinin temel mikro besin öğeleri bakımından fakir olduğu bilinmektedir (Langyan ve ark., 2023).

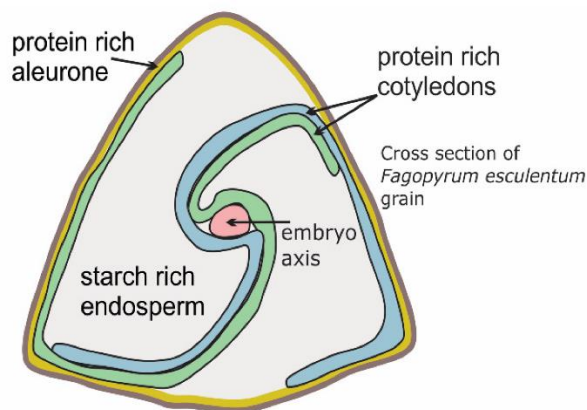
Buğday, pirinç ve arpa gibi tahıllar monokotiledon yapıdadır. Bunların aksine, amarant, kinoa ve karabuğday dikotiledon yapıda bitkiler olup, botanikte “yalancı tahıllar” olarak bilinmektedir. Bu tanelerin fonksiyonları ve bileşimleri gerçek tahıllara benzediği için yalancı tahıl olarak isimlendirilmiştir (Martínez-Villaluenga ve ark., 2020). Yalancı tahıllardan karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) Polygonaceae familyasına, kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Chenopodiaceae familyasına ve amarant (*Amaranthus* L. spp.) ise Amaranthaceae familyasına aittir (Paucar-Menacho ve ark.,

2022). Amaranth ve kinoa tanelerindeki dairesel şekilli embriyo veya ruşeym, nişastaca zengin perispermı çevrelemekte ve tohum kabuğu ile birlikte yağ ve protein açısından nispeten daha zengin olan kepek fraksiyonunu oluşturmaktadır (Taylor ve Parker, 2002; Bressani, 2003; Alvarez-Jubete ve ark., 2010a). Amaranth ve kinoaadaki kepek fraksiyonunun (tohum kabuğu ve embriyo) oranı, mısır ve buğday gibi tahıllara kıyasla daha yüksek olduğundan, protein ve yağ içerikleri de daha fazladır (Bressani, 2003; Alvarez-Jubete ve ark., 2010a).



Şekil 2.1. Amaranth tanesinin enine (A) ve boyuna (B) kesitinin ışık mikroskobundaki görüntüsü (Montoya-Rodríguez ve ark., 2015)

Karabuğday tohumlarında ise nişasta endospermde depolanmakta ve iki kotiledonlu embriyo, nişastalı endosperm boyunca uzanmaktadır (Mazza ve Oomah, 2003; Alvarez-Jubete ve ark., 2010a).



Şekil 2.2. Karabuğday tanesinin enine kesitinin görünümü (Luthar ve ark., 2020)

Yalancı tahıllar; yüksek kaliteli protein, karbonhidrat, lipit, vitamin, mineral ve lifçe zengin gıdalar olup, bileşimlerindeki fenolik asitler, flavonoidler saponinler gibi

biyoaktif bileşikler ile de kardiyovasküler hastalıklar, kanser, diyabet ve yüksek tansiyon gibi birçok hastalığa karşı da sağlığı geliştirici, yararlı etkilere sahiptir (Langyan ve ark., 2023). Yalancı tahılların en önemli özelliği ise yüksek kaliteli protein içeriklerine karşın gluten içermemeleridir. Yalancı tahıllardan amarant yüksek lif, kalsiyum, demir, magnezyum ve çinko içeriği ile dikkat çekerken, karabuğday ise lif, tiamin, riboflavin ve niasin açısından zengin bir kaynak olarak görülmektedir (Omary ve ark., 2012). Çizelge 2.1’de karabuğday ve amarantın besinsel bileşimi, gıda güvencesi açısından önem arz eden bazı hububatların besinsel bileşimi ile karşılaştırılmaktadır (Langyan ve ark., 2023).

Çizelge 2.1. Bazı yalancı tahılların ve hububatların besinsel bileşiminin karşılaştırması (Langyan ve ark., 2023)

Örnek	Karbonhidrat (%)	Toplam diyet lif (%)	Ham protein (%)	Yağ (%)	Enerji (kcal/100 g)
Karabuğday	63.1-82.1	17.8	5.7-14.2	0.7-7.4	346
Amarant	63.1-70.0	2.7-17.3	13.1-21.5	5.6-10.9	333
Buğday	74.6	3	12	1.7	309
Pirinç	79.08	0.5	6.94	1.3	353
Mısır	80.8	4.3	6.2	1.74	338

Gıdaların işlenmesinde kullanılan geleneksel yöntemler, işlenecek ürünün biyoaktif bileşik içeriği, biyoyararlılığı ve biyolojik aktivitesi üzerinde olumsuz etkiye neden olabilecek mekanik, kimyasal ve fiziksel etkilere sahip olduğundan işlenen gıdanın sağlığa yararını azaltabilmektedir (Martínez-Villaluenga ve Peñas, 2023). Yalancı tahıllar, zengin besinsel bileşimleri ve özellikle yüksek protein, mineral, ve aminoasit içerikleri ile ön plana çıkan gıda maddeleri olmalarına karşın, literatürde ilgili alandaki gıda araştırmaları ve proses uygulamaları konusundaki sınırlı bilgi ve teknolojiler nedeniyle, yalancı tahılların ticarileştirilmeleri ve tüketimleri halen yaygın değildir (Langyan ve ark., 2023). Dolayısıyla hem işlenen gıdanın besinsel ve fonksiyonel özelliklerini koruyup geliştirecek, yenilikçi, çevre dostu ve sürdürülebilir bir gıda proses teknolojisi geliştirmek hem de geliştirilen bu prosesin yalancı tahıllara uygulanabilirliğini sağlayarak literatürdeki ve endüstrideki eksiği kapatacak yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Çimlenme, fermantasyon ve enzimatik hidroliz gibi teknolojiler, bütün bu amaçlara ulaşmak için son yıllarda kullanılan en umut verici teknolojiler arasında görülmektedir (Martínez-Villaluenga ve Peñas, 2023).

Hububat ve yalancı tahılların besin kalitesinin artırılmasında basit, ucuz ve etkili bir yöntem olarak görülen çimlendirme, bitkilerde matrisine bağlı fitokimyasal bileşiklerin

hidrolizini destekleyen ve yeni biyoaktif bileşiklerin oluşumunu sağlayan fizyolojik bir süreçtir (Paucar-Menacho ve ark., 2022; Martínez-Villaluenga ve ark., 2023). Çimlenme için gerek adımlar;

- Çimlendirilecek tanelerin sanitasyonu,
- Tohum embriyosunun metabolik aktivitesini sürdürmesi için gerekli olan suda bekletme işlemi,
- Endojen enzimlerin sentezinin ve salınımının verimli bir şekilde gerçekleştiği kontrollü sıcaklık, bağıl nem ve aydınlık/karanlık koşullarda çimlenmeye bırakma olarak sıralanabilir (Paucar-Menacho ve ark., 2022).

Hububatlardaki biyoaktif bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin ve birikiminin artırılmasında çekici bir teknolojik strateji olarak görülen çimlendirmede, besin değerini artırıcı etkinin, embriyo gelişimini ve solunumu sağlamak için tohumda depolanan besinlerin endojen enzimler tarafından teşvik edilen hidroliz ile parçalanması olduğu bildirilmiştir (Paucar-Menacho ve ark., 2022; Martínez-Villaluenga ve ark., 2023).

Çimlendirme ile tanede meydana gelen besinsel bileşiklerin miktar, sindirilebilirlik ve biyoyararlılığındaki artış, antibesinsel bileşiklerin miktarında ise meydana gelen azalma nedeniyle, çimlendirilmiş taneler üstün gıdalar olarak görülmektedir (Omary ve ark., 2012). Genel olarak çimlenmeyle; tanelerin protein, lif, mineral, toplam fenolik madde, toplam çözünebilir şeker, indirgen şeker ve zedelenmiş nişasta içerikleri, biyoaktif özellikleri, amilaz aktivitesi ve sentezi artış göstermekte, fitik asit ve tanenler gibi antibesinsel bileşik miktarları, yağ ve nişasta içerikleri ise azalma göstermektedir. Ayrıca fitik asit gibi minerallerle şelat oluşturan bileşiklerde parçalanma meydana geldiği için mineral maddelerin biyoyararlılığında da bir artış görülmektedir (Omary ve ark., 2012; Agregán ve ark., 2023). Benzer şekilde, çimlenmeyle fitik asit ve polifenollerin parçalanması sonucu protein çözünürlüğü de artmaktadır (Langyan ve ark., 2023). Kimyasal özelliklerdeki bu değişimlere karşın, literatürde bazı aksi sonuçlar da bildirilmiştir. Bu farklılığın sebebinin ise çalışmalardaki çimlendirme süresi, sıcaklığı ve çimlenen ürünün kurutulmasında kullanılan yöntemlerdeki farklılık olduğu belirtilmiştir (Omary ve ark., 2012).

Donkor ve ark. (2012)'nin ham ve çimlendirilmiş karabuğdayın bazı kimyasal özelliklerini incelemiş oldukları çalışmanın sonuçları Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. Ham ve çimlendirilmiş karabuğdayın bazı kimyasal özellikleri (Donkor ve ark., 2012)

Birim	Bileşen	Ham	Çimlendirilmiş
g/100 g	Kül	1.89	1.91
	Protein	12.88	16.93
	Yağ	4.10	1.93
	Nişasta	46.88	62.60
µg/ml	Gallik asit	0.73	-
	Epigallokateşin	14.04	1.41
	Kateşin	26.80	13.53
	Epikateşin	38.30	9.45
	Epigallokateşingallat	4.03	3.08
	p-kumarik asit	13.39	6.63
	Ferulik asit	29.34	4.45
	Luteolin	17.35	3.96
g/100 g	IP ¹ 4	0.63	0.61
	IP5	-	0.05
	IP6	0.04	-

¹IP: İnositol fosfat içerikleri

Bu çalışmada ham karabuğdayın antioksidan aktivitesinin yüksek olduğu, karabuğdayın çimlendirilmesi ile bu aktivitenin %50 oranında arttığı bildirilmiştir. Örneklerin arabinoksilan ve aminoasit içerikleri de çimlenmeyle artış göstermiştir (Donkor ve ark., 2012).

Tanwar ve ark. (2019) çimlendirilmiş karabuğdayunun özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, çimlendirme ile örneklerin yığın yoğunluğunda %15.66 oranında bir azalma görüldüğünü bildirmişlerdir. Çimlendirilmiş karabuğdayunun emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon kapasitesinde sırasıyla %62.79 ve %24.52 oranında bir azalma tespit edilmiştir. Örneklerin yağ absorpsiyon kapasitesinde, şişme gücünde ve su absorpsiyon kapasitesinde ise önemli bir artış görülmüştür. Şişme gücü ile su absorpsiyon kapasitesindeki artışın sırasıyla %48.07 ve %25.78 oranlarında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen verilere göre, ham ve çimlendirilmiş karabuğdayunu örneklerinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.3'te özetlenmiştir. Ayrıca çimlendirme ile karabuğdayunun toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesinde de önemli bir artış görüldüğü bildirilmiştir. Toplam fenolik madde miktarındaki artışın %26.12 oranında olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çimlendirilmiş karabuğdayunun tahıl bazlı beslenmede görülen eksikliklerin giderilmesinde kullanılabilecek bir bileşen olduğuna ve hem ekonomik hem de besinsel açıdan üstün özelliklere sahip ürünlerin üretiminde kullanılabileceğine dikkat çekilmiştir.

Çizelge 2.3. Çimlendirilmiş karabuğday ununun kimyasal kompozisyonu (Tanwar ve ark., 2019)

Bileşen (%)	Ham	Çimlendirilmiş
Kül	2.33	1.8
Karbonhidrat	68.39	62.84
Yağ	1.67	1.33
Lif	8.23	7.87
Nem	12.66	14.66
Protein	11	11.5

Morita ve ark. (2013) bir çalışmalarında, karabuğdayın 5 farklı fraksiyonunun besinsel içeriğini ve çimlendirmenin karabuğdayın besinsel özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonunda, tanenin içinden dışına doğru gidildikçe protein, yağ ve kül içeriklerinin arttığı, nem içeriğinin ise azaldığı tespit edilmiştir. İç fraksiyonların daha az Ca içerdiği, tüm fraksiyonların ise K, Mg ve P açısından oldukça zengin olduğu tespit edilmiştir. 24 saat çimlendirmenin karabuğdayın fitik asit içeriği üzerine önemli bir etkisi bulunmazken, aminoasit içeriğini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. 24 saat inkübasyon ile karabuğdayın gama-aminobutirik asit (GABA) içeriğinin 2.5 kat arttığı tespit edilmiştir. Karabuğdayın α -amilaz ve proteaz aktivitelerinin çimlenme sürecinde buğdaydan daha aktif olduğu görülmüştür. Bu çalışmada karabuğdayın lizin ve triptofan aminoasitlerince oldukça zengin olduğu bilgisinden yola çıkılarak, alerjen protein içeriğinin düşürülmesi amacıyla karabuğdaya çimlendirme işlemi uygulanmıştır. Çimlendirme işleminin, düşük alerjen içeren ya da hiç alerjen içermeyen karabuğday ürünleri eldesinde efektif, uygun ve faydalı bir proses olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda çimlendirme işleminin, karabuğdayda GABA, mineraller, aminoasitler ve diğer besin bileşiklerinin içeriklerini artırdığı, alerjenik özelliklerini azalttığı, kullanılacak ürünlerde daha iyi tat sağladığı ve böylece karabuğdaya besinsel açıdan değer katarak daha sağlıklı yeni bir gıda alternatifi oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Caterina ve Camelia (2012) bir çalışmalarında, 50.26 mg/100 g fenolik bileşik içeriğine sahip karabuğday tanelerinde 7 gün çimlendirme ile fenolik bileşik içeriğinin 298.03 mg/100 g'a yükseldiğini tespit etmişlerdir. Fenolik bileşik içeriğindeki artışı, hidrolitik enzim aktivitesindeki artışa bağlı olarak, hücre duvarının parçalanması ve serbest formun açığa çıkması ile açıklamışlardır. Flavonoid içeriğindeki değişimin rutin ve kuersetin olarak ifade edildiği bu çalışmada, çimlendirme ile rutin içeriğinin 13.66 mg/100 g'dan 283.43 mg/100 g'a, kuersetin içeriğinin ise 4.77 mg/100 g'dan 223.76 mg/100 g'a yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca suda çözünür askorbik asit içermeyen

karabuğday tanelerinde, çimlendirme ile askorbik asit içeriğinin doğrusal bir şekilde arttığı ve çimlendirmenin 7. gününde örneklerin en yüksek (1.09 mg/100 g) askorbik asit içeriğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, çimlendirilmiş karabuğday ununun fonksiyonel gıda üretiminde kullanılabilir bir bileşen olduğu sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir.

Hung ve ark. (2021) farklı çimlendirme sürelerinin karabuğdayın kimyasal kompozisyonu, enzim aktivitesi ve biyoaktif bileşenleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışmada, çimlendirme süresi uzadıkça örneklerdeki protein ve yağ içeriklerinin arttığını, kül ve karbonhidrat içeriklerinin ise azaldığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada en yüksek protein (%15.76) ve yağ (%4.19) içeriğine 48 saat çimlendirmenin ardından ulaşıldığı görülmüştür. Örneklerin indirgen şeker içeriğinin çimlendirme prosesinin ilk 16 saatinde değişmediği, fakat 24-48 saat arasındaki çimlendirme ile indirgen şeker içeriğinin önemli derecede arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca çimlendirme ile esansiyel aminoasit içeriğinde de önemli bir artış gözlenmiş, tahıllarda sınırlayıcı aminoasitler olan lizin, histidin ve metiyonin içeriklerinin de esansiyel aminoasitlere benzer şekilde çimlendirme ile %11.72'den %15.64'e arttığı görülmüştür. Bunun yanı sıra ürünlerin acılığında sorumlu olan lösin ve arginin miktarının da çimlendirmeyle azaldığı gözlenmiştir. Çimlendirilmiş karabuğday örneklerindeki başlıca yağ asitlerinin palmitik, oleik ve linoleik asit olduğu, çimlendirmeyle doymamış yağ asitlerinin miktarı değişmezken, doymuş yağ asitlerinin içeriğinin azaldığı bildirilmiştir. Çimlendirme ile diastatik ve α -amilaz enzim aktivitelerinin de beklenildiği üzere artış gösterdiği, aktivite artışının çimlendirmenin 8. saatinde başladığı ve en fazla aktivitenin 48 saat çimlendirme ile elde edildiği bildirilmiştir. Proteaz aktivitesi ise çimlendirmenin 16. saatinde artmaya başlamış ve 48. saatte maksimum değere ulaşmıştır. Serbest fenolik ekstraktlarındaki fenolik asit ve flavonoid miktarları bağlı ekstratlardan yüksek bulunurken, hem serbest hem bağlı fraksiyonların toplam fenolik ve flavonoid içerikleri çimlendirme ile artmıştır. Karabuğday örneklerindeki ana fenolik bileşikler olarak tespit edilen rutin ve kuersetin için, çimlendirme ile sırasıyla artan ve azalan bir eğilim gözlenmiştir. Tüm bu sonuçlar doğrultusunda, çimlendirilmiş karabuğdayın fonksiyonel gıda üretiminde kullanılacak sağlıklı bir gıda bileşeni olduğu bildirilmiştir.

Krahl ve ark. (2008) karabuğdayda çimlendirme prosesinin optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmalarında, çimlendirme ile karabuğdayda rutin, viteksin ve orientin içeriklerinin artırılmasını hedeflemişlerdir. Bu üç flavonoidin karabuğday örneklerindeki son konsantrasyonları üzerinde hem çimlendirme sıcaklığının hem de

süresinin etkisinin bulunduğu, en etkili parametrenin ise çimlendirme sıcaklığı olduğu görülmüştür. 24°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda küflenme görülmüştür. Optimize edilen çimlendirme koşullarının 22°C sıcaklık ve 7 gün çimlendirme süresi olduğu bildirilmiştir. Bu koşullarda çimlendirilen karabuğday örneklerinin nem içeriğinin %61 olduğu, rutin içeriğinin 13.8 mg/100 g'dan 105 mg/100 g'a yükseldiği bulunmuştur. Ham karabuğday tanelerinde viteksin ve orientin flavonoidlerinin bulunmadığı, optimize edilen koşullarda çimlendirilen örneklerde ise orientin içeriğinin 87 g/100 g ve viteksin içeriğinin ise 96 mg/100 g olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çimlendirmenin karabuğday örneklerini fonksiyonel özellikteki flavonoidlerce zenginleştirmede kullanılacak efektif bir yöntem olduğu bildirilmiştir.

Ispiryan ve ark. (2021) karabuğdayda çimlendirme ile fermente olabilir oligosakkaritler disakkaritler, monosakkaritler ve poliol (FODMAP) içeriğindeki değişimleri araştırdıkları bir çalışmada, ham karabuğdayın nem, α -amilaz ve β -amilaz içeriklerini sırasıyla; %13.90, 0.05 CU/g ve 0.12 U/g olarak tespit etmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada çimlenmiş karabuğdayın nem, α -amilaz ve β -amilaz içerikleri ise sırasıyla; %7.45, 33.75 CU/g ve 0.50 U/g olarak bulunmuştur. Ham ve çimlenmiş karabuğdaydaki glikoz içerikleri ise sırasıyla 0.09 ve 1.84 g/100 g, fruktoz içerikleri sırasıyla, 0.04 ve 0.08 g/100 g, sorbitol içerikleri ise sırasıyla 0.03 ve 0.08 g/100 g olarak tespit edilmiştir. Karabuğdaydaki çözünür, sindirilemeyen ve fermente olabilen karbonhidratların çimlendirme işlemi sırasında azaldığı, dolayısıyla karabuğday maltının düşük FODMAP içeriği ile sağlıklı bir gıda bileşeni olduğu bildirilmiştir.

Aphalo ve ark. (2015) amarant filizi üzerine yaptıkları bir çalışmada, amarant örneklerinin kimyasal içeriğini Çizelge 2.4'te belirtildiği üzere tespit etmişlerdir. Amarant filizi örneklerinin nem ve lif içerikleri amarant tanelerinden oldukça yüksek bulunmuştur. Yağ ve karbonhidrat içeriğindeki düşüşlerin muhtemel sebebinin, bu bileşiklerin çimlenme sırasında enerji kaynağı olarak kullanılması olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.4. Amarant ve amarant filizinin kimyasal kompozisyonu (Aphalo ve ark., 2015)

Bileşik (% , yaş ağırlık)	Amarant filizi	Amarant tanesi
Nem	70.69	8.1
Kül	1.04	3.3
Protein	4.68	15
Lif	4.89	-
Yağ	-	5.75
Karbonhidrat	-	63

Argüelles-López ve ark. (2018) yapmış oldukları bir çalışmalarında; çimlendirilmiş amarant ununun bazı özellikleri incelemiştir. Bu araştırmanın sonuçları da Çizelge 2.5'te özetlenmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre; amarant tanelerinde çimlendirme ile protein içeriğinde artış (%28.8) görülürken, yağ içeriğinde azalma (%28.5) gözlenmiştir. Benzer şekilde çimlenmiş örneklerin esansiyel aminoasit içeriklerinde de %6.7 ile %57.9 oranında artış görülürken, çimlenmiş örneklerde sınırlayıcı aminoasitlere rastlanmamıştır. Ayrıca çimlendirmenin amarant ununda protein sindirilebilirliğini %11.7 oranında, protein verimliliğini ise %57 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Çimlendirme ile örneklerin antioksidan aktivitesi ve fenolik madde içeriklerinde de artış gözlenmiştir. Tüm bu artışlara paralel şekilde örneklerin daha iyi antihipertansif etki gösterdiği bildirilmiştir. Bu çalışmanın sonunda, çimlendirilmiş amarant ununun fonksiyonel gıda üretiminde kullanılabilecek potansiyele sahip bir bileşen olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 2.5. Ham ve çimlendirilmiş amarant ununun bazı kimyasal özellikleri (Argüelles-López ve ark., 2018)

Özellik	Bileşik	Ham amarant unu	Çimlendirilmiş amarant unu
Kimyasal özellikler (%, kuru maddede)	Protein	14.22	18.31
	Yağ	7.50	5.36
	Çözünür lif	4.69	3.55
	Çözünmeyen lif	9.74	20.31
	Toplam lif	14.43	23.86
Aminoasit bileşimi (g/100 g protein)	Histidin	1.96	2.62
	İzolösin	3.81	4.40
	Lösin	6.96	6.98
	Lisin	7.39	7.47
	Metiyonin+sistein	5.28	6.54
	Metiyonin+tirozin	9.94	9.03
	Treonin	4.55	4.91
	Triptofan	0.59	1.13
Antioksidan aktivite (μ m TE/100 g, kuru maddede)	Serbest fitokimyasal	2.134	11.089
	Bağlı fitokimyasal	2.768	10.132
	Toplam	4.902	21.221
Fenolik madde içeriği (mg GAE/100 g, kuru maddede)	Serbet fenolik	11.94	146.0
	Bağlı fenolik	16.11	101.6
	Toplam	28.05	247.6

Guardianelli ve ark. (2019a)'nın yapmış oldukları bir çalışmada, çimlendirilmiş amarant tanelerinin %50.4 nişasta, %14.6 protein, %5.4 yağ, %10.4 lif, %2.76 kül ve %8.8 nem içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada çimlendirilmiş ve ham amarant unları %5, 15 ve 25 oranlarında buğday unu ile karıştırılmış ve bu karışımlardan

elde edilen unların reolojik özellikleri incelenmiştir. Çimlendirilmiş amarant ununun %25 oranında buğday ununa karıştırılmasıyla elde edilen hamurun diğer örneklerle göre nem içeriğinin daha yüksek olduğu, moleküler hareketliliğinin ise daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca bu hamur kontrol örneğine kıyasla daha iyi elastiklik ve daha viskoz bir yapı göstermiştir. Sonuç olarak ham ve çimlendirilmiş amarant ununun %25 oranına kadar buğday ununa karıştırılması ile ekmek yapımına uygun reolojik özelliklere sahip bir örnek elde edilebileceği bildirilmiştir.

Siwatch ve ark. (2019) ham ve çimlendirilmiş amarantın bazı özelliklerini araştırmışlardır. Bahsedilen bu çalışmanın sonuçları Çizelge 2.6'da özetlenmiştir. Bu çalışmada çimlendirme ile amarant ununun şişme gücünün, jelatinizasyon entalpisinin ve viskozitesinin azaldığı, çözünürlüğünün, kırılma viskozitesinin ve çirilenme sıcaklığının ise arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda çimlenmiş amarant ununun sindirilebilirliğinde artış meydana gelebileceği bildirilmiştir.

Çizelge 2.6. Ham çimlendirilmiş amarant örneklerine ait bazı özellikler (Siwatch ve ark., 2019)

Birim	Özellik	Ham	Çimlendirilmiş
%	Nem	9.51	9.05
	Kül	2.93	2.20
	Yağ	7.33	6.51
	Ham lif	2.04	2.19
	Protein	15.27	16.19
	Amiloz	7.05	5.99
	mg/g	Toplam fenolik içerik	3.96
Fitat içeriği		2.91	1.85
Tanen içeriği		0.80	0.51
g/g	Su absorpsiyon kapasitesi	2.26	2.73
	Yağ absorpsiyon kapasitesi	2.02	2.52
g/ml	Yığın yoğunluğu	0.54	0.50

Kanensi ve ark. (2013) suda bekletme ve çimlendirme koşullarındaki değişimlerin amarant örneğinin diastatik aktivitesi ve şeker içeriği üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışmada, en yüksek aktivitenin 5 saat suda bekletme (631.4 mg maltoz/10 g) ve 72 saat çimlendirme (1658.9 mg maltoz/10 g) ile elde edildiğini bildirmişlerdir. 5 saat suda bekletmenin ardından 24 saat çimlendirme ile en yüksek indirgen şeker içeriği (%13.1) elde edilmiştir. İndirgen olmayan şeker içeriği ise maksimum değere 5 saat suda bekletmenin ardından 72 saat çimlendirme ile (%17.0) ulaşmıştır. Suda bekletme ve çimlendirme süresindeki artışın amarant tanelerindeki nişasta içeriğini azaltıcı bir etki gösterdiği bildirilmiştir.

Vora ve ark. (2014) bir çalışmalarında, amarant tanelerinde çimlendirme ile protein, karbonhidrat, kalsiyum, demir ve C vitamini içeriğinde bir artış gözlemlendiğini, amarantın besinsel içeriğinin buğdaya kıyasla oldukça yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Hem çimlenmiş hem de çimlenmemiş amarant örneklerinin sulu ekstraktlarının antimikrobiyal etkinliğinin ortaya konduğu bu çalışmada, *Salmonella typhi* gibi şiddetli gastro-intestinal sistem patojenlerine karşı dahi efektif bir antimikrobiyal aktivite gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonunda, çimlendirmenin amarant tanelerindeki tüm metabolik aktiviteleri, besinsel ve duyuşsal özellikleri artırdığı bildirilmiştir.

Elektroforez analizi ile amarant filizi proteinlerinin, tohum protein izolatına göre 6.5 kDa'dan daha düşük polipeptit oranının daha yüksek olduğu tespit edilmiş, bu sonuç çimlenme sırasındaki proteolizin bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. Filiz proteinlerinin antihipertansif aktivitesini belirlemek için *in vitro* gastrointestinal sindirim ürünlerinin, anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) aktivitesindeki olası inhibitör etkileri araştırılmıştır. Sindirim ile örnekler daha düşük IC₅₀ değerleri göstermiş, antihipertansif aktiviteleri ise artmıştır (Çizelge 2.7). Bu sonuç, sindirim ile ACE inhibitörü olan peptitlerin serbest bırakıldığına göstergesi olarak kabul edilmiştir. Örneklerde tespit edilen antioksidan aktivite değerleri Çizelge 2.7'de gösterilmektedir. Amarant filizinden elde edilen süpernatantların antioksidan aktivitesinin diğer örneklerden daha yüksek olduğu, antioksidan aktivitenin de sindirimle birlikte artış gösterdiği tespit edilmiştir (Vora ve ark., 2014).

Çizelge 2.7. Amarant tohum ve filiz örneklerine ait bazı biyoaktif özellikler (Vora ve ark., 2014).

Özellik	Sindirim durumu	Tohum izolatı	Filiz izolatı	Filiz süpernatantı
IC ₅₀ (mg/ml)	Sindirilmiş	0.24	0.26	0.18
	Sindirilmemiş	0.67	0.92	0.78
TEAC (µmol/mg protein)	Sindirilmiş	0.75	0.72	1.00
	Sindirilmemiş	0.26	0.32	0.53
ORAC (mg TE/ mg protein)	Sindirilmiş	0.11	0.11	0.19
	Sindirilmemiş	0.12	0.11	0.45

Bu çalışmada örneklerdeki protein olmayan bileşiklerin antioksidan aktivitesini belirlemek için protein izolat ve süpernatant örnekleri ekstrakte edilmiş ve 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonic asit) (ABTS) radikal yakalama aktiviteleri incelenmiştir. Protein izolatı örneklerinde toplam ABTS radikal yakalama aktivitesinin %20'si protein olmayan bileşiklerce sağlanırken, bu oran süpernatant örneklerinde %45 olarak bulunmuştur. Toplam antioksidan aktiviteyi proteinlerle birlikte hidrofobik moleküllerin

oluşturduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, amarant filizlerinin yüksek lif ve protein içeriği ve potansiyel hipertansif ve antioksidan etkileri ile sağlığı geliştiren bir gıda olduğu bildirilmiştir. Ayrıca çimlendirme işleminin fonksiyonel özellikteki peptitlerin üretiminde diğer proseslere kıyasla daha ucuz ve kolay bir işlem olduğu belirtilmiştir (Vora ve ark., 2014).

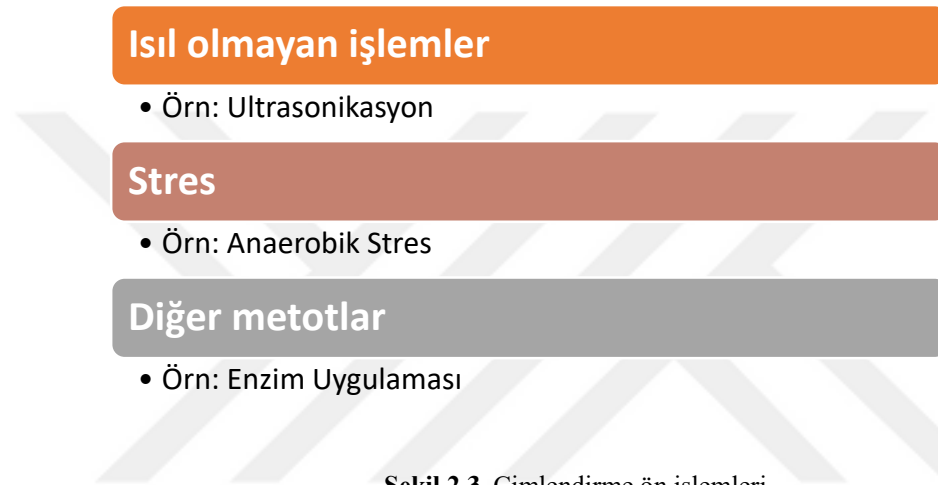
Çimlendirme işleminin bir çok avantajı olmasına karşın, proses sürecindeki ana zorluk yeterli sanitasyonun sağlanmasıdır. Eğer tohumlar çimlendirilmeden önce yeterli derecede sanite edilmezse, çimlenme sürecinde istenmeyen bir mikrobiyal gelişim gözlenmekte ve bu durum örnekte ekzojen enzimlerin açığa çıkmasına neden olmaktadır (Paucar-Menacho ve ark., 2022). Nemli ve sıcak çimlenme ortamında örnek üzerinde istenmeyen mikrobiyal gelişimin önlenmesi için tohumlar çimlendirilmeden önce genellikle NaOCl gibi seyreltik kimyasal çözeltiler ile dezenfekte edilmektedir. Fakat bu durumun hem örnek hem de çevre açısından kalıntı, kontaminasyon ve kirlilik riski oluşturduğu düşünülmekle birlikte, daha önce literatürde bu konu hakkında yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.2. Çimlendirmede Ultrason Teknolojisinin Kullanımı

Tohumların durağan fazının bozulması ile embriyonik akslarının ortaya çıkmasını kapsayan süreç olarak tanımlanabilen çimlenmede, ilk olarak hidrasyon ile tohum bileşiminde bulunan enzimler aktive olmakta ve Krebs döngüsü başlamaktadır. Ardından, tohum endospermünde bulunan besinlerin hareketliliği sağlanarak protein sentezi yoğunlaşmakta ve çimlenme olayı tohumdan kök ile sürgünlerin uzamasıyla sona ermektedir (Estivi ve ark., 2022a). Çimlendirilmiş tohumlar; γ -aminobütirik asit, fenolik asitler ve γ -orizanol gibi fonksiyonel özellik gösteren bileşikler için iyi birer kaynak olarak görülmekte olup, çimlendirilmiş tohumların antidiyabetik, anti-hiperkolesterolemik, antikanser ve bağırsak mikrobiyotası üzerindeki faydalı etkileri klinik ve epidemiyolojik çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Bu nedenle çimlendirilmiş tohumlara olan ilgi özellikle son yıllarda giderek artmaktadır (Li ve ark., 2022).

Çimlendirme koşulları, çimlendirilmiş ürünün ve üründeki besin bileşiklerinin gelişimi üzerinde etkili rol oynamaktadır (Liu ve ark., 2021). Bu nedenle çimlendirmeden önce tohumların bazı ön işlemlere tabi tutulması, çimlendirilmiş ürünün kalitesinin iyileştirilmesinde ve ürün bileşimindeki aktif madde üretiminin artırılmasında oldukça etkilidir (Li ve ark., 2022). Ayrıca çimlendirilmiş tohumlar, hammaddelerdeki kirlilik

veya çimlendirme koşullarının mikrobiyolojik gelişim için elverişli olması nedeniyle mikrobiyal kontaminasyona karşı hassas gıdalardır. Çimlendirilerek tüketilen gıdalardaki başlıca patojenlerin *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* türleri (spp.) ve enteropatojenik *Escherichia coli* olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle çimlendirilmiş tohumlarda sanitasyonun sağlanması için de bazı çimlendirme ön işlemleri uygulanmaktadır (Liu ve ark., 2021). Çimlendirme ön işlemleri; kimyasal, fiziksel, biyolojik olarak ve bunların kombinasyonları şeklinde uygulanabilmekte olup, Şekil 2.3'te kategoriler halinde özetlenmiştir (Liu ve ark., 2021; Li ve ark., 2022).



Şekil 2.3. Çimlendirme ön işlemleri

Ultrason, insanlar için işitilebilir frekans aralığının (16 Hz-18 kHz) ötesinde, 20 kHz'den yüksek frekansların basınç dalgaları olarak tanımlanabilir (Jayasooriya ve ark., 2004; Rifna ve ark., 2019). Ultrason üç farklı frekans aralığında kategorize edilebilir (Estivi ve ark., 2022a):

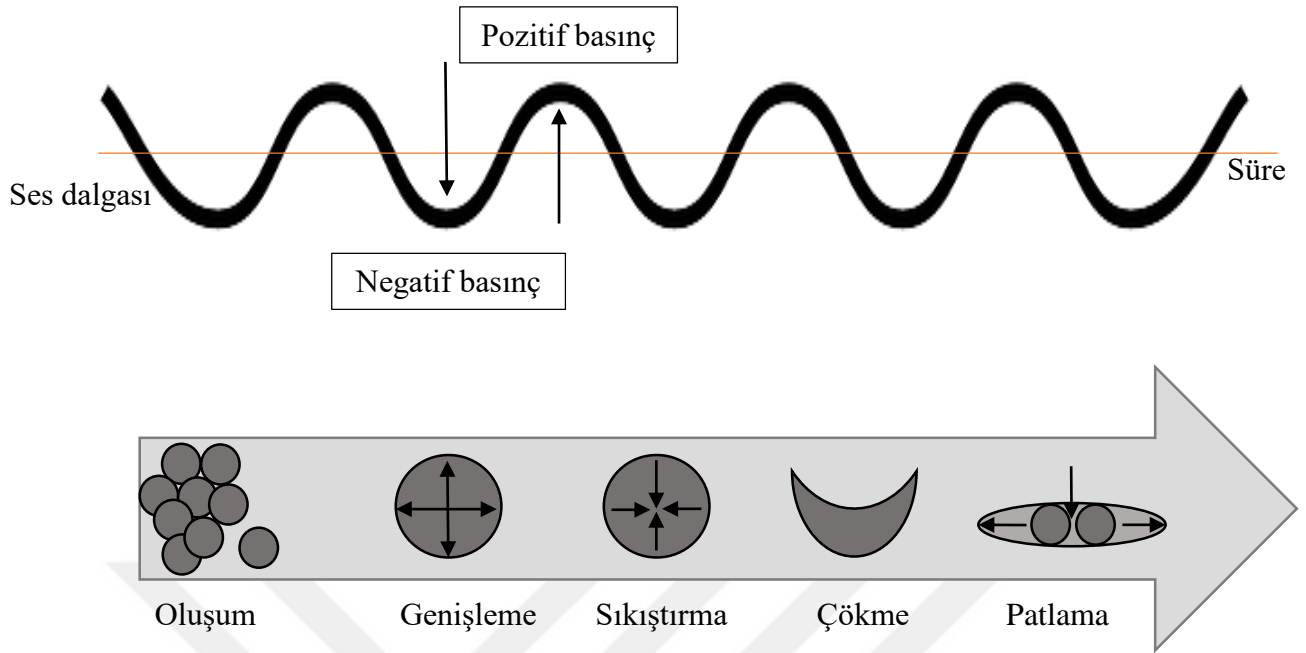
1. 20 - 100 kHz: Konvansiyonel yüksek güçlü veya düşük frekanslı ultrason aralığı,
2. 100 kHz - 2 MHz: Sonokimya aralığı,
3. 5 - 10 MHz: Tıbbi veya analitik aralık.

Gıda uygulamalarında 20 ile 100 kHz arasında değişen frekanslardaki mekanik dalgaları veya 10-1000 W/cm²'lik ses yoğunluğunu kapsayan ultrason aralığı kullanılmaktadır (Rifna ve ark., 2019). Gıdalarda hali hazırda; homojenizasyon, emülsifikasyon, ekstraksiyon, su uzaklaştırma, kristalleştirme, düşük sıcaklıkta pastörize etme, enzim aktivasyonu sağlama, gaz giderme, köpük giderme, parçacık boyutunu küçültme ve viskoziteyi değiştirme gibi birçok amaçla kullanılan ultrason uygulaması,

uyarlanabilirliği, kolay uygulanabilirliği, düşük enerji gereksinimi ve çevre üzerindeki sınırlı etkisi nedeniyle gıda teknolojisinde popüler bir yere sahiptir (Rifna ve ark., 2019; Estivi ve ark., 2022a). Ultrason teknolojisi ayrıca tohumların çimlendirilmesinde, çimlenme hızını, büyüme parametrelerini, çimlenmiş ürünün besinsel ve mikrobiyolojik kalitesini artırmak için de kullanılmaktadır (Rifna ve ark., 2019).

Ultrason teknolojisinde basınç dalgalarının etkisi; sıcaklık, basınç ve orta şiddette kimyasal işlemin kombinasyonu şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ultrason uygulaması sırasında ses dalgaları bir dizi genişleme ve sıkıştırma döngüsü olarak iletilmekte, bu durum moleküller arasındaki basınçta değişimlere ve bunun sonucunda da gaz kabarcıklarının oluşumu ve kavitasyona neden olmaktadır (Rifna ve ark., 2019). Ultrason teknolojisindeki en etkili etkileşim mekanizması, hem termal hem de kimyasal etkilere sahip olan, ısı ve kütle transferini artıran ve akustik olarak indüklenen kavitasyondur (Rifna ve ark., 2019; Wang ve ark., 2019).

Ultrasonik dalgalar fiziksel bir ortamdan geçerken, moleküller arasındaki boşluklarda pozitif ve negatif basınç döngüleriyle sıkıştırma ve genişletme hareketi oluşturur. Negatif basınç döngüsü sırasında sıvı faz, gaz halde safsızlık içeren bölgeden ayrılmaktadır. Sıvı içerisinde gaz halde safsızlık içeren bu bölge zayıf nokta olarak bilinmektedir. Negatif basınç büyüdükçe, sıvı molekülleri arasındaki mesafe de büyümekte ve belli bir noktada sıvı moleküllerini bir arada tutamayacak boyuta gelerek sıvı içerisinde boşluklar oluşturmaktadır. Bu boşluklar kavitasyon olarak bilinmektedir. Sıvı içerisinde oluşan boşluklar difüzyon ile bir araya gelmekte ve büyüyerek sıvı içerisinde gaz kabarcıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Negatif basıncın etki sürecinde meydana gelen baloncuklar, rezonans boyutu olarak bilinen kritik bir boyuta ulaşana kadar büyüyebilmektedir. Oluşan baloncuklar başlangıç boyutlarının en az iki katı büyüklüğe ulaştığında şiddetli bir şekilde çökmektedir. Her baloncüğün çökmesi sonucunda yaklaşık 4500-5000°K sıcaklık ve 1000 atm'den yüksek bir basınç açığa çıkmaktadır. Lokalize şekilde açığa çıkan bu basınç ve sıcaklıklar, ultrason uygulanan matristeki değişimlerin ve bakterisidal etkinin ana sebebidir (Chavan ve ark., 2022).



Şekil 2.4. Kaviteasyon oluşum mekanizması

Ultrason uygulamasının tohumların çimlendirilmesi üzerindeki etki mekanizması tam olarak açıklanamamış olsa da en etkili faktörün kaviteasyon olduğu düşünülmektedir (Estivi ve ark., 2022a). Çimlendirme ön işlemi olarak tohumlara ultrason uygulandığında, tohumlarda bazı fiziksel ve mekanik etkiler oluşmaktadır. Uygulama sırasında tohumların içinde bulunduğu sıvı matriste meydana gelen kaviteasyonel çökme sonucunda büyük partiküllerin yüzeyinde aşınmalar meydana gelmektedir. Partiküller arasındaki çarpışmalar ve yine kaviteasyonla oluşan kabarcıkların çökmesiyle oluşan fisyon sonucunda ise tohum partiküllerinin boyutu küçülmektedir. Ultrason uygulaması ile meydana gelen salınımlar tohum içerisinde;

- küçük ölçekli akustik akış,
- radyasyon kuvveti ve torku,
- yerel kuvvetler ve basınç alanları

oluşumu gibi çeşitli bozulmalara neden olmaktadır. Tüm bu değişimler ise tohum hücrelerinin fiziksel yapısı ve bütünlüğünün bozulmasına neden olmaktadır (Wang ve ark., 2019). Kaviteasyonun perikarpta çatlaklara neden olması, tohum hidratasyonu üzerinde olumlu etki göstermekte ve çimlenme için gerekli olan su ve oksijen mevcudiyetini artırmaktadır. Tohum hidratasyonu gibereellik asit ve absisik asit gibi çimlenmeyi destekleyici bileşiklerin salınımı artırmaktadır. Ayrıca ultrason uygulamasının çimlenme hızını artırmasının nedeni, indol-3-asetik asit olarak bilinen,

tohumda kök büyümesini destekleyici olarak görev alan fitohormonun salınımını artırmasıdır. Bunun yanı sıra ultrason uygulaması sırasında tohumda meydana gelen mekanik etkilerin hücre zarında neden olduğu tahribat sonucunda endosperm besinlerinin mobilizasyonunun kolaylaşması ve daha hızlı su ve besin akışının sağlanması da çimlenme hızını artırıcı etki göstermektedir (Estivi ve ark., 2022a). Ultrasonun neden olduğu kavitasyon ve kütle transferi tohumda bulunan enzimlerin moleküler yapısını da değiştirmekte ve böylece enzim katalizi ve çimlenmeyi artırıcı etki göstermektedir (Wang ve ark., 2019). Tohum yapısında bulunan enzimlerin biyoaktivitelerinin hücre zarı geçirgenliğinin değişimi ile artması ve endojen hormonların uyarılması; çimlenme yüzdesi, kök ve hipokotil uzunlukları, filiz verimi gibi büyüme parametrelerinin tümü üzerinde pozitif etki göstermektedir. Ayrıca kavitasyon, tohumlarda *Escherichia coli* ve *Salmonella* kaynaklı patojenlerin öldürülmesinden de sorumludur (Liu ve ark., 2021).

Ultrason, gıdaların karbonhidrat ve protein gibi makromoleküllerinin yapısal, fiziksel, kimyasal, teknolojik, fonksiyonel ve biyolojik özellikleri üzerinde de etkili bir teknolojidir. Biyoyararlılığı ve biyoaktivitesi geliştirilmiş protein veya karbonhidrat nanoparçacıkları üretiminde etkili ve uygulanabilir alternatif bir teknoloji olarak görülebilir. Ayrıca stres koşulları oluşturarak, çimlenme sırasında tohumlarda antioksidan özellik gösteren biyoaktif bileşiklerin üretimini teşvik etmekte ve hızlandırmaktadır (Estivi ve ark., 2022a). Enzim aktivitesini uyarıcı etkisi ile fenolik bileşikler, GABA ve diğer aktif maddelerin sentezini de desteklemektedir. Ultrason teknolojisi, bakterisidal etkisinin yanı sıra, tüm bu etkileriyle çimlendirilmiş tohumların besin seviyesini ve gıda kalitesini iyileştirmede etkili bir yöntem olarak görülmektedir (Li ve ark., 2022).

Ultrason teknolojisinin çimlendirme prosesindeki avantajları aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır (Liu ve ark., 2021; Estivi ve ark., 2022a):

- Sağlık endişelerine neden olan kimyasal maddelerin kullanımına karşı iyi bir alternatiftir.
- Yüksek enerji gereksinimine ve gıdaların bileşiminde istenmeyen değişikliklere neden olan ısı işlemlere karşı iyi bir alternatiftir.
- Çimlendirilmiş gıdaların besinsel, duyuusal ve mikrobiyal kalitelerini artırıcı etki göstererek, katma değerli ürünler elde edilmesine olanak tanımaktadır.
- Sürdürülebilir, çevre dostu, gelişmekte olan, termal olmayan, gelecek vaat eden yeşil bir teknolojidir.
- Enerji tasarrufu sağlamakta ve işleme süresini kısaltmaktadır.

Wang ve ark. (2020) bir çalışmalarında, ultrason uygulanarak 7 gün çimlendirilmiş karabuğdayın çimlenme hızının kontrol örneğinden %4.66 daha yüksek olduğunu ve ultrason uygulamasının karabuğdayın çimlenme özellikleri üzerinde pozitif bir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. İki farklı karabuğday türünde çimlendirme ön işlemi olarak ultrason uygulanan bu çalışmada, ultrason uygulamasının örneklerin toplam flavonoid ve indirgen şeker içerikleri ile 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) and ABTS radikal yakalama aktivitelerini artırdığı, katalaz ve fenilalanin amonyum liyaz aktiviteleri üzerinde de pozitif etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Yalancı tahıllarda çimlendirme ön işlemi olarak ultrason uygulanması ile ilgili yapılmış çalışmalara literatürde pek fazla rastlanmamıştır. Ayrıca ultrason teknolojisinin birçok avantajı bulunmakla birlikte halen çimlendirme prosesinde kullanımında eksik noktalar bulunmaktadır. Bu eksik noktalar üç başlık altında özetlenebilir:

- Optimum proses parametrelerinin belirlenmesi
- Çimlendirme ön işlemi olarak ultrason uygulanan gıdanın besinsel bileşimindeki değişikliklere ait mekanizmanın açıklanması
- Endüstriyel üretimin sağlanması

Gelecek çalışmalarda bu hususlar aydınlatıldığı takdirde, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş ve gıda kalitesi artırılmış ürünlerin endüstriyel ölçekte de üretiminin söz konusu olabileceği düşünülmektedir (Li ve ark., 2022).

2.3. Mikrobiyal İnokülasyon ile Çimlendirme

Çimlendirilmiş gıdalar bileşimlerinde yüksek düzeyde basit şekerler, aminoasitler ve vitaminler bulundurmaları ve yüksek su içeriğine sahip olmaları nedeniyle mikrobiyal gelişim için oldukça elverişli ürünlerdir (Świeca ve ark., 2020a). Çimlendirilerek tüketilen tohumlarda, çimlenme sürecinde gıda matrisinde *Bacillus cereus*, *Klebsiella pneumoniae*, farklı *Salmonella* türleri ve enterohemorajik *Escherichia coli* gelişiminin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca uygun ortam olduğu takdirde çimlendirilmiş ürünlerde yüksek miktarda *Salmonella* kontaminasyonu olduğu ve bunun da Salmonellosis'e neden olduğu bildirilmiştir (Palmai ve ark., 2002). Çimlendirilmiş gıdalarda depolama sürecinde istenmeyen mikrobiyal gelişimin önlenmesi amacıyla probiyotik bir mikroorganizma kullanma hipotezi daha önce literatürde öne sürülmüş ve probiyotik inokülasyonunun filizlenmiş gıdalarda koliform bakteri, *Enterococci* ve *Bacillus cereus*

yükünü oldukça azalttığına dair elde edilen veriler ışığında öne sürülen hipotez kanıtlanmıştır (Świeca ve ark., 2018; 2020a).

Probiyotik mikroorganizmaların çimlendirilmiş gıdalar üzerindeki etkisi hakkında öne sürülen bir diğer hipotez ise inoküle edildikleri gıdaların mikrobiyolojik kalitelerinin yanı sıra kimyasal ve organoleptik kalitelerini de iyileştirmeleridir. Bu amaçlarla yaygın olarak kullanıldıkları süt ürünleri, fermente sebzeler ve etler gibi gıdaların yanı sıra, son zamanlarda yeni beslenme alışkanlıkları (örneğin veganizm) ve/veya diyet kısıtlamaları (örneğin; gıda intoleransları ve alerjileri) nedeniyle probiyotiklerin çikolata, meyveli içecekler ve kesilmiş meyveler gibi alternatif gıda matrislerinde kullanımına da ihtiyaç duyulmaktadır (Świeca ve ark., 2018). Bu bağlamda mikroorganizmaların kullanımı ile elisitörler tarafından tohum metabolizmasının değiştirilerek çimlendirilmiş ürünlerin besinsel ve nutrasötik özelliklerinin iyileştirilmesi de alternatif bir proses olarak görülebilir (Gawlik-Dziki ve ark., 2013).

Yeterli miktarda alımı sağlandığı zaman konakçının sağlığı üzerinde faydalı etkiler sağlayan canlı mikroorganizma suşları olarak tanımlanabilen probiyotik bakterilerden biri de sebzelerde ve peynir, et gibi fermente gıdalarda kullanılan *Lactobacillus plantarum* bakterisidir. *Lactobacillus plantarum*'un probiyotik suşları insanda bağışıklığın artırılmasından sorumlu olup, bu özelliği ile otoimmün bozukluklar, iltihaplanma, farklı kanser türleri ve kanserle ilişkili yan etkiler için profilaktik bir ajan ve/veya tedavi olarak kullanılabilir (Świeca ve ark., 2018). Ayrıca *Lactobacillus plantarum*'un enflamatuvar bağırsak hastalığı ve ishal gibi gastrointestinal hastalıklar, atopik dermatit gibi alerjik hastalıklar, obezite, insülin direnci sendromu, tip 2 diyabet ve alkole bağlı olmayan karaciğer hastalığı gibi birçok hastalığa karşı terapötik etkisi klinik çalışmalar ile doğrulanmıştır (Świeca ve ark., 2018; 2020a).

Gawlik-Dziki ve ark. (2013) bir çalışmada brokoli filizlerinde fenolik madde miktarını, örneklerin hidroksil yakalama aktivitesini ve süperoksit dismutaz benzeri aktivitesini artırmak amacıyla, çimlendirmede doğal elisitör kaynağı olarak otoklavlanmış *Saccharomyces cerevisiae* maya kültürü ve *Salix daphnoides* kabuğunun sulu ekstraktını kullanmışlardır. Bu çalışmada %0.1 *S. cerevisiae* uygulamasının örneklerin ferulik asit içeriğini, %0.5 ve %1 *S. cerevisiae* uygulamasının ise örneklerin *p*-kumarik ve şiringik asit içeriklerini önemli derecede artırdığı görülmüştür. %1 *S. cerevisiae* uygulamasının örneklerin hidroksil yakalama aktivitesi üzerinde en etkili elisitör olduğu ve aktiviteyi %40 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Hem hidroksil yakalama hem de süperoksit dismutaz benzeri aktivitelerin doğal elisitör muamelesiyle

artış gösterdiği, anti-reaktif oksijen türü aktivitesi üzerinde etkili olan bileşiklerin ise biyoerişilebilirliğinin ise önemli ölçüde iyileştirildiği bildirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, iyi bir fenolik bileşik kaynağı olan brokoli filizlerinin, *Saccharomyces cerevisiae* ve *Salix daphnoides* ile muamelesi sonucu örneklerin sağlığa yararlı özelliklerinin önemli ölçüde iyileştirildiği ve bu işlemin pek çok tüketici tarafından kabul edilmeyen genetik modifikasyona karşı kabul edilebilir bir alternatif olarak görülebileceği belirtilmiştir.

Swieca ve ark. (2019a) probiyotik özellikteki bir maya olan *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* için taşıyıcı bir matris olarak adzuki fasulyesi ve mercimek filizlerinin kullanım olanaklarını araştırdıkları bir çalışmada, probiyotik mayanın örneklerdeki mezofilik bakteri yükü üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Fakat *S. cerevisiae* var. *boulardii* inoküle edilen adzuki fasulyesi ve mercimek filizlerinde küf miktarının yaklaşık %99, koliform yükünün ise sırasıyla %92 ve %71 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. İnokülasyon ile örneklerin nişasta miktarı ve sindirilebilirliği azalırken, protein miktarının adzuki fasulyesi filizlerinde azalma gösterdiği bildirilmiştir. İnoküle edilen mayanın *in vitro* sindirim koşullarına dahi dayanıklı olduğu görülen bu çalışmada, *S. cerevisiae* var. *boulardii* ile zenginleştirilmiş baklagil filizlerinin yüksek besin değeri ve sağlığa yararlı bileşenleri açısından yeni bir fonksiyonel gıda ürünü olarak güvenli bir şekilde tüketilebileceği sonucuna varılmıştır.

Molska ve ark. (2020) bir çalışmada, probiyotik bir mikroorganizma olan *S. cerevisiae* *boulardii* ile muamele sonrası liyofilize edilen karabuğday filizlerinde, yağ asidi kompozisyonunu değiştirerek sağlık üzerindeki olumlu etkilerini artırmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada probiyotik maya muamelesiyle karabuğday filizlerinin de probiyotik özellik kazandığı, bunun yanında çimlendirmeye örneklerde toplam mezofilik bakteri sayısının da arttığı tespit edilmiştir. Çimlendirme süresince örneklerin toplam yağ içeriğinin %50'den fazla artış gösterdiği, aynı zamanda serbest yağ asidi miktarı ile kompozisyonunda da değişim meydana geldiği görülmüştür. Ham tanelerde miristoleik asit ve pentadekanoik asit bulunurken, bu bileşikler karabuğday filizlerinde tespit edilememiştir. Ham tanelerdeki doymuş ve doymamış yağ asidi içerikleri sırasıyla %21.2 ve %78.48 iken, saf su ile çimlendirilen filizlerde bu değerler sırasıyla %16.84 ve %83.01 olarak, probiyotik maya süspansiyonu ile çimlendirilen filizlerde ise %16.86 ve %83.16 olarak tespit edilmiştir. Saf su ve probiyotikle çimlendirilen örneklerde palmitik asit içerikleri sırasıyla %13.90 ve %13.62 oranında azalırken, linoleik asit içerikleri %40.19

ve %42.45 oranında artış göstermiştir. Serbest yağ asitlerinin içeriğindeki değişimlerin maya aktivitesinin bir sonucu olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 2.8’de özetlenmektedir.

Çizelge 2.8. Karabuğday ve karabuğday filizlerinin bazı lipit özellikleri (Molska ve ark., 2020)

Bileşik (%)	Karabuğday tanesi	Probiyotik maya süspansiyonu ile çimlendirilen karabuğday filizleri	Saf su ile çimlendirilen karabuğday filizleri
Miristik asit (C14:0)	0.14	0.14	0.13
Palmitik asit (C16:0)	16.56	13.62	13.90
Stearik asit (C18:0)	2.24	1.69	1.64
Araşidik asit (C20:0)	1.87	1.34	1.12
Palmitoleik asit (C16:1)	0.40	0.60	0.57
Oleik asit (C18:1)	39.95	33.55	36.18
Linoleik asit (C18:2)	32.16	42.45	40.19
α -linolenik asit (C18:3)	1.64	2.93	2.84
n-6/n-3 oranı	19.68	14.17	14.49

Świeca ve ark. (2018) soya fasulyesi, mercimek, adzuki fasulyesi ve maş fasulyesi filizlerinin *Lactobacillus plantarum* 299v ile zenginleştirilmesi sonucu mikrobiyal kalitesi yüksek fonksiyonel bir gıda üretimini amaçladıkları bir çalışmalarında, laktik asit bakterisi inokülasyonu ile baklagil filizlerinde mezofilik bakteri yükünün azaldığını tespit etmişlerdir. Toplam mikroorganizma yükünün ağırlıklı olarak laktik asit bakterilerinden meydana geldiği görülen son örnekler, soğuk depolama ve *in vivo* sindirime de bırakılmıştır. Tüm koşullar birlikte değerlendirildiğinde, probiyotik özellikteki en yüksek laktik asit bakterisi (*Lactobacillus plantarum* 299v) yükünün sindirime maruz bırakılan örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda, baklagil filizlerinin probiyotik bakteriler için sindirim gibi en zorlu koşullarda dahi iyi bir taşıyıcı gıda olduğu görülmüştür. Fakat probiyotikçe zenginleştirilmiş filiz üretiminde, sıcaklık ve tohumların probiyotik bakteri süspansiyonunda bekletilmesini içeren inokülasyon metodunun en önemli proses koşulları olduğuna dikkat çekilmiştir. Elde edilen tüm veriler doğrultusunda, baklagil tohumlarının filizlendirmesinde probiyotik bakteri inokülasyonunun fonksiyonel gıda üretiminde başarılı bir yaklaşım olduğu sonucuna varılmıştır.

Baklagil filizlerinin *Lactobacillus plantarum* 299v ile zenginleştirilmesi üzerine yapılan başka bir çalışmada, örneklerin besinsel ve sindirilebilirlik özellikleri ve bu parametreler üzerinde potansiyel olarak olumsuz etkiye sahip faktörler incelenmiştir. Örneklerin besin içerikleri ve sindirilebilirlik değerleri üzerinde hem filizlendirmenin

hem de *Lactobacillus plantarum* 299v inokülasyonunun çok önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. En yüksek sindirilebilir nişasta değeri adzuki fasulyesinde (%91.6-%95.5) bulunurken, en düşük değer (%49.6-%60.8) soya fasulyesi filizlerinde tespit edilmiştir. Probiyotikle zenginleştirme işleminin adzuki ve soya fasulyesi filizlerinin nişasta sindirilebilirliğini sırasıyla %5 ve %7 oranında azalttığı görülmüştür. Fakat mercimek ve maş fasulyesi filizlerinin nişasta sindirilebilirliğinde bakteri inokülasyonu ile birlikte bir artış gözlenmiştir. İncelenen faktörlerin nişasta sindirilebilirliği üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmazken, protein sindirilebilirliği değerlerinde ise tripsin ve kimotripsin inhibitörlerinin aktivitesinin önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Bu çalışmadan elde edilen bazı sonuçlar Çizelge 2.9'da özetlenmektedir (Swieca ve ark., 2019b).

Çizelge 2.9. Baklagil filizlerine ait bazı besinsel özellikler (Swieca ve ark., 2019b)

Özellik	Mercimek filizi		Adzuki fasulyesi filizi		Soya fasulyesi filizi		Maş fasulyesi filizi		
	Kontrol	Lp ²	Kontrol	Lp	Kontrol	Lp	Kontrol	Lp	
TFM ³ (mg/g)	BEF ⁵	10.01	15.58	12.57	12.47	16.24	15.68	11.92	13.43
	PBF ⁶	16.88	18.20	18.36	17.75	19.60	16.46	15.87	17.08
KTİ ⁴ (mg/g)	BEF	3.06	3.48	2.60	2.08	2.43	4.22	3.98	3.28
	PBF	2.10	1.84	2.26	2.14	2.00	1.82	2.14	2.22
Fe	(mg/100 g)	8.02	7.93	5.30	4.92	4.62	6.55	4.04	4.31
Zn		3.42	3.71	2.50	2.64	4.66	4.78	2.70	2.63
Cu		0.77	0.89	0.70	0.60	1.13	1.43	1.12	1.22
Mg		105	110	169	164	196	227	188	205
Ca		54.5	47.0	103	91.5	283	294	86.5	79.7

¹Değerler taze örnekler aittir. ²*Lactobacillus plantarum* 299V inokülasyonu ile üretilen filizler. ³Toplam fenolik madde miktarı. ⁴Kondense tanin içeriği. ⁵Bufferla ekstrakte edilebilir fraksiyon. ⁶Potansiyel biyoerişilebilir fraksiyon.

Bu çalışmada, probiyotik açısından zengin baklagil filizlerinin benzer ürünler ile karşılaştırılabilir veya onlardan daha iyi bir kalite ile karakterize edilebilir olduğu ve probiyotik bakteri inokülasyonunun yeni bir fonksiyonel gıda üretimi için güvenli bir yol olduğu sonucuna varılmıştır (Swieca ve ark., 2019b).

Probiyotikçe zengin soya fasulyesi filizlerinde biyolojik olarak erişilebilir fenolik bileşiklerin polifenol profili ve antioksidan kapasitesi üzerinde soğuk depolamanın etkisinin belirlenmesini amaçlayan bir diğer çalışmada ise yine probiyotik bakteri inokülasyonunda *Lactobacillus plantarum* 299v kullanılmıştır. Bu çalışmada, soğuk depolamanın ardından örneklerdeki izoflavon içeriklerinin taze örneğine eşit veya daha yüksek olduğu bulunmuştur. Probiyotikçe zengin filizlerin fenolik bileşik içeriğinde artış görülmezken, bakteriyel inokülasyonun örneklerin antioksidan kapasitesini geliştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca depolamanın, örneklerin indirgeme potansiyelini

olumlu yönde etkilediği görülmüş, *L. plantarum* ile zenginleştirilmiş soya fasulyesi filizlerinin antioksidan kapasitesi yüksek depolama stabilitesi ile karakterize edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen, potansiyel biyoerişilebilir antioksidanlara ait sonuçlar Çizelge 2.10'da gösterilmektedir. Sonuç olarak, probiyotik bakteri inokülasyonu ile üretilen soya fasulyesi filizlerinin, sağlığa yararlı özelliklere sahip yeni fonksiyonel gıdaları tercih eden tüketiciler için iyi bir alternatif gıda maddesi olduğu önerilmiştir (Świeca ve ark., 2020a).

Çizelge 2.10. Probiyotikçe zengin soya fasulyesi filizlerindeki potansiyel biyoerişilebilir antioksidanlara ait sonuçlar¹ (Świeca ve ark., 2020a)

Özellik	Durum	Nitelik	ABTS radikallerini sönmüleme yeteneği	Hidroksil radikallerini sönmüleme yeteneği	Ferrik indirgeme gücü
Gastrik sindirilebilirlik indeksi	Taze	Kontrol	0.54	1.77	0.75
		Lp ²	0.53	0.85	0.61
	Depolanmış	Kontrol	0.54	0.83	0.62
		Lp	0.43	1.12	0.67
Gastrointestinal sindirilebilirlik indeksi	Taze	Kontrol	0.67	6.38	0.54
		Lp	0.76	2.52	1.98
	Depolanmış	Kontrol	0.70	2.31	0.32
		Lp	0.66	2.31	0.45
Bağıl bağırsak sindirilebilirlik indeksi	Taze	Kontrol	1.22	3.60	0.71
		Lp	1.44	2.98	3.24
	Depolanmış	Kontrol	1.29	2.78	0.51
		Lp	1.52	2.07	0.67

¹Değerler % olarak ifade edilmektedir. ²*Lactobacillus plantarum* 299v inokülasyonu ile üretilen filizler.

Benzer şekilde, *Lactobacillus plantarum* 299v inokülasyonu ile üretilen maş fasulyesi ve adzuki fasulyesi filizlerinin antioksidan özellikleri ve mide kanser hücrelerinin hareketliliği ve sağ kalımı üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, probiyotikçe zengin örneklerin antioksidan özelliklerinin kontrole kıyasla sırasıyla %13 ve %9 oranında yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Adzuki fasulyesi filizlerinin düşük konsantrasyonlarda dahi mide kanser hücrelerinin canlılığını inhibe ettiği ve her iki örneğin de dozdan bağımsız olarak sitostatik ve sitotoksik etkiler gösterdiği tespit edilmiştir (Świeca ve ark., 2020b). Başka bir çalışmada ise *Lactobacillus plantarum* 299v ile zenginleştirilen mercimek filizlerinin hem inokülasyon hem de soğuk depolamayla antioksidan potansiyelinin önemli ölçüde iyileştirildiği, örneklerin gastrik ve gastrointestinal sindirimden sonra ise antioksidan potansiyellerinin kontrole kıyasla sırasıyla %45 ve %10 oranında arttığı bildirilmiştir (Gawlik-Dziki ve ark., 2021).

L. plantarum 299v inokülasyonu ile üretilen baklagil filizlerinin organoleptik kalitesinin araştırıldığı bir çalışmada, bakteri inokülasyonunun ürünlerin duyuşal

özellikleri üzerinde çok az bir etkisinin olduğu, filizlerin genel kabul edilebilirliğinin ise genel olarak yüksek bulunduğu sonucu elde edilmiştir. Probiyotikçe zenginleştirilmiş filizlerin polifenol oksidaz aktivitelerinin yüksek bulunduğu görülmüş, fenolik madde miktarlarının ise soya fasulyesi, adzuki fasulyesi ve maş fasulyesi filizlerinde sırasıyla %25, %31 ve %23 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Fenolik bileşik içeriğindeki artışın besinlerin biyoyararlılığını nispeten değiştirdiği görülmüş, örneklerin en önemli özelliklerinin ise genel olarak duyuşal açıdan kabul edilebilir bulunmaları olduğu belirtilmiştir (Złotek ve ark., 2019).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, çimlenebilir nitelikte karabuğday ve amarant tohumları kullanılmıştır. Karabuğday (*Fagopyrum* sp.) tohumları Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden (Konya, Türkiye) 2021 yılı Eylül ayında hasat edilen örneklerden tedarik edilmiştir. Amarant tohumları ise Dolco Gold firmasından (İstanbul, Türkiye) temin edilmiştir.

Tarhana ve ekmek üretiminde kullanılan buğday unu (Hekimoğlu, Konya, Türkiye), yaş maya (Pakmaya, Kocaeli, Türkiye) ve tuz (Billur, İzmir, Türkiye) Konya piyasasından alınmıştır. Tarhana üretiminde kullanılan yoğurt (Enka, Konya, Türkiye), domates salçası (Öncü, Gaziantep, Türkiye), kuru soğan ve kırmızı toz biber (Buhara, Konya, Türkiye) ise yine Konya yerel pazarından temin edilmiştir.

Çimlendirme denemelerinde kullanılan *Lactobacillus plantarum* kültürü, TSK gıda bölümü kültür stoğundan tedarik edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme deseni

Çalışmamızda ilk olarak, karabuğday ve amarant tohumlarında dezenfektan madde (NaOCl) kullanımı, ultrason uygulaması ve *Lactobacillus plantarum* bakterisi inokülasyonu olmak üzere 3 farklı ön işlem uygulanmış ve bu işlemler ile çimlendirme işlemi öncesinde dezenfeksiyon amaçlanmıştır. Bu ön işlemlerden sonra çimlendirme işlemine geçilmiş, ardından çimlendirilmiş tohumlar kurutulmuş, öğütülmüş, elenmiş ve un haline getirilmiştir. Elde edilen çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları, buğday unu esasına göre 4 farklı ikame oranında (%0, 10, 20 ve 30) tarhana ve ekmek üretiminde kullanılmıştır. Tarhana ve ekmek denemeleri, tohum çeşidi (2), çimlendirme ön işlemi (3) ve oran (4) değişkenleriyle, (2x3x4)x2 deneme desenine göre iki tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Ekmek ve tarhana üretim deneme planı Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Üretilen tarhana ve ekmek örneklerinde bazı fiziksel, kimyasal ve duyu analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Tarhana ve ekme k üretim deneme deseni

�r�n	�kame oranı (%)	Kimyasal dezenfektan kullanılarak �imlendirilmiŐ		Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş		<i>L. plantarum</i> inoküle edilerek �imlendirilmiŐ	
		Un (g)	Karabuğday/ Amaranat unu (g)	Un (g)	Karabuğday/ Amaranat unu (g)	Un (g)	Karabuğday/ Amaranat unu (g)
Tarhana ve Ekmek	0	100	0	100	0	100	0
	10	90	10	90	10	90	10
	20	80	20	80	20	80	20
	30	70	30	70	30	70	30

3.2.2. Tohumların  imlendirilmesi

Çalışmamızda yapılan bazı ön denemeler ve optimizasyon çalışmaları ile çimlendirme ön işlem normları belirlenmiş ve standardize edilmiştir. Ardından aşağıda belirtilen Şekilde karabuğday ve amarant tohumlarında çimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

- Kimyasal dezenfektan (NaOCl) kullanılarak  imlendirme: Karabuğday ve amarant tohumları berrak yıkama suyu elde edilene kadar musluk suyuyla yıkanmış, %2.5'lik kimyasal dezenfektan (NaOCl) ile 10 dk dezenfekte edilmiş, ardından 3 kez saf suyla tekrar yıkanmıştır. Daha sonra 1:5 oranında oda sıcaklığındaki saf suda, 3 saat bekletilmiŐ ve süre sonunda bir klimatik test kabininde (Nüve TK 120, Ankara, Türkiye) $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%85\pm 5$ bağıl nemde 48 saat çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenme süresince her 12 saatte bir tohumlarda saf suyla yıkama işlemi yapılmıştır. Her yıkama işleminde sonra tohumlardaki yüzeysel kurumayı önlemek için üzerlerine bir sprey ile saf su p sk rt lm Őt r.

- Ultrason uygulayarak çimlendirme:  imlendirme işleminde, tohumlarda mikrobiyal gelişimi ve kimyasal dezenfektan kullanımını engellemek amacıyla ultrason ön işlemi uygulanmıştır. En etkili ultrason parametrelerinin belirlenmesi için de ön denemelerde optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyonda ultrason parametreleri; uygulanan ultrason genliği için %20-100 ve süre için 1-10 dk aralığında değişim gösterecek Şekilde belirlenmiştir. Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda, çimlendirmede tohumlarda herhangi bir mikrobiyal faaliyet gözlenmeksizin, en düşük nem ve en yüksek serbest ve bağlı fenolik madde miktarını sağlayan parametreler göz önüne alınmıştır. Bu optimizasyon çalışmasının neticesinde de %48.6 genlikte 8.6 dk ultrason ön işlemi

uygulanmasının en iyi parametreler olduğu belirlenmiş ve çalışmamızda bu parametreler kullanılmıştır. Bu amaçla amarant ve karabuğday tohumları ilk olarak berrak yıkama suyu elde edilene kadar musluk suyuyla yıkanmıştır. Ardından tohumlar, çift cidarlı beherde soğuk su sirkülasyonu altında, 1:5 oranında saf su içerisinde ultrasonik prob (20 kHz, 200 W - Bandelin UW 2200, Berlin, Almanya) aracılığıyla %48.6 genlikte 8.6 dk ultrason uygulamasına tabi tutulmuştur. Ardından tohumlar süzölmüş, yeniden 1:5 oranında temiz saf su içerisine konulmuş ve 3 saat suda bekletilmiştir. Süre sonunda klimatik test kabininde $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%85\pm 5$ bağıl nemde 48 saat çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenme süresince her 12 saatte bir tohumlarda saf suyla yıkama işlemi yapılmıştır. Her yıkama işleminden sonra tohumları nemlendirmek amacıyla üzerlerine bir sprey ile saf su püskürtölmüştür.



Şekil 3.1. Sıcaklık kontrolü sağlanan beher içerisinde tohumlara ultrason uygulama işlemi

- *Lactobacillus plantarum* inokölasyonu ile çimlendirme: Çimlendirme işleminde herhangi bir kimyasal dezenfektan madde kullanmadan, tohumlarda oluşabilecek mikrobiyal gelişimi engellemek amacıyla, tohumlara *Lactobacillus plantarum* inoköl edilmiştir. Bu amaçla ilk olarak *Lactobacillus plantarum* suşu 37°C 'de 24 saat aktifleştirilmiş ve yine 37°C 'de 24 saat çoğaltılmıştır. Musluk suyuyla yıkanan tohumlar 1:5 oranında *Lactobacillus plantarum* suşu içeren saf su içerisine konulmuş ve anaerobik ortamda 3 saat bekletilmiştir. *Lactobacillus plantarum* inokölasyonu, tohumların

bekletme suyunun %2'si olacak şekilde (50 kat seyreltilerek) gerçekleştirilmiştir. Bakteri inokülasyon miktarı, De Man–Rogosa–Sharpe (MRS) agar üzerinde yapılan mikrobiyal sayım ile belirlenmiştir. *L. plantarum* inokülasyonu ile 3 saat anaerobik ortamda bekletilen tohumlar, bekletme süresinin sonunda süzülerek klimatik test kabiniinde normal çimlendirme ile belirlenen koşullarda çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlendirme süresi boyunca tohumlar 12 saatte bir saf suyla yıkanmış ve ardından tohumları nemlendirmek amacıyla üzerlerine bir sprey ile *L. plantarum* inoküle edilen saf su püskürtülmüştür.

3.2.3. Tarhana üretimi

Kontrol tarhana örneğinin üretiminde 100 g buğday unu esasına göre, 40 g yoğurt, 10 g domates salçası, 5 g kuru soğan, 2.5 g yaş maya, 2 g kırmızı toz biber, 1 g tuz ve su (~40 ml) kullanılmıştır. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli tarhana üretiminde, çimlendirilmiş yalancı tahıl unları %0, 10, 20 ve 30 oranlarında buğday unu ile yer değiştirmiştir.

Tüm bileşenler bir karıştırıcıda (kMix KMX50, Kenwood, İngiltere) 5 dakika boyunca yoğrulmuştur. Elde edilen hamur 30°C'de 72 saat süre ile fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyon işlemi sırasında örnekler her 12 saatte bir, buldukları kap içerisinde karıştırılmıştır. Fermantasyon sürecinin takibi asitlik kontrolü ile sağlanmıştır. Örneklerin pH'ları 3.8-4.2 değerleri arasına düştüğü zaman fermantasyon sonlandırılmıştır (72. saat). Fermantasyon sonunda; tarhana hamuru örnekleri yaklaşık 2 cm çap ve kalınlıktaki küçük parçalara bölünerek, 55°C'de 72 saat etüvde (Nüve KD-200, Türkiye) kurutulmuştur. Elde edilen kurutulmuş örnekler laboratuvar tipi çekiçli değirmende (LM 3100, Perten Instruments AB, İsveç) 500 µm elekten geçecek şekilde öğütülmüştür. Örnekler laboratuvar analizlerine kadar polietilen torbalar içerisinde +4°C'de muhafaza edilmiştir.

3.2.4. Ekmek üretimi

Kontrol ekmek örneğinin üretimi için; 100 g buğday unu esasına göre 3 g yaş maya, 1.5 g tuz ve su (farinografta elde edilen su kaldırma değerinin 2 puan üstü, ~60 ml) kullanılmıştır. İkameli ekmek örneklerinde ise çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları %0, 10, 20 ve 30 oranlarında buğday unu ile yer değiştirmiştir.

Tüm bileşenler, bir mikser (Hobart N50, Offenburg, Almanya) içerisinde, önce düşük hızda (1. seviye - 136 rpm) 3 dk, daha sonra yüksek hızda (2. seviye - 281 rpm) 1 dk yoğrulmuştur. Yoğurma işlemi tamamlandıktan sonra, elde edilen hamur 30°C’de ve %80-90 nispi nemde kitle fermantasyonuna (30 dk) bırakılmıştır. Kitle fermantasyonundan sonra hamurlar 2 kez 30 dk’da bir katlanarak havalandırılmış, daha sonra şekillendirilerek 60 dk dinlendirilmiştir. Fermantasyon işleminin sonunda ekmekler, 230°C’ye ısıtılmış fırında (Fimak Rokon Classic FRN10 G, Konya, Türkiye) 9 dk pişirilmiştir. Örnekler laboratuvar analizlerine kadar polietilen torbalar içerisinde +4°C’de muhafaza edilmiştir.

3.2.5. Laboratuvar analizleri

3.2.5.1. Analitik analizler

Denemelerde kullanılan buğday unu, kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu (DKB), ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu (USKB), *Lactobacillus plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğday unu (LpKB), kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu (DA), ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu (USA) ve *Lactobacillus plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş amarant unu (LpA) örneklerinde aşağıda belirtilen analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.1.1. Renk analizi

Ekmek ve tarhana üretiminde hammadde olarak kullanılan çimlendirilmiş yalancı tahıl unları ve buğday unu örneklerinin renk değerleri Hunter Lab Color Quest II Minolta CR-400 (Konica Minolta, Osaka, Japonya) cihazı kullanılarak L^* , a^* ve b^* değeri cinsinden ölçülmüştür (Francis, 1998). Renk ölçümlerinden önce cihaz, standart beyaz kalibrasyon levhası ile kalibre edilmiştir. Renk okumaları ikişer tekerrürlü örneklerde üçer kez tekrarlanmıştır.

3.2.5.1.2. Nem analizi

Nem analizi AACC 44-19 metoduna göre 135°C’de 2.5 saat normu uygulanarak yapılmıştır (AACC, 2010).

3.2.5.1.3. Ham kül analizi

AACC 08-01 standart metoduna göre, örneklerdeki organik bileşiklerin 550°C’deki kül fırınında yakılması sonucunda geriye kalan inorganik maddelerin tespit edilmesi (%) suretiyle gerçekleştirilmiştir (AACC, 2010).

3.2.5.1.4. Ham yağ analizi

AACC 30-25 metodu kullanılarak, kuru madde esasına göre yapılmıştır (AACC, 2010). Önce örnekler hekzan ile otomatik yağ ekstraksiyon cihazında (Velp SER 148/6, Usmate, İtalya) ekstrakte edilmiş, sonra solvent uzaklaştırılmış ve elde edilen yağ miktarlarından % ham yağ miktarı hesaplanmıştır.

3.2.5.1.5. Ham protein analizi

Dumas yakma yöntemiyle (AACC 46-30) kuru madde esasına göre yapılmıştır (AACC, 2010). Buğday unu için 5.70, diğer hammaddeler ve ürünler için de 6.25 protein çevrim faktörü kullanılarak örneklerin ham protein miktarları tespit edilmiştir.

3.2.5.1.6. Nişasta analizi

Örneklerin nişasta içerikleri, AACC 32-40.01 standart metotlarının kullanıldığı Megazyme Resistant Starch (K-RAPRS 11/19) kiti ile belirlenmiştir (AACC, 2010). Kullanılan bu kit, örneklerin sindirilebilir, dirençli ve toplam nişasta içeriklerinin belirlenmesine imkân tanımaktadır.

Bu amaçla ilk olarak tüplere 100’er mg örnek tartılmış, üzerlerine 3.5 ml sodyum maleat tampon çözeltisi eklenmiş ve 5 sn vorteks ile karıştırılmıştır. Ardından örnekler sıcaklıklarının eşitlenmesi için 37°C’deki su banyosunda 5 dk bekletilmiştir. Sıcaklıkları eşitlenen örneklerin üzerine 0.5 ml pankreatik α -amilaz/amiloglukozidaz çözeltisi

eklenmiştir. Daha sonra örnekler 37°C'deki su banyosunda 4 saat süre ile inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda tüplere 4 ml %95'lik etanol eklenerek vorteks ile karıştırılmış, ardından 4000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Sıvı fazın ayrılması ile arta kalan pelet 2ml %50'lik etanolde çözündürülmüş, üzerine tekrar 6 ml %50'lik etanol eklenmiş, karıştırılmış ve 4000 rpm'de 10 dk santrifüj edilerek yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi iki kez tekrarlandıktan sonra, tüplerde kalan sıvı faz kurutma kağıdı ile tamamen örneklerden uzaklaştırılmıştır. Santrifüj işlemlerinden sonra ayrılan süpernatantların hepsi bir tüpte toplanarak sindirilebilir nişasta içeriğinin (%) belirlenmesinde kullanılmıştır.

Dirençli nişasta içeriğinin belirlenmesi amacıyla elde edilen peletlerin üzerine 2 ml soğuk 1.7 M NaOH çözeltisi eklenerek, buz banyosu içerisinde 20 dk boyunca sürekli karıştırılarak örneklerin çözünmesi sağlanmıştır. Ardından, karıştırma işlemi devam ederken, örnekler üzerine 8 ml 1 M sodyum asetat tampon çözeltisi ve 0.1 ml amiloglukozidaz enzimi ilave edilerek, tüpler 50°C'deki su banyosuna alınarak 30 dk boyunca karıştırılarak inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından örnekler 13000 rpm'de 5 dk santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatandan 0.1 ml alınarak test tüplerine aktarılmış, üzerine 3 ml glukoz oksidaz/peroksidaz reaktifi (GOPOD) çözeltisi eklenmiş ve 50°C'de 20 dk inkübe edilmiştir. Süre sonunda örneklerin absorbansı 510 nm dalga boyunda okutularak dirençli nişasta içerikleri (%) hesaplanmıştır. Dirençli nişasta ve sindirilebilir nişasta içeriklerinin toplamından ise toplam nişasta içeriği (%) belirlenmiştir.

3.2.5.1.7. Fitik asit analizi

Haug ve Lantzsch (1983)'e göre kolorimetrik metot kullanılarak yapılmıştır. Örneklerdeki fitik asit, hidroklorik asit çözeltisi ile ekstrakte edilmiş ve Demir III çözeltisi ile çöktürülmüştür. 519 nm dalga boyunda gerçekleştirilen absorbans okumaları sonucu elde edilen değerlerden fitik asit miktarı (mg/100 g) hesaplanmıştır.

3.2.5.1.8. Fenolik madde miktarı analizleri

Serbest (çözünür, ekstrakte edilebilir) ve bağlı (çözünmez, hidrolize edilebilir) formdaki fenolik bileşikler ve antioksidan özelliklerin belirlenmesi için, ilk olarak örneklerden ekstratlar elde edilmiştir.

Serbest fenolik madde ekstraktının elde edilebilmesi için; 2 g örnek, 20 ml asitlendirilmiş metanol (HCl/metanol/su, 1:80:10, h/h) içerisinde, 120 dk boyunca su banyosunda ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$) çalkalanmıştır. Süre sonunda örnekler 4°C ve 3500 rpm'de santrifüj edilerek süpernatant elde edilmiştir. Bağlı fenolik madde ekstraktının elde edilebilmesi için ise serbest fenolik madde ekstraktlarındaki kalıntıların üzerine 20 ml asitlendirilmiş metanol (H_2SO_4 /metanol, 10:1, h/h) konularak, 85°C 'deki su banyosunda 20 saat bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler oda sıcaklığına kadar soğutulmuş, ardından 4°C ve 3500 rpm'de 10 dk santrifüj edilerek bağlı fenolik madde ekstraktının süpernatantı elde edilmiştir (Vitali ve ark., 2009; Aydın, 2014).

Serbest ve bağlı ekstraktların fenolik madde içerikleri Folin-Ciocalteu kolorimetrik metodu ile 100 g örnekteki gallik asit eşdeğeri cinsinden mg fenolik madde içeriği (mg GAE/100 g) olarak belirlenmiştir (Naczek ve Shahidi, 2004; Vitali ve ark., 2009; Aydın, 2014). Bu amaçla, analizde kullanılan çözeltiler aşağıda belirtilen şekilde hazırlanmıştır.

Lowry A Çözeltisi: 0.1 mol/l NaOH çözeltisi içerisinde %2'lik Na_2CO_3 çözüldürülmüştür.

Lowry B Çözeltisi: %1'lik $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ çözeltisi içerisinde %0.5'lik CuSO_4 çözüldürülmüştür. Bu çözelti analiz gününde taze olarak hazırlanmıştır.

Lowry C Çözeltisi: 50:1 (h/h) oranında Lowry A ve Lowry B çözeltilerinin karıştırılması ile hazırlanmıştır.

Reaktif: Folin-Ciocalteu 1:3 oranında saf su ile seyreltilmiştir.

Fenolik madde miktarının belirlenmesi amacıyla 0.1 ml ekstrakt (serbest ve bağlı) üzerine 1.5 ml saf su ve 2.5 ml Lowry C çözeltisi eklenmiş, tüpler vorteks ile karıştırılmış ve oda sıcaklığında 10 dk bekletilmiştir. Ardından 0.25 ml Folin-Ciocalteu çözeltisi eklenerek tekrar vorteksle karıştırılmış ve 30 dk karanlıkta inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda örneklerin absorban okumaları spektrofotometrede (Libra S60, Biochrom Ltd., Cambridge, İngiltere) 750 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir (Naczek ve Shahidi, 2004; Vitali ve ark., 2009; Aydın, 2014).

3.2.5.1.9. Antioksidan aktivite analizleri

Antioksidan aktivitenin belirlenmesinde DPPH (Brand-Williams ve ark., 1995) ve demir iyonu indirgeyici antioksidan güç (FRAP) (Benzie ve Strain, 1996) metotları kullanılmıştır. Bu amaçla örneklerden fenolik madde başlığında da belirtildiği üzere öncelikle serbest ve bağlı ekstraktlar elde edilmiştir.

DPPH tayini için 0.2 ml süpernatant üzerine 3.8 ml 60 µmol DPPH çözeltisi eklenmiş ve örnekler oda sıcaklığında 30 dk karanlıkta inkübe edilmiştir. Süre sonunda spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunarak DPPH radikal yakalama aktivitesi değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar 100 g örnekteki trolox eşdeğeri cinsinden mg antioksidan kapasite (mg TE/100 g) olarak ifade edilmiştir.

FRAP tayini için ise 75 µl süpernatant üzerine, 2.25 ml FRAP reaktifi ve 225 µl saf su eklenerek, oda sıcaklığında 30 dk karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda 593 nm dalga boyunda örneklerin absorbans okumaları yapılmış ve elde edilen değerlerden FRAP antioksidan gücü değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar 100 g örnekteki trolox eşdeğeri cinsinden mg antioksidan kapasite (mg TE/100 g) olarak ifade edilmiştir.

3.2.5.1.10. Mineral madde analizi

Hammaddelerdeki Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Se, Na, Mg ve K elementlerinin belirlenmesi için 0.3 g kuru örneğin üzerine 7 ml HNO₃+H₂SO₄ ilave edilerek mikrodalga fırında (Mars 5, USA) yakılmış ve elde edilen süzüntülerdeki mineral madde miktarları (mg/100 g) indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektroskopisi (ICP-AES) cihazında (Vista Series, Varian International, AG, İsviçre) belirlenmiştir (Skujins, 1998).

3.2.5.1.11. HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde analizi

Hidroklorik asit (HCl) ile ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerinin belirlenmesinde, örnekler 3.2.5.1.12 başlığında belirtilen işlemlere tabi tutulmuştur. 100 ml'ye saf suyla tamamlanan örneklerde 3.2.5.1.10 başlığında belirtildiği şekilde mineral madde analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlardan HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri (mg/100 g) hesaplanmıştır.

3.2.5.1.12. Gastrik sindirilebilirlik analizi

Gastrik sindirilebilirlik ve kül sindirilebilirlik oranları, *in vitro* olarak Bookwalter ve ark. (1987) ve Saharan ve ark. (2001)'na göre, modifiye edilerek belirlenmiştir. 1 gram öğütülmüş örnek üzerine 25 ml pepsin çözeltisi (0.03 N 1 litre HCl+2 g pepsin) ilave edilip karıştırılmış, bu karışım çalkalamalı su banyosunda 40°C'de 3 saat tutulmuş, bu sürenin sonunda her bir örnek standart külsüz filtre kağıdı ile süzülmüştür. Sindirilebilir protein oranlarının belirlenebilmesi için, bu süzüntülerden 20'şer ml alınarak yağ yakma işlemi yapılmış ve 100 ml'ye saf suyla tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen bu çözeltilerde Dumas metoduyla (Leco FP828, Hollanda) protein analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, toplam protein içerikleri ile oranlanarak sindirilebilir protein oranları (%) tespit edilmiştir.

3.2.5.1.13. Sindirilebilir kül analizi

Sindirilebilir kül oranlarının belirlenmesinde, örnekler 3.2.5.1.12 başlığında belirtilen işlemlere tabi tutulmuştur. Süzme işleminin ardından filtre kağıdında kalan tortu filtre kağıdı ile birlikte kül fırınında yakılarak kül miktarı belirlenmiş, bu değerden sindirilebilir kül oranları (%) hesaplanmıştır.

3.2.5.1.14. Sindirilebilir nişasta analizi

Sindirilebilir nişasta içeriğinin belirlenmesi amacıyla 3.2.5.1.6 başlığında belirtildiği şekilde elde edilen süpernatandan 0.1 ml alınarak test tüplerine aktarılmış, üzerine 3 ml GOPOD çözeltisi eklenmiş ve 50°C'de 20 dk inkübe edilmiştir. Süre sonunda örneklerin absorbansı 510 nm dalga boyunda okutularak sindirilebilir nişasta içerikleri (%) hesaplanmıştır.

3.2.5.2. Tarhana analizleri

Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle üretilen tarhana örnekleri kurutulup 500 µm elekten elendikten sonra aşağıda belirtilen analizlere tabi tutulmuştur.

3.2.5.2.1. Renk analizi

3.2.5.1.1 başlığında belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.2.2. Fizikokimyasal özellik analizleri

a) Fermantasyon kaybı hesabı: Tarhana örneklerinde gerçekleşen fermantasyon kaybı (%), Bilgiçli (2009a)'a göre aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Fermantasyon Kaybı (\%)} = 100 * [(a*b) - (c*d)] / (a*b)$$

- a: Fermantasyon öncesi tarhana hamurunun ağırlığı (g)
- b: Fermantasyon öncesi tarhana hamurunun kuru madde oranı (%)
- c: Öğütülmüş tarhananın toplam ağırlığı (g)
- d: Öğütülmüş tarhananın kuru madde oranı (%)

b) Su ve yağ absorpsiyon kapasitesi analizleri: Su ve yağ absorpsiyon kapasiteleri Hayta ve ark. (2002)'na göre belirlenmiştir. 5 g tarhana örneği santrifüj tüplerine tartılarak 25 ml saf su veya ayçiçek yağı ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışım santrifüjlenerek, gram tarhana başına emilen su veya yağ miktarı belirlenmiş ve su/yağ absorpsiyon kapasiteleri (ml/g) hesaplanmıştır.

c) Köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi analizleri: Köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değerleri Hayta ve ark. (2002)'na göre belirlenmiştir. 10 g tarhana örneği saf su ile karıştırıldıktan sonra santrifüjlenmiş, ardından elde edilen süpernatant, 2 dk boyunca yüksek hızda çırpılmış ve 10 sn sonra köpüğün hacmi kaydedilmiştir. Köpürme kapasitesi, çözeltinin ml'sindeki gazın hacmi (ml) olarak ifade edilmiştir. Köpük stabilitesi ise orijinal köpük hacminin yarısı kaybolana kadar geçen süre olarak kaydedilmiştir.

d) Emülsiyon aktivitesi analizi: Emülsiyon aktivitesinin belirlenmesinde, 10 g tarhana, saf suyla 20 dk karıştırılmış ve santrifüj edilmiştir. Ardından eşit hacimlerde süpernatant ve ayçiçek yağı karıştırılmış, homojenize edilmiş ve bir mezüre aktarılmıştır. Emülsiyon aktivitesi, karışımın toplam hacmi içinde emülsiyon haline getirilmiş tabakanın yüzde hacmi olarak (%) ifade edilmiştir (Hayta ve ark., 2002).

3.2.5.2.3. Kimyasal analizler

a) Nem analizi: 3.2.5.1.2 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

b) Ham kül analizi: 3.2.5.1.3 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

c) Ham yağ analizi: 3.2.5.1.4 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

d) Ham protein analizi: 3.2.5.1.5 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

e) Nişasta analizi: 3.2.5.1.6 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

f) Karbonhidrat ve enerji değerinin hesaplanması: Tarhana örneklerinin karbonhidrat ve enerji değerleri Schakel ve ark. (1997)'na göre aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Karbonhidrat (\%)} = 100 - (\%nem + \%protein + \%yağ + \%kül)$$

$$\text{Enerji (kcal/100 g)} = 4*(\%karbonhidrat) + 4*(\%protein) + 9*(\%yağ)$$

g) Fitik asit analizi: 3.2.5.1.7 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

h) Fenolik madde miktarı analizleri: 3.2.5.1.8 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

i) Antioksidan aktivite analizleri: 3.2.5.1.9 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

i) Mineral madde analizi: 3.2.5.1.10 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

j) Ekstrakte edilebilir mineral madde analizi: 3.2.5.1.11 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

k) Gastrik sindirilebilirlik analizi: 3.2.5.1.12 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

l) Sindirilebilir kül analizi: 3.2.5.1.13 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

m) Sindirilebilir nişasta analizi: 3.2.5.1.14 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.2.4. Duyusal analiz

20 g tarhana örneği, 200 ml saf su ile karıştırılmış ve orta ateşte 12 dk kaynatılarak tarhana örneklerinden çorbalar hazırlanmıştır. Duyusal analiz çorba örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme; renk, tat, kıvam, yapışkanlık, ekşilik, kumluluk ve genel kabul edilebilirlik parametreleri göz önüne alınarak, 12 panelist tarafından, 1-9 puan arasındaki hedonik skala (1: aşırı kötü, 5: orta, 9: aşırı iyi) kullanılarak yapılacaktır (Hooda ve Jood, 2005; Bilgiçli, 2009a).

3.2.5.3. Ekmek analizleri

Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinde aşağıda belirtilen analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.3.1. Renk analizi

3.2.5.1.1 başlığında belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.3.2. Fiziksel analizler

a) Ağırlık, hacim ve spesifik hacim ölçümleri: Ekmek örneklerinin ağırlık ve hacim değerleri, pişirme sonrasında 60 dk oda sıcaklığında dinlendirmenin ardından belirlenmiştir. Hacim ölçümü; AACC 10-05 metoduna uygun olarak, kolza tohumu ile yer değiştirme esasına göre yapılmıştır (AACC, 2010). Hacmin ağırlığa oranlanması ile spesifik hacim değeri (ml/g) tespit edilmiştir (Elgün ve ark., 2001).

b) Tekstür profili analizi: TPA analizi AACC 74-09 standart metoduna göre, tekstür analiz cihazı (TA.XT plus, Texture Exponent Stable Micro Systems Ltd., UK) kullanılarak, depolamanın 1. ve 3. günlerinde gerçekleştirilmiştir (AACC, 2010). 2.5 cm kalınlığında kesilen ekmek dilimlerinin üzerine silindir prob (P/36R) ile iki defa baskı uygulanması sonucu elde edilen grafiğin değerlendirilmesi ile örneklerin; sertlik (hardness), elastikiyet (springiness), koheziflik (cohesiveness), sakızımsılık (gumminess), çiğnenebilirlik (chewiness) ve esneklik (resilience) değerleri belirlenmiştir.

3.2.5.3.3. Kimyasal analizler

a) Nem analizi: 3.2.5.1.2 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

b) Ham kül analizi: 3.2.5.1.3 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

c) Ham yağ analizi: 3.2.5.1.4 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

d) Ham protein analizi: 3.2.5.1.5 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

e) Nişasta analizi: 3.2.5.1.6 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

f) Karbonhidrat ve enerji değerinin hesaplanması: 3.2.5.2.3 başlığının f) maddesinde belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

g) Fitik asit analizi: 3.2.5.1.7 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

h) Fenolik madde miktarı analizleri: 3.2.5.1.8 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

ı) Antioksidan aktivite analizleri: 3.2.5.1.9 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

i) Mineral madde analizi: 3.2.5.1.10 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

j) Ekstrakte edilebilir mineral analizi: 3.2.5.1.11 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

k) Gastrik sindirilebilirlik analizi: 3.2.5.1.12 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

l) Sindirilebilir kül analizi: 3.2.5.1.13 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

m) Sindirilebilir nişasta analizi: 3.2.5.1.14 başlığında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.3.4. Duyusal analiz

Ekmek örnekleri; tat, koku, görünüş, simetri, gözenek yapısı ve genel beğeni özellikleri bakımından, 12 panelist tarafından değerlendirilmiş olup, değerlendirmede 1-9 puan arasındaki hedonik skala (1: aşırı kötü, 5: orta, 9: aşırı iyi) kullanılmıştır (Hooda ve Jood, 2005).

3.2.6. İstatistikî analiz

İstatistikî analizlerde JMP istatistik programının 5.0.1 versiyonu (SAS Institute Inc., NC, ABD) kullanılmıştır. Elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuş, ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları karşılaştırılmıştır. İstatistikî analiz sonuçları tablolar halinde özetlenmiş, önemli bulunan interaksiyonlar şekiller üzerinde tartışılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hammadde Analiz Sonuçları

4.1.1. Renk değerleri

Renk, elektromanyetik spektrumda 390 nm ile 760 nm dalga boyları arasındaki ışığın insan retinası üzerindeki etkisi olarak tanımlanabilmektedir (Francis, 1995). Gıdalarda bulunan doğal renk pigmentleri ışığı iletme ya da yansıtma özellikleriyle kolorimetreler veya spektrofotometreler yardımıyla tespit edilebilmekte ve gıdanın bileşimindeki antosiyaninler, betalainler, flavonoidler, karotenoidler ve klorofiller gibi kimyasal renk bileşenleri hakkında bilgi verebilmektedir (Kutlu ve ark., 2022). Ayrıca gıdalarda renk; tazelik, olgunluk, bileşim ve pişirme yeterliliği gibi birçok farklı doğal ve endüstriyel proses için bir indikatör görevindedir. Gıdaların işlenmesinde uygulanan sıcaklık, basınç ve sürtünme gibi pek çok farklı uygulama ise gıdaların doğal renk özellikleri üzerinde pozitif ya da negatif etkiler gösterebilmektedir (Joshi, 2001).

Hammaddelerin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Hammaddelerin L^* değerlerinin 79.24 ile 95.42 arasında, a^* değerlerinin -5.44 ile -2.50 arasında, b^* değerlerinin ise 13.88 ile 22.62 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Hammaddelerin renk değerlerine ait analiz sonuçları¹

Çeşit ²	L^*	a^*	b^*
Buğday unu	95.42±0.03 a	-5.44±0.03 d	14.88±0.06 b
DKB	79.42±0.38 e	-2.75±0.04 b	13.88±0.18 c
USKB	80.42±0.15 d	-2.84±0.01 b	14.38±0.02 bc
LpKB	79.24±0.13 e	-2.72±0.05 b	14.38±0.15 bc
DA	82.06±0.01 c	-2.97±0.03 c	22.16±0.04 a
USA	83.56±0.08 b	-2.82±0.01 b	22.62±0.02 a
LpA	82.56±0.01 c	-2.50±0.02 a	22.08±0.23 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ²DKB: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu. USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu. LpKB: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday unu. DA: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu. USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu. LpA: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant unu.

Analiz sonuçlarına göre en yüksek L^* ve en düşük a^* değerinin buğday ununda olduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.1). Amarant unu örneklerinin L^* değerlerinin

karabuğday unlarından yüksek olduğu, ultrason uygulamasının ise hem karabuğday hem amarant örneklerinde L^* değerini artırdığı görülmüştür. Karabuğday unu örneklerinin a^* değeri üzerinde çimlendirme ön işleminin önemli bir etkisi bulunmazken, en yüksek a^* değerinin *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilen amarant örneklerinde olduğu tespit edilmiştir. Amarant unu örneklerinin b^* değerlerinin diğer hammaddelerden yüksek olduğu ve çimlendirme ön işlemlerinin hammaddelerin b^* değerleri üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Bu çalışmada, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının renk L^* değerlerinin yüksek bulunmasının sebebinin (Çizelge 4.1), ultrason uygulaması sırasında meydana gelen kavitasyon olduğu ve kavitasyon sonucu tanelerin özellikle kabuk kısmında bulunan renk pigmentlerinin uygulamanın gerçekleştirildiği matrise (bekletme suyuna) geçerek renk L^* değerini artırıcı etki gösterdiği söylenebilir.

Benzer şekilde; Kutlu ve ark. (2022) bir çalışmalarında ultrason destekli ekstraksiyonun bitkilerden elde edilen karotenoidler, fenolik bileşikler, antosiyaninler ve klorofil gibi doğal renk maddelerinin salınımını artırdığını belirtmişlerdir. Bunun nedeninin ise ultrason uygulamasıyla meydana gelen kavitasyon sonucu hücre zarında bozulma oluşması, kütle transfer hızının artması ve buna bağlı olarak hücre içi bileşiklerin salınımı olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde başka bir çalışmada, ultrason uygulamasının gıdalar üzerindeki etkisinin; kimyasal reaksiyonların hızlanmasına, difüzyon hızının artmasına, agregatlar, enzimler ve mikroorganizmalar gibi hassas bileşiklerin parçalanmasına ve diğer birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişikliğe neden olan kavitasyondan kaynaklandığı bildirilmiştir (Tiwari ve ark., 2008). Kurek ve ark. (2018) ise diyet lif ekstraksiyonunda, amarant tohumu ve amarant ununa ultrason uygulandığı takdirde, elde edilen diyet liflerin L^* değerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Bilgiçli ve İbanoğlu (2007) buğday ununun L^* , a^* , b^* değerlerini sırasıyla 94.6, 0.5, 13.7 olarak, Demir ve ark. (2021) ise 92.74, -0.50, 9.34 olarak tespit etmişlerdir. Punia ve ark. (2019) bir çalışmalarında, yüksek proteinli buğday unu örneklerinin L^* , a^* , b^* değerlerinin sırasıyla, 71.2-78.8, 1.55-2.26, 8.49-10.69 arasında, düşük proteinli buğday unlarının L^* , a^* , b^* değerlerinin ise yine sırasıyla 71.2-78.9, 1.62-2.45, 9.31-12.00 arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Bir başka güncel çalışmada ise buğday ununun L^* , a^* , b^* değerlerinin 92.50, -0.40 ve 9.75 olarak bulunduğu bildirilmiştir (Yaver, 2023). Bu çalışmadan elde edilen verilerin literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Lee ve ark. (2004) ham, 3 ve 7 gün çimlendirilmiş, ardından dondurularak kurutulmuş karabuğday örneklerinin L^* değerlerini sırasıyla 80.2, 80.9, 76.1, a^* değerlerini sırasıyla 0.095, 0.780, 1.360 ve b^* 10.0, 12.4, 16.5 olarak tespit etmişlerdir. Örnekleri doğal olarak kuruttuklarında ise L^* değerlerinin sırasıyla 80.4, 77.3, 70.5, a^* değerlerinin sırasıyla 0.293, 1.210, 2.490 ve b^* değerlerinin sırasıyla 9.15, 12.2, 13.5 olduğunu bulmuşlardır. Yang ve ark. (2021), bir çalışmada 4 güne kadar çimlendirilmiş karabuğday örneklerinin L^* değerlerinin 89.40 ile 92.44 arasında, a^* değerlerinin -0.10 ile 0.34 arasında ve b^* değerlerinin ise 7.33 ile 8.43 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada çimlenme süresi arttıkça karabuğday örneklerinin L^* ve b^* değerlerinin arttığı, a^* değerinin ise azaldığı dikkat çekmiştir. Başka bir çalışmada ise farklı katı:sıvı oranları ile ultrason uygulanmış karabuğday unlarının L^* değerlerinin 82.66-84.76, a^* değerlerinin 1.12-1.31 ve b^* değerlerinin 7.83-7.93 arasında değiştiği bildirilmiştir (Harasym ve ark., 2020).

Paredes-Lopez ve Mora-Escobedo (1989) 72 saate kadar çimlendirilen amarant örneklerinin L^* değerlerinin 48.5-63.0, a^* değerlerinin 0.8-5.2 ve b^* değerlerinin 10.3-12.7 arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Olawoye ve ark. (2020) bir çalışmada, çimlendirilmiş amarantın L^* değerini 69.04, a^* değerini 1.80 ve b^* değerini 7.90 olarak tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıkların; kullanılan tohum çeşidinden, çimlendirme parametreleri arasındaki farklılıklardan ve uygulanan çimlendirme ön işlemlerinden kaynaklanıyor olabileceği ön görülmektedir.

4.1.2. Kimyasal analiz sonuçları

Gıdalar, beslenme ve zevk alma olmak üzere iki farklı kategoride değerlendirildiğinde, gıdanın besin ve hedonik değeri olmak üzere iki farklı değerlendirme kriteri ile karşılaşılmaktadır. Gıdaların yapıtaşını oluşturan kimyasal bileşikler ve bu bileşiklerin insan beslenmesi üzerindeki etkileri kısmen tanımlanmıştır. Dolayısıyla gıdaların besin değerinin belirlenmesinin, hedonik değerinin belirlenmesinden daha kolay olduğu söylenebilir (Belitz ve ark., 2008). Beslenme şekli, birçok hastalık üzerinde kritik etkiye sahip olmakla birlikte, beslenme yetersizliği sonucu açlığa bağlı ölümler günümüzde dahi önemli bir insani problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla sağlıkta devamlılığın sağlanması ve hatta insan ömrünün uzatılması yeme alışkanlıklarının değiştirilmesiyle mümkün kılınabilmektedir (Coultrate, 2009). Gıdaların kompleks yapılarını açıklamak ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini

anlamak için önce bileşimlerinin aydınlatılması, ardından işlenmesi sırasında bileşimlerinde meydana gelen değişikliklerin açıklanması gerekmektedir. Gıdaların kimyasal yapılarının anlaşılması, sadece besinsel anlamda değil, teknolojik ve endüstriyel anlamda da yenilikçi yaklaşımlara katkı sağlamaktadır (Belitz ve ark., 2008).

Hammaddelerin bazı kimyasal analiz sonuçlarına ait analiz sonuçları Çizelge 4.2’de özetlenmiştir. Hammaddeler arasındaki en yüksek nem değerinin buğday ununda olduğu, çimlendirilmiş amarant unlarının nem değerlerinin ise çimlendirilmiş karabuğday unlarından yüksek olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Karabuğday unu örneklerinin nem değerleri arasında uygulanan çimlendirme ön işlemine bağlı olarak önemli bir farklılık görülmezken ($p>0.05$), *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant ununun nem değerinin diğer amarant unu örneklerine göre istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek bulunduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Hammaddelerin kül değerleri %0.71 ile %2.34 arasında değişim göstermiştir. En düşük kül içeriği buğday ununda tespit edilmiştir. Çimlendirme ön işlemlerinin amarant unlarının kül değerleri üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkisi bulunmamıştır ($p>0.05$). Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun kül içeriğinin, *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun kül içeriğinden istatistiksel olarak önemli şekilde düşük ($p<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Hammaddelerin yağ içeriklerinde de kül içeriklerine benzer bir eğilim gözlenmiştir. En düşük yağ içeriğine sahip örneğin buğday unu (%1.00), en yüksek yağ içeriğine sahip örneğin ise (%5.64) dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu olduğu görülmüştür. Ultrason uygulamasının çimlendirilmiş amarant ununun yağ içeriği üzerinde önemli bir azaltıcı etkisi olduğu dikkat çekmektedir ($p<0.05$). Hammaddelerin protein içerikleri %9.26 ile %12.51 arasında değişim göstermiştir. Buğday ununun protein içeriğinin diğer hammaddelerden istatistiksel olarak önemli derecede düşük bulunduğu tespit edilmiştir. LpA örneğinin protein içeriğinin diğer amarant unlarından düşük bulunması ise dikkat çekmektedir ($p<0.05$).

Hameed ve ark. (2009) bir çalışmalarında *Suaeda fruticosa* tohumlarına NaOCl ile uygulanan kimyasal dezenfeksiyon işleminin, bitkinin çimlenmesi üzerinde pozitif etki gösterdiğini ve bitkinin çimlenip çoğalma hızını artırdığını tespit etmişlerdir. Literatürde, kırmızı pirinçte çimlendirme süresi arttıkça örneklerin kül içeriğinin azaldığı bildirilmiştir (Müller ve ark., 2021).

Çizelge 4.2. Hammaddelerin bazı kimyasal analiz sonuçları¹

Çeşit ²	Nem (%)	Ham kül (%)	Ham yağ (%)	Ham protein (%)	Dirençli nişasta (%)	Toplam nişasta (%)	Fitik asit (mg/100 g)
Buğday unu	9.43±0.06 a	0.71±0.02 d	1.00±0.01 d	9.26±0.24 e	4.44±0.06 b	55.02±0.38 c	665.77±2.74 c
DKB	4.71±0.14 c	1.88±0.03 c	2.16±0.13 c	10.54±0.04 d	9.06±0.21 a	73.60±2.31 a	1789.08±2.74 a
USKB	4.92±0.09 c	1.91±0.01 bc	2.05±0.13 c	11.07±0.04 cd	7.76±0.26 a	73.88±4.03 a	1750.73±2.74 ab
LpKB	4.46±0.34 c	2.00±0.01 b	1.96±0.06 c	10.72±0.13 d	7.56±0.02 a	70.08±1.66 ab	1712.37±2.74 b
DA	6.53±0.17 b	2.34±0.01 a	5.64±0.10 a	12.51±0.01 a	8.78±0.55 a	59.83±0.27 bc	1742.04±2.74 ab
USA	7.16±0.16 b	2.30±0.01 a	4.47±0.31 b	12.30±0.13 ab	7.82±0.09 a	60.91±0.51 abc	1737.03±0.01 b
LpA	8.62±0.07 a	2.28±0.02 a	5.22±0.06 ab	11.77±0.04 bc	7.67±0.32 a	62.47±2.23 abc	1739.76±19.18 b

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²DKB: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu. USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu. LpKB: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday unu. DA: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu. USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu. LpA: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant unu.

Bu bilgiler ışığında, DKB örneklerinin kül içeriğinin diğer çimlendirilmiş karabuğday örneklerinden düşük bulunmasının (Çizelge 4.2), NaOCl ile yapılan kimyasal uygulamanın diğer ön işlemlere göre karabuğday tohumlarının çimlenme hızını artırması ve meydana gelen hızlı çimlenmenin kül içeriğini azaltıcı bir etki göstermesinden kaynaklandığı yorumu yapılabilir. Aynı etki amarant örneklerinde görülmemiş olup, analiz sonuçlarındaki bu farklılık üzerindeki en önemli etkenin kullanılan hammadde çeşidi, bitkilerin genetik özellikleri, tohum yapıları ve bileşiminden kaynaklı olduğu söylenebilir.

Bui ve ark. (2021), ultrason uygulaması ile sütteki yağ globüllerinin bozulduğunu ve bu bozulma sonucu daha küçük yapıya sahip olan yağ globülleri ile trigliseritlerin sulu faza salındığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu örneğinin yağ içeriğinin diğer amarant örneklerine göre daha düşük bulunması (Çizelge 4.2), ultrason uygulaması sırasında örnek içerisindeki yağ partiküllerinin daha küçük partiküllere parçalanarak uygulamanın yapıldığı sulu ortama geçişinin hızlanması ile açıklanabilmektedir.

Swieca ve ark. (2019a) probiyotik *S. cerevisiae var. boulardii* inoküle edilerek çimlendirilmiş Adzuki fasulyesi örneklerinin protein içeriğinin, mikrobiyal inokülasyon ile yaklaşık %45 azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada, protein içeriği azalan örneklerin protein sindirilebilirliklerinin ise kısmen yüksek bulunmasının da dikkat çektiği bildirilmiştir. LpA örneklerinin protein içeriğinin düşük bulunması, bu çalışmada bildirilen sonuçlar ile uyum içerisinde. Rui ve ark. (2015) bir çalışmalarında, *L. plantarum* ile fermente edilen Etiyopya fasulyesi (navy bean) örneklerinin protein içeriklerinin istatistiksel olarak önemli bir şekilde azaldığını tespit etmişlerdir. Protein içeriğindeki bu azalmanın literatürde bildirilen diğer çalışmalar ile uyum içerisinde olmadığı belirtilmiş ve bu azalmaya neden olan etken, örneklerde gerçekleşmiş olabilecek proteoliz olayı ile açıklanmıştır. Dolayısıyla, LpA örneklerinin protein içeriğinin düşük bulunmasının muhtemel sebebinin, *L. plantarum* gibi laktik asit bakterilerinin hücre zarfı proteinazlarının (CEP) aktivasyonu ile meydana gelebilecek proteoliz olduğu söylenebilir (Rui ve ark., 2015).

Literatürde yer alan bir çalışmada buğday ununun nem, kül, yağ ve protein içeriklerinin sırasıyla %12, %1.12, %1.5 ve %12.8 olduğu bildirilmiştir (Al-Sahlanı ve Al-musafer, 2020). Başka bir çalışmada ise bu içerikler sırasıyla %11.18, %0.62, %0.92 ve %11.44 olarak tespit edilmiştir (Olçay ve Demir, 2021). Kulathunga ve ark. (2021) bir çalışmalarında siyez, emmer, kılçıksız buğday ve sert kırmızı yazlık tam buğday unlarının

ortalama nem içeriklerinin sırasıyla %9.0, %9.4, %8.9 ve %10.4, kül içeriklerinin %2.2, %2.2, %2.1 ve %2.2, yağ içeriklerinin %2.3, %2.1, %1.6 ve %1.1, protein içeriklerinin ise %14.6, %14.5, %15.2 ve %17.3 bulunduğunu bildirmişlerdir.

Kowalski ve ark. (2022) buğday ununun nem, kül, yağ ve protein içeriklerini sırasıyla 13.36, 0.54, 1.76 ve 13.13 g/100 g olarak tespit ederken, Yaver (2023) buğday ununun bu majör kompozisyon içeriklerini sırasıyla 109.32, 6.41, 10.11 ve 102.13 g/kg olarak tespit etmiştir. Buğday ununun kimyasal madde içerikleri arasında; çeşit, yetiştirme koşulları ve analiz koşulları gibi farklılıklardan kaynaklanan deskriptif farklılıklar bulunsa da genel olarak bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Thakur ve ark. (2021) yalancı tahılların kimyasal kompozisyonu üzerinde çimlendirmenin etkisini araştırdıkları bir çalışmada, çimlendirmenin 48. saatinde karabuğdayın nem içeriğinin %11.56'dan %7.49'a, amarantın nem içeriğinin ise %10.31'den %9.95'e düştüğünü tespit etmişlerdir. 48 saat çimlendirilmiş karabuğdayın kül, yağ ve protein içerikleri sırasıyla %1.57, %1.18 ve %16.87 bulunurken, bu değerler amarant için %2.15, %3.68 ve %18.39 olarak bulunmuştur. Başka bir çalışmada, 2 gün çimlendirilen karabuğday örneklerinin nem, kül, yağ ve protein içeriklerinin sırasıyla %12.77, %1.53, %2.05 ve %12.14 olarak tespit edildiği bildirilmiştir (Shreeja ve ark., 2021). Hung ve ark. (2021) ise bir çalışmada 2 gün çimlendirilen karabuğday örneklerinin kül, yağ ve protein içeriklerinin sırasıyla %2.37, %4.19 ve %15.76 olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Siwatch ve ark. (2019), 2 gün çimlendirilen amarant örneklerinin nem, kül, yağ ve protein içeriklerini sırasıyla; %9.05, %2.20, %6.51 ve %16.19 olarak tespit etmişlerdir. Guardianelli ve ark. (2019a) ise 24 saat çimlendirilen amarant tohumlarının nem içeriğini %8.5, kül içeriğini %3.11, yağ içeriğini %5.91 ve protein içeriğini %15.5 olarak tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise yine 24 saat çimlendirilen amarant örneğinin, %2.96 kül, %4.56 yağ ve %15.56 protein içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Chauhan ve Singh, 2013). Bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatürde bildirilen çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmüş olup, analiz sonuçları arasındaki deskriptif farklılıkların kullanılan hammadde cinsi ve uygulanan çimlendirme koşulları gib farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Hammaddelerin dirençli nişasta içerikleri %4.44 ile %9.06 arasında, toplam nişasta içerikleri ise %55.02 ile %73.88 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.2). En düşük dirençli ve toplam nişasta içeriklerinin buğday ununda bulunduğu tespit edilmiştir. Karabuğday ve amarantta uygulanan çimlendirme ön işlemlerinin, örneklerin dirençli

nişasta içerikleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi bulunmamıştır ($p>0.05$). Benzer bir eğilim çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının toplam nişasta içeriklerinde de dikkat çekmekte olup, genel olarak çimlendirilmiş karabuğday unlarının toplam nişasta içeriklerinin çimlendirilmiş amarant unlarından daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2).

Literatürde buğday unu ve yüksek amilozlu buğday ununun nişasta içeriklerinin %68.7 ve %62.0 olduğu bildirilmiştir (Van Hung ve ark., 2005). Štěrbová ve ark. (2016) bir çalışmalarında 7 farklı buğday çeşidinden elde edilen tam buğday unun dirençli nişasta içeriklerinin %0.1 ile %3.4 arasında, toplam nişasta içeriklerinin ise %23.9 ile %34.4 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, yine 7 farklı buğday çeşidinden elde edilen rafine beyaz unun dirençli nişasta ve toplam nişasta içeriklerinin ise %0.3 ile %2.4 ve %27.5 ile %38.4 arasında değiştiği bildirilmiştir. Ndlovu ve ark. (2021) bir çalışmalarında buğday ununun dirençli ve toplam nişasta içeriklerinin sırasıyla 5.374 ve 69.948 g/100 g bulunduğunu bildirmişlerdir. Ferjančić ve ark. (2023) farklı partikül boyutlarının unların bazı kimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışmalarında, elenmemiş ve 500 ile 350 μm gözenek açıklığına sahip eleklerle elenmiş buğday ununun dirençli nişasta içeriklerinin sırasıyla 11.94, 10.95 ve 6.71 g/100 g bulunduğunu bildirmişlerdir. Bu değerler karabuğday unu için ise sırasıyla 0.72, 0.84 ve 0.62 g/100 g olarak bildirilmiştir.

39 farklı karabuğday çeşidi üzerinde yapılan bir başka çalışmada, Tatar karabuğdayı çeşidinin dirençli ve toplam nişasta içeriklerinin ortalama %17.66 ve %70.22 olduğu, yaygın olan karabuğday çeşidinin ise %18.69 dirençli ve %73.69 toplam nişasta içerdiği bildirilmiştir (Qin ve ark., 2010). Literatürde bildirilen güncel bir çalışmada ise karabuğday ununun hızlı ile yavaş sindirilebilir nişasta ve dirençli nişasta içeriklerinin sırasıyla %25.46, %44.50 ve %30.04 olduğu belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2023a). Molska ve ark. (2022) bir çalışmalarında karabuğdayın, karabuğday filizinin ve probiyotikçe zenginleştirilmiş karabuğday filizinin dirençli nişasta içeriklerini sırasıyla 109.20, 87.83 ve 93.69 mg/g olarak, toplam nişasta içeriklerini ise 572.09, 543.32 ve 525.11 mg/g olarak tespit etmişlerdir.

İki farklı amarant türü üzerinde yapılan bir araştırmada, ham örneklerin nişasta içeriklerinin 542.8 ve 622.5 g/kg, çimlendirilmiş ve 30, 60 ve 90°C'de kurutulmuş örneklerin nişasta içeriklerinin ise sırasıyla 391.9 ve 452.5 g/kg, 389.1 ve 470.5 g/kg, 384.6 ve 468.6 g/kg bulunduğu bildirilmiştir (Gamel ve ark., 2005). Bahsedilen bu çalışmada ham örneklerin dirençli nişasta içeriklerinin 138.8 ile 170.0 g/kg, çimlendirilen

ve 30, 60 ve 90°C’de kurutulmuş örneklerin dirençli nişasta içeriklerinin ise 81.5 ile 87.1 g/kg, 70.7 ile 75.8 g/kg ve 54.2 ile 61.2 g/kg olduğu bildirilmiştir. Guardianelli ve ark. (2019a) bir çalışmada; ham, 18 ve 24 saat çimlendirilmiş amarant örneklerinin toplam nişasta içeriklerinin sırasıyla %64.4, %55.3 ve %44.1 bulunduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada, iki farklı amarant türünün (*A. caudatus* ve *A. quitensis*) ham hallerinin toplam nişasta içeriklerinin 66.92 ve 56.62 g/100 g olduğu, çimlendirilmiş hallerinin toplam nişasta içeriklerinin ise 54.69 ve 27.07 g/100 g olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ham örneklerin dirençli nişasta içerikleri 0.76 ve 0.37 g/100 g olarak bulunurken, çimlendirilmiş örneklerin dirençli nişasta içerikleri 0.64 ve 0.23 g/100 g olarak bulunmuştur (Cornejo ve ark., 2019).

Literatürde bildirilen tüm bu çalışmalardan yola çıkılarak, buğday ununun dirençli ve toplam nişasta içeriklerinin çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarından düşük bulunmasının beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir. Karabuğday ve amarant unlarının nişasta içerikleri ise tohumların tür, çeşit ve yetiştirme koşulları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Buna karşın, bu çalışmadan elde edilen sonuçların genel olarak literatür ile uyumlu olduğu yorumu yapılabilir.

Hammaddeler arasında en düşük fitik asit içeriği 665.77 mg/100 g ile buğday ununda bulunmuştur. En yüksek fitik asit içeriği ise DKB’de 1789.08 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Hem çimlendirilmiş karabuğday hem de amarant örneklerinin fitik asit içeriklerinin, buğday unundan oldukça yüksek bulunduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.2). Alkandari ve ark. (2021) bir çalışmada, tam buğday ununun toplam ve fitik fosfor içeriklerini 2.33 ve 1.74 mg/g olarak, rafine buğday ununun toplam ve fitik fosfor içeriklerini ise 1.08 ve 0.46 mg/g olarak tespit etmişlerdir. Subaşı ve Ercan (2023) ise dört farklı buğday çeşidinin ekşi hamurlu ekmeğin besinsel özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları bir çalışmada, buğday örneklerinin fitik asit içeriklerinin 679 ile 778 mg/100 g arasında, fitat fosfor içeriklerinin ise 191 ile 219 mg/100 g arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada da 100 farklı tam buğday ununun fitik asit içeriklerinin 6 ile 10 mg/g arasında değişim gösterdiği, buğday unlarının ortalama fitik asit içeriklerinin ise yaklaşık 8.50 mg/g olduğu bildirilmiştir (Febles ve ark., 2002). Benzer şekilde Türksoy ve ark. (2010) tam buğday unu örneklerinin fitik asit içeriklerinin 829.7 ile 1054.9 mg/100 g arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Egli ve ark. (2002) bir çalışmada, 48 saat çimlendirilmiş karabuğday ve amarantın fitik asit içeriklerinin sırasıyla 1.48 ve 1.130 g/100 g bulunduğunu, çimlendirme süresi arttıkça da örneklerdeki fitik asit içeriklerinde azalma meydana

geldiğini bildirmişlerdir. Thakur ve ark. (2021) ise 1, 2 ve 3 gün çimlendirilen karabuğdayın fitik asit içeriklerinin sırasıyla %1.22, %1.12 ve %1.09 olduğunu tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada, amarantın fitik asit içeriklerinin ise çimlenmenin 1, 2 ve 3. gününde %1.08, %0.98 ve %0.81 olarak değişim gösterdiği bulunmuştur.

Başka bir çalışmada, 4 gün süreyle çimlendirilen karabuğdayın fitik asit içeriğinin 16.90 mg/g'dan 2.79 mg/g'a azaldığı görülmüş, çimlenmenin 2. gününde ise fitik asit içeriğinin 5.33 mg/g olduğu tespit edilmiştir (Kumari ve ark., 2023). Benzer şekilde Zhang ve ark. (2015), 3 gün çimlendirme ile karabuğdayın fitik asit içeriğinin 15.20 mg/g'dan 12.64 mg/g'a azaldığını, 2 gün çimlendirmenin sonunda ise fitik asit içeriğinin 13.08 mg/g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Amarant örneklerinde, çimlendirme uygulamasıyla fitat içeriğinin 1.85 mg/g, malt uygulamasıyla ise fitat içeriğinin 2209 mg/100 g bulunduğu bildirilmiştir (Siwatch ve ark., 2019; Onyango ve ark., 2022). Bu tez çalışmasından elde edilen bulgular, literatürde bildirilen çalışmalar ile uyum içerisinde olup, deskriptif farklılıkların kullanılan hammadde cinsinden kaynaklandığı söylenebilir.

Hammaddelerin fitik asit içerikleri incelendiğinde, hem karabuğday hem de amarant örneklerinde ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonu yapılan örneklerin fitik asit içeriklerinin, kimyasal denefektan kullanılan örneklere kıyasla daha düşük bulunduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.2). Mohammadi ve ark. (2021) pirinç kepeğinin fitik asit içeriği üzerine farklı proses uygulamalarının etkisini araştırdıkları bir çalışmada, ultrason uygulanan örneklerin fitik asit içeriğinin ultrason uygulanmayan örneklere kıyasla oldukça düşük bulunduğunu bildirmişlerdir. Fitik asit içeriğindeki bu azalmanın, ultrason uygulaması sırasında meydana gelen kavitasyonun oluşturduğu akustik etkiden kaynaklandığı belirtilmiştir. Akustik etki, örnek yüzeyinin bozulması ve yüzey alanının artması sonucu fitik asitin örnekten uygulamanın yapıldığı sıvı ortama geçiş miktarında artış meydana gelmesi ile açıklanmıştır.

Amritha ve Venkateswaran (2018), fitat degradasyonu üzerinde *Lactobacillus plantarum* MTCC 1325'in etkisini araştırdıkları bir çalışmada, bakteri kültüründeki gelişme ile fitatı parçalayan fitaz enziminin salınımının arttığını, dolayısıyla *Lactobacillus plantarum*'un fitat degrade edici bir etkisinin bulunduğunu bildirmişlerdir. Haros ve ark. (2008) ise bir çalışmada, *L. plantarum* W42 ve *L. plantarum* 110 suşlarının, çalışmada kullanılan diğer pekçok laktik asit bakterisine kıyasla, fitik asiti degrade edici aktivitelerinin oldukça yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla, *L. plantarum* inokülasyonu karabuğday ve amarant tohumlarında fitik asiti parçalayıcı etki

göstererek, fitik asitin çimlendirmede fosfor kaynağı olarak kullanımına neden olmuş olabilir.

Sonuç olarak, ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilen yalancı tahılların fitik asit içeriklerinin düşük bulunmasının muhtemel nedenlerinin, kavitasyon sonucu oluşan akustik etki ve *L. plantarum*'un fitat degrade edici etkisi olduğu yorumu yapılabilir.

4.1.3. Fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerine ait sonuçlar

Son yıllarda çeşitli hastalıklara karşı koruyucu etkileri ile dikkat çeken biyoaktif bileşiklerin başında, bitkilerin ikincil metabolitleri olan fenolik bileşikler gelmektedir (Agregán ve ark., 2023). Fenolik bileşiklerin bitkilerdeki ikincil metabolit görevleri; bitkiyi böcekler, mikroorganizmalar, kemirgenler, kuşlar gibi biyotik ve nem, sıcaklık, radyasyon gibi abiyotik faktörlerden korumaktır. Fenolik bileşikler; basit ya da polimerik yapıda, hidroksillere ve aromatik halkaya sahip, ester ve eter bağlarıyla serbest ve bağlı formda bulunabilen kimyasal bileşiklerdir (Paucar-Menacho ve ark., 2022).

Tahıllarda ve yalancı tahıllarda çözünmeyen, bağlı formdaki fenolik bileşikler daha baskın olup, bağlı fenolik bileşikler hücre duvarının yapısındaki; selüloz, hemiselüloz, lignin pektin, karbonhidratlar, şekerler, yağ asitleri ve proteinler gibi bileşenlere kovalent bağlar yoluyla bağlanmış durumdadır. Tahıl ve yalancı tahılların hücre vakuollerinde ayrıca serbest fenolik bileşikler de bulunmaktadır (Paucar-Menacho ve ark., 2022). Fenolik bileşikler, faydalı fizyolojik etkilerin kaybına neden olabilecek bozunmalara karşı duyarlı bileşiklerdir. Tanedeki biyoaktif bileşiklerin biyoyararlılığının artırılması ve tanenin besin kalitesinin iyileştirilmesi için çimlendirme, fermantasyon ve termoplastik ekstrüzyon gibi birçok işleme teknolojileri kullanılabilir (Mir ve ark., 2018; Paucar-Menacho ve ark., 2022).

Bir moleküldeki elektron ya da hidrojenin başka bir oksidatif maddeye aktarılması sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyona oksidasyon, moleküllerin oksidasyonunu engelleyen moleküllere ise antioksidan madde denir. Oksidasyon sırasında meydana gelen eksik elektron ya da hidrojen atomuna sahip serbest radikaller, zincir reaksiyonlar oluşturarak hücrede hasara ve hatta ölüme neden olabilir (Moharram ve Youssef, 2014). Antioksidan maddeler ise hücrede, serbest radikallerin uzaklaştırılması, zincir reaksiyonların sonlandırılması ve diğer oksidatif reaksiyonların inhibe edilmesi gibi görevler üstlenmekle birlikte, bitkilerdeki polifenolik bileşikler, doğal antioksidan

maddeler olarak bilimsel çalışmalarda oldukça büyük bir ilgi görmektedir (Moon ve Shibamoto, 2009; Moharram ve Youssef, 2014).

Kompleks yapıları nedeniyle gıdaların bileşiminde bulunan antioksidan özellikteki bileşiklerin tek tek incelenmesi maliyetli ve verimsiz olarak görülmektedir. Bu nedenle gıdaların antioksidan etkinliğinin hızlı bir şekilde belirlenmesinde kullanılabilecek birçok farklı yöntem geliştirilmiştir (Huang ve ark., 2005). Bu kimyasal yöntemler, etki şekillerine göre antioksidan maddenin hidrojen atomu veya elektron transfer yeteneğine dayanmakla birlikte, antioksidan özellikteki maddenin hem genel hem de spesifik etkisinin belirlenmesine olanak tanımaktadır (Huang ve ark., 2005; Moharram ve Youssef, 2014). DPPH ve FRAP yöntemlerinin deaktivasyon mekanizmaları benzerlik göstermekle birlikte, DPPH yöntemi hidrojen transferine, FRAP yöntemi ise elektron transferine karşı daha hassas metotlardır. Analiz metotları arasındaki farklılıktan dolayı, değişik analiz yöntemlerinin kullanılması örneklerin antioksidan özelliklerinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır (Wang ve ark., 2022).

Hammaddelerin fenolik madde içerikleri ve antioksidan aktivitelerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmektedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında, en yüksek serbest fenolik madde miktarının (SFM) USKB ve LpKB örneklerinde (193.31 mg GAE/100 g), en düşük SFM içeriğinin ise buğday ununda (137.64 mg GAE/100 g) bulunduğu görülmektedir. Çimlendirilmiş karabuğday örneklerinin SFM içerikleri üzerinde uygulanan çimlendirme ön işleminin istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı görülürken ($p>0.05$), amarant örneklerinde uygulanan ultrason ve *L. plantarum* inokülasyonunun SFM içeriğini artırıcı bir etki gösterdiği, bu etkinin ise istatistiksel olarak önemli bulunduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Hammaddelerin bağlı fenolik madde miktarı (BFM) 75.51 mg GAE/100 g ile 109.94 mg GAE/100 g arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.3). Çoklu karşılaştırma testi sonuçları incelendiğinde, ultrason uygulamasının hammaddelerin BFM içeriğini istatistiksel olarak önemli düzeyde artırdığı dikkat çekmektedir ($p<0.05$).

Toplam fenolik madde miktarına (TFM) ait çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında da SFM ve BFM içeriklerine benzer şekilde en düşük miktarın buğday ununda (213.15 mg GAE/100 g), en yüksek miktarın ise USKB'de (303.25 mg GAE/100 g) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Hammaddelerin fenolik madde içerikleri ve antioksidan aktivitelerine ait analiz sonuçları¹

Çeşit ²	SFM ³ (mg GAE ⁶ /100 g)	BFM ⁴ (mg GAE/100 g)	TFM ⁵ (mg GAE/100 g)	Serbest antioksidan aktivite (DPPH) (mg TE ⁷ /100 g)	Bağlı antioksidan aktivite (DPPH) (mg TE/100 g)	Serbest antioksidan aktivite (FRAP) (mg TE/100 g)	Bağlı antioksidan aktivite (FRAP) (mg TE/100 g)
Buğday unu	137.64±0.17 d	75.51±0.45 f	213.15±0.28 f	56.84±0.20 b	39.12±0.18 a	35.56±4.59 d	40.94±0.01 d
DKB	191.98±0.17 a	103.18±0.67 bc	295.16±0.51 b	64.38±0.20 a	38.47±0.09 ab	119.40±3.18 c	232.06±4.41 a
USKB	193.31±0.67 a	109.94±0.67 a	303.25±0.01 a	63.57±0.41 a	38.42±0.14 ab	153.03±1.36 b	236.48±13.24 a
LpKB	193.31±0.83 a	99.14±1.13 cd	292.45±1.96 b	64.90±0.10 a	38.19±0.01 bc	168.94±1.82 ab	251.92±2.21 a
DA	160.64±0.50 c	89.68±0.67 e	250.32±0.18 e	48.98±0.10 c	38.28±0.18 bc	163.03±3.18 ab	101.91±6.62 c
USA	164.81±1.67 b	104.54±0.23 b	269.35±1.89 c	46.53±0.10 d	37.60±0.05 c	153.94±0.45 b	88.68±2.21 c
LpA	164.90±0.08 b	97.56±0.45 d	262.46±0.37 d	48.88±0.41 c	38.47±0.09 ab	176.66±3.18 a	150.44±15.44 b

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²DKB: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu. USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu. LpKB: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday unu. DA: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu. USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu. LpA: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant unu. ³Serbest fenolik madde miktarı, ⁴Bağlı fenolik madde miktarı, ⁵Toplam fenolik madde miktarı, ⁶Gallik asit eşdeğeri, ⁷Troloks eşdeğeri.

Analiz sonuçları hammadde çeşidi açısından incelendiğinde karabuğday örneklerinin TFM içeriğinin amarant örneklerinden yüksek olduğu, uygulanan çimlendirme ön işlemleri açısından incelendiğinde ise ultrason uygulanan örneklerin TFM içeriğinin diğer ön işlem uygulanan örneklerden yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.3).

Ultrason uygulaması ile çimlendirilmiş örneklerin fenolik madde miktarlarında artış meydana gelmesi muhtemelen; ultrason uygulamasıyla tohum kabuğunda meydana gelen değişimler sonucu hidrasyon sürecinin hızlanması, enzimlerin moleküler yapısında değişiklikler meydana gelmesi, dolayısıyla savunma reaksiyon sistemlerinin tetiklenerek polifenoller gibi ikincil metabolitlerin üretimini arttırmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca fenolik bileşik miktarlarında görülen artışın bir diğer muhtemel nedeninin, hücre zarının geçirgenliğinin ve metabolitlerin transmembrana difüzyonunun artmasına neden olan kavitasyon ve mekanik etkiler olabileceği söylenebilir. Benzer etkiler sonucunda, Zhang ve ark. (2023), arpa örneklerinin ultrason uygulanarak çimlendirilmesiyle, serbest fenolik asit ve flavonoid miktarlarında %66.67 ve %43.75, bağlı fenolik asit ve flavonoid miktarlarında ise %43.75 ve %55.56'lık bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Literatürde bildirilen bu sonuçların, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Liyana-Pathirana ve Shahidi (2006), sert ve yumuşak buğday çeşitlerinin biyoaktif özelliklerini araştırdıkları bir çalışmada, sert buğday ununun serbest, esterleşmiş, bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla 137, 234, 328 ve 699 μg GAE/g olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada yumuşak buğday ununun serbest, esterleşmiş, bağlı ve toplam fenolik madde içerikleri ise sırasıyla 161, 278, 464 ve 903 μg GAE/g olarak bulunmuştur. Sert ve yumuşak buğdaydan elde edilen tam unların serbest fenolik madde içerikleri 353 ve 478 μg GAE/g, bağlı fenolik madde içerikleri 2149 ve 2144 μg GAE/g, toplam fenolik madde içerikleri ise 3456 ve 3818 μg GAE/g olarak tespit edilmiştir. Revanappa ve Salimath (2011), dört farklı *Triticum aestivum* çeşidinin serbest fenolik asit içeriklerinin 196.6 ile 260.2 μg GAE/g arasında, bağlı fenolik asit içeriklerinin 514.6 ile 680.4 μg GAE/g arasında, toplam fenolik asit içeriklerinin ise 711.2 ile 940.6 μg GAE/g arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Benzer şekilde Subaşı ve Ercan (2023), dört farklı buğday ununun serbest fenolik madde içeriklerinin 539 ile 817 mg GAE/kg arasında, bağlı fenolik madde içeriklerinin 889 ile 1075 mg GAE/kg arasında, toplam fenolik madde içeriklerinin ise 1557 ile 1792 mg GAE/kg arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Hung ve ark. (2021) bir çalışmalarında, 48 saate kadar çimlendirilen karabuğday örneğinde, çimlenme süresi arttıkça hem serbest hem de bağlı fenolik madde miktarlarında artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada 2 gün çimlendirilen karabuğday örneğinin serbest fenolik madde miktarının 2.32 mg/g, bağlı fenolik madde miktarının ise 0.38 mg/g olarak bulunduğu bildirilmiştir (Yang ve ark., 2021). Živković ve ark. (2021) bir çalışmalarında, kabuklu ve kabuksuz karabuğdayın 4 güne kadar çimlendirilmesi ile biyokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştırmışlardır. Bu çalışmada, kabuklu karabuğdayın 0-4 gün çimlendirme periyodunda serbest fenolik madde miktarının 4.60 ile 13.46 mg GAE/g arasında, bağlı fenolik madde miktarının ise 5.47 ile 7.28 mg GAE/g arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Çimlendirmenin 2. gününde kabuklu karabuğday örneğinin serbest, bağlı ve toplam fenolik madde miktarlarının sırasıyla 5.61, 6.13 ve 11.74 mg GAE/g olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada 2 gün çimlendirilen kabuksuz karabuğday örneğinin ise serbest, bağlı ve toplam fenolik madde miktarlarının sırasıyla 6.36, 4.40 ve 10.76 mg GAE/g bulunduğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise 2 gün çimlendirilmiş karabuğday örneğinin serbest fenolik madde miktarının 13.47 mg GAE/g, bağlı fenolik madde miktarının 3.77 mg GAE/g ve toplam fenolik madde miktarının ise 17.24 mg GAE/g olarak bulunduğu bildirilmiştir (Bhinder ve ark., 2022). Perales-Sánchez ve ark. (2014) bir çalışmalarında, çimlendirilmiş amarant ununun serbest, bağlı ve toplam fenolik madde miktarlarının sırasıyla 146.04, 101.59 ve 247.63 mg GAE/100 g olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir. Buğday unu sonuçlarına benzer şekilde, karabuğday ve amarant örneklerinde elde edilen sonuç literatürde bildirilen veri aralığında yer aldığından, sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Literatürde bildirilen çalışmalar ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar arasında deskriptif farklılıklar bulunmakta olup, bu farklılıkların örnek çeşidi, örneğin yetiştirme koşulları ve analizlerde kullanılan ekstraksiyon metotları gibi faktörlerden etkilendiği düşünülmektedir. Buna karşın, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde bildirilen veri aralığında yer aldığı için, sonuçların literatürle uyumlu olduğu söylenebilir.

Hammaddelerin serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerleri 48.88 mg TE/100 g ile 64.90 mg TE/100 g arasında, bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri ise 37.60 mg TE/100 g ile 39.12 mg TE/100 g arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.3). Çimlendirilmiş karabuğday unlarının serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerleri çimlendirilmiş amarant unlarından daha yüksek bulunmuştur. Karabuğday örneklerinin hem serbest hem de bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri üzerinde uygulanan

çimlendirme ön işlemlerinin önemli bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Amarant örneklerinde ise ultrason uygulamasının örneklerin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerlerini istatistiksel olarak önemli şekilde azalttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Amarant örneklerinin DPPH antioksidan aktivite sonuçlarına benzer şekilde, literatürde peynir altı suyu protein konsantratu-kuersetin kompleksine uygulanan ultrason işlemiyle örneklerin DPPH aktivitelerinde azalma olduğu bildirilmiştir. Örneklerin DPPH antioksidan aktivitesinde görülen bu düşüşün muhtemel sebebinin ise, peynir altı suyu protein konsantratu ile kuersetin arasındaki güçlü hidrofobik etkileşimler nedeniyle örneklerdeki biyoaktif bileşiklerin DPPH'e erişiminin sterik olarak engellenmesi olduğu belirtilmiştir (Ji ve ark., 2022a). Dolayısıyla amarant örneklerinde ultrason uygulamasıyla birlikte biyoaktif bileşiklerin serbest radikale erişimini engelleyici bir etkinin meydana geldiği yorumu yapılabilir.

Subaşı ve Ercan (2023) dört farklı buğday çeşidinin serbest ekstraktlarının DPPH aktivitelerinin 106 ile 145 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ arasında, bağlı ekstraktlarının DPPH aktivitelerinin ise 286 ile 325 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Benzer şekilde başka bir çalışmada, 9 farklı buğday unundan elde edilen serbest ve bağlı ekstraktların DPPH aktivitelerinin sırasıyla 0.79-1.16 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$ ve 2.80-3.69 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$ arasında değiştiği bildirilmiştir (Menteş Yılmaz ve ark., 2018). Yu ve ark. (2013) bir çalışmalarında, rafine buğday unu örneklerinden elde edilen çözünür fenolik bileşiklerin ortalama DPPH aktivitelerinin 4.82 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$, tam buğday ununu örneklerinden elde edilen çözünür fenolik bileşiklerin ortalama DPPH aktivitelerinin ise 4.53 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$ bulunduğunu bildirmişlerdir. Yine bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Liyana-Pathirana ve Shahidi (2006) sert buğday örneklerinin serbest, esterleşmiş ve bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin sırasıyla 1.4, 5.4 ve 12.5 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$ olduğunu, bu değerlerin yumuşak buğday unu örneklerinde ise sırasıyla 3.0, 6.5 ve 16.0 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$ olduğunu tespit etmişlerdir. DPPH antioksidan aktivite değerleri arasındaki farklılıklar; genetik ve çevresel faktörler, proses koşulları ve analizlerdeki ekstraksiyon metodları arasındaki farklılıklara atfedilebilir (Yu ve ark., 2013).

Bhinder ve ark. (2022) bir çalışmalarında 2 gün çimlendirilmiş karabuğdayın serbest, bağlı ve toplam radikal yakalama aktivite değerlerini sırasıyla 13.57 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$, 3.2 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$ ve 16.77 $\mu\text{mol TE}/\text{g}$ olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir. Zhang ve ark. (2015) ise 3 güne kadar çimlendirilen karabuğday örneğinin DPPH antioksidan aktivitesinin 6.32 $\text{mmol TE}/\text{kg}$ ile 24.50 $\text{mmol TE}/\text{kg}$ arasında değişim gösterdiğini,

çimlendirilmenin 2. gününde ise DPPH antioksidan aktivite değerinin 12.47 mmol TE/kg olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Kabuklu ve kabuksuz karabuğdayın fitokimyasal özelliklerinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise 2 gün çimlendirilen kabuklu karabuğday örneklerinin serbest, bağlı ve toplam DPPH antioksidan aktiviteleri sırasıyla 5.45 mg TE/g, 5.64 mg TE/g ve 11.08 mg TE/g olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada kabuksuz örneklerin serbest, bağlı ve toplam DPPH antioksidan aktiviteleri ise sırasıyla 6.42 mg TE/g, 3.37 mg TE/g ve 9.79 mg TE/g olarak tespit edilmiştir (Živković ve ark., 2021).

Çimlendirilmiş amarant örneklerinin ise DPPH antioksidan aktivite değerinin 48.63 mg TE/100 g olduğu bilgisi literatürde yer almaktadır (Popoola, 2022). Aguilar-Felices ve ark. (2019) çimlendirilmiş 4 farklı amarant çeşidinin DPPH antioksidan aktivite değerlerinin 149.62 mg TE/g ve 151.85 mg TE/g arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Literatürde bildirilen çalışmalara bakıldığında; hammadde çeşidi, analiz ekstraksiyon yöntemi, ekstraksiyonda kullanılan solvent çeşidi, çimlendirme koşullarındaki çeşitlilik (örneğin; nem, sıcaklık, süre) ve çimlendirme ön işlemi gibi birçok faktöre bağlı olarak, karabuğday ve amarant örneklerinin antioksidan aktivite özelliklerine ait analiz sonuçları arasında deskriptif farklılıklar görüldüğü söylenebilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde bildirilen çalışmalara ait sonuçların veri aralığında yer aldığından, bu çalışmanın literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.3'te buğday ununun serbest ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinin (sırasıyla 35.56 ve 40.94 mg TE/100 g) diğer tüm örneklerden önemli derecede düşük olduğu dikkat çekmektedir ($p < 0.05$). Serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinde en yüksek değer LpA (177.66 mg TE/100 g) örneğinde bulunurken, en yüksek bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri ise LpKB (251.92 mg TE/100 g) örneğinde bulunmuştur. Tüm örneklerde *L. plantarum* inokülasyonunun hem serbest hem de bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde pozitif bir etkisinin olduğu dikkat çekmiştir. Fakat karabuğday örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde bu pozitif etkinin istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$).

Świeca ve ark. (2020a) *Lactobacillus plantarum* 299v ile zenginleştirilmiş soya fasulyesi filizlerinin bazı kimyasal özelliklerini araştırdıkları bir çalışmalarının sonucunda, örneklerin antioksidan özelliklerinin bakteriyel inokülasyon ile geliştiğini bildirmişlerdir. Yine aynı çalışmada, *Lactobacillus plantarum* 299v ile inoküle edilerek filizlendirilen örneklerde, ABTS radikallerini nötralize eden bileşiklerin salınımının,

kontrol örneğine kıyasla %44 oranında yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Bu sonuçların, bu çalışmadan elde edilen veriler ile uyum içerisinde olduğu söylenebilmekle beraber, bakteriyel inokülasyonun demir indirgeyici bileşiklerin salınımını artırdığı düşünülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Irakli ve ark. (2015) bir çalışmada, buğday ununun serbest ve bağlı (FRAP) antioksidan güçlerini sırasıyla 35.6 ve 53.1 mg TE/100 g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada 48 ve 72 saat çimlendirilen karabuğdayın FRAP antioksidan gücü ise 13.63 ve 17.98 $\mu\text{mol TE/g}$ olarak bulunmuştur (Borgonovi ve ark., 2023).

Bu çalışmadan elde edilen verilere benzer şekilde, literatürde karabuğday örneklerinin serbest fenolik fraksiyonlarının antioksidan aktiviteye daha fazla katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Zhu ve ark., 2019). Serbest antioksidan aktivite değerlerinin daha yüksek bulunması, tanenin kabuk kısmında yer alan serbest fenolik bileşiklerin bağlı fenoliklere göre önemli ölçüde daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olmasına atfedilebilir (Li ve ark., 2016). Ayrıca karabuğdayın kabuk fraksiyonunda bulunan karotenoidlerin, antioksidan aktivite değerlerine önemli katkı sağladığı düşünülmektedir.

Literatürde, proteinlerin hidrofobik aminoasit kalıntıları ile polifenollerin apolar aromatik halkaları arasında hidrofobik etkileşimler olduğu bildirilmiştir. Hidrojen bağı ve van der Waals kuvveti gibi kovalent olmayan hidrofobik etkileşimler, proteinlerin polifenollerle oluşturduğu komplekslerin kararlılığını korumada önemli rol oynar. Ortam pH'ı da proteinler ile polifenoller arasındaki bağ oluşumlarını etkileyen bir faktördür (Zhang ve ark., 2023b). Literatürde yer alan bu bilgiler ışığında, örneklerin DPPH ve FRAP değerleri arasındaki farklılığın (Çizelge 4.3), analiz ortamındaki asitlik farkının da etkisiyle, hidrofobik etkileşimlerin bir sonucu olarak ortaya çıktığı söylenebilir.

4.1.4. Mineral madde içeriklerine ait analiz sonuçları

İnsan vücudundaki birçok metabolik fonksiyonda önemli işlevleri olan mineral maddeler, gıdalarda çok az miktarda bulunmalarına rağmen, günlük diyetle alınması elzem olan mikro besin bileşenleridir (Lukaski, 2004). Mineral eksikliği bireysel ve toplumsal bir sorun olarak, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve sanayi toplumlarında sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Mineral eksikliği birçok hastalığa hatta ileri seviyelerde ölüme dahi neden olabilmektedir. Biyo-zenginleştirme ve formülasyon zenginleştirme olmak üzere iki farklı toplumsal strateji ile mineral eksikliğin önlenmesi mümkün

görülmektedir. Biyozenginleştirme; buğday, mısır, pirinç gibi sıklıkla tüketilen tarımsal ürünlerde biyoteknolojik uygulamalar ile besin maddelerinin miktar ve kalitesinin artırılmasıdır. Formülasyon zenginleştirmesine ise en güzel örnek, gelişmekte olan toplumlarda Zn, Fe ve I minerallerinin eksikliği gidermek amacıyla ekmek, tuz gibi sıklıkla tüketilen gıdaların eksik minerallerce zenginleştirilmesidir (Gharibzahedi ve Jafari, 2017).

Besin öğelerinin ekstrakte edilebilirliğinin artırılması, hızlı nüfus artışı ve doğal kaynakların günden güne azalması nedeniyle git gide önem kazanmaktadır (Chompreeda ve Fields, 1984). Mineral maddelerin HCl ile ekstrakte edilebilirliği, midedeki asit konsantrasyonu olan 0.03 N HCl'de çözünebilir mineralleri tanımlamakta olup, mineral maddelerin biyoyararlılığının bir indeksidir (Duhan ve ark., 2002). Besinlerin sindirim ile emiliminden sonra vücuttaki metabolik fonksiyonlar için kullanım oranına biyoyaralanım denir. Minerallerin biyoyararlılığı ya da biyoerişilebilirliği; diyetin bileşimi ve fiziksel özellikleri, mineralin içeriği, kimyasal türü ve vücutta kullanım derecesi, emilim inhibitörlerinin varlığı, vücudun rezervleri, büyüme, gebelik, emzirme gibi fizyolojik talepler, enfeksiyonlar, hastalıklar veya bazı ilaçların kullanımı gibi fizyolojik durumlar gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Diyet ile alınan besinlerin miktarını ve yeterliliğini belirleyerek, gıdaların takviye edilmesi ve zenginleştirilmesi konularında yenilikçi fizibilite çalışmaları yapmak için minerallerin biyoyararlılıklarının yani ekstrakte edilebilirliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir (Drago, 2022).

Hammaddelerin mineral madde içeriklerine ait analiz sonuçları 4.4'te özetlenmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde; buğday ununun Ca, Fe, Cu, Zn, Mg ve K içeriklerinin diğer hammaddelerden istatistiksel olarak önemli şekilde düşük bulunduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.4). Buğday unu ile çimlendirilmiş karabuğday unu örneklerinin Mn içerikleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Amarant örneklerinin Ca, Mn, Fe, Zn, Se ve Mg içeriklerinin karabuğday örneklerinden, karabuğday örneklerinin ise K içeriklerinin amarant örneklerinden yüksek bulunduğu dikkat çekmiş, mineral madde içerikleri arasındaki bu farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Karabuğday ve amarant örneklerinin Cu içerikleri arasındaki deskriptik farklılıkların ise istatistiksel olarak önemli bulunmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). En yüksek Na içeriği LpA örneğinde (22.18 mg/100 g) bulunurken, en düşük Na içeriği ise DKB örneğinde (11.52 mg/100 g) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Hammaddelerin mineral madde analiz sonuçları¹

Çeşit ²	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
Buğday unu	27.81±1.31 d	1.36±0.02 c	1.70±0.01 e	0.16±0.01 b	0.60±0.02 d	0.015±0.003 bc	17.26±0.16 bc	47.98±0.18 f	215.35±0.35 e
DKB	34.93±1.73 c	1.41±0.01 c	1.93±0.08 d	0.29±0.02 a	1.06±0.06 c	0.010±0.001 c	11.52±0.45 e	214.36±3.00 e	416.15±2.00 c
USKB	37.12±1.01 c	1.43±0.01 c	1.98±0.01 d	0.29±0.03 a	1.16±0.02 bc	0.015±0.005 bc	12.85±0.38 de	232.66±2.00 d	471.66±2.12 a
LpKB	36.85±0.85 c	1.42±0.02 c	2.28±0.02 c	0.29±0.01 a	1.10±0.01 c	0.010±0.001 c	15.46±0.57 bcd	221.60±0.51 e	469.45±3.28 a
DA	78.32±1.20 b	2.00±0.01 b	3.70±0.02 b	0.27±0.01 a	1.33±0.04 ab	0.025±0.003 abc	14.59±0.94 cde	289.02±0.81 c	393.74±3.73 d
USA	85.87±0.36 a	2.12±0.02 a	3.99±0.02 a	0.27±0.01 a	1.40±0.03 a	0.035±0.007 ab	18.38±0.63 b	312.28±0.63 a	437.70±0.60 b
LpA	80.67±0.35 b	2.16±0.02 a	3.80±0.01 b	0.27±0.01 a	1.36±0.01 ab	0.040±0.001 a	22.18±0.41 a	300.89±0.55 b	447.18±3.04 b

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ²DKB: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu. USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu. LPKB: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday unu. DA: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu. USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu. LpA: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant unu.

Hammaddelerin mineral madde analiz sonuçları değerlendirildiğinde, ultrason kullanımınıyla örneklerdeki Zn ve Mg minerallerinin çözünürlüklerinin istatistiksel olarak önemli şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.4). Benzer şekilde ultrason kullanılarak çimlendirilmiş amarant örneklerinin Ca, Mn ve Fe içeriklerinin diğer ön işlem uygulanmış örneklerden istatistiksel olarak önem arz edecek şekilde yüksek olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). *L. plantarum* inoküle edilmiş örneklerin Na ve K içerikleri de diğer ön işlem uygulanmış örneklerden yüksek bulunmuştur. Ayrıca *L. plantarum* inokülasyonu amarant örneklerinin Mn ve karabuğday örneklerinin Fe mineral çözünürlüklerini de artırıcı etki göstermiştir ($p<0.05$). Genel olarak, dezenfektan kullanımının örneklerin mineral madde içeriklerini deskriptif olarak azaltıcı bir etkisinin olduğu gözlemlenirken, bu azalmanın örneklerin Na ve K içerikleri üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak da önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Bu çalışmadan elde edilen verilere benzer şekilde literatürde; ultrason uygulamasının yumurtalarda Ca, Mg ve P içeriklerini ve yumurta sarısında Ca, Fe, Mg, Mn, Na, P ve Zn içeriklerini (Sert ve ark., 2011), elma sularında ise Na, K ve Ca içeriklerini (Abid ve ark., 2014) artırıcı etki gösterdiği bildirilmiştir. Ultrasonikasyonun, örnek çeşidi ve işlem koşullarına göre farklılıklar gösterse de hücre yapısında oluşturduğu tahribat ile mineral maddelerin salınımını artırıcı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir (Abid ve ark., 2014). *L. plantarum* inokülasyonunun yalancı tahıllarda bazı mineral madde içeriklerini artırıcı etkisinin ise mikrobiyal enzim içeriklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. *L. plantarum* kaynaklı mikrobiyal enzim aktivitesi, hücre duvarı polisakkaritleri gibi minerallerin bağlı bulunduğu kompleks matrisi degrade edici etki göstermektedir (Srivastava ve ark., 2021). Serbest kalan mineral maddelerin, örneklerin mineral madde içerikleri sonucuna bir artış olarak yansıdığı söylenebilir. Bakteriyel inokülasyonun, tüm mineral maddeler üzerinde aynı etkiyi göstermemesinin sebebinin, örnekler ve minerallerin örnekler ile yaptığı bağlar arasındaki farklılıklar olduğu düşünülmektedir.

Cankurtaran ve ark. (2020) bir çalışmalarında, buğday ununun Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn içeriklerini sırasıyla 33.02, 0.25, 2.11, 190.05, 37.79, 0.84, 169.33 ve 1.28 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Althwab ve ark. (2021) ise yine buğday ununun Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Zn ve Mn içeriklerinin sırasıyla 12.51, 5.23, 26.81, 11.25, 329.94, 7.98, 3.42 ve 0.78 mg/100 g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada ise buğday ununun 21.35 mg/100 g Ca, 52.39 mg/100 g Mg, 1.34 mg/100 g Zn, 1.02 mg/100 g Mn, 2.09 mg/100 g Fe, 265.73 mg/100 g P ve 211.56 mg/100 g K içerdiği tespit

edilmiştir (Demir ve ark., 2021). Literatürde bildirilen çalışmalar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Lee ve ark. (2004) bir çalışmalarında 3 gün çimlendirilmiş ve kurutulmuş karabuğdayın Ca, Mg, K, Na, Fe, Zn, Cu, Mn ve Se içeriklerini sırasıyla 65.5, 545.8, 585.6, 3.1, 1.0, 6.6, 1.3, 7.6 ve 0.1 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Pongrac ve ark. (2016) karabuğdayın çimlendirilmesi üzerine farklı mineral içeriklerine sahip suların etkisini araştırdıkları bir çalışmalarında, musluk suyu kullanılarak çimlendirilen karabuğdayın Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn içeriklerini sırasıyla 103, 5980, 8050, 5900, 14.9, 98.9, 10.1 ve 213 mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Shreeja ve ark. (2021) bir çalışmalarında çimlendirilmiş karabuğdayın Na ve K içeriklerinin sırasıyla 5.13 ve 517 mg/100 g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Çimlendirme prosesinin yalancı tahılların besinsel özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 48 saat çimlendirilen amarantın Cu, Fe, Zn ve Mn içerikleri sırasıyla 10.05, 135.70, 33.66 ve 32.55 mg/kg olarak tespit edilmiş, bu değerler karabuğday için ise sırasıyla 13.53, 110.28, 42.76 ve 23.20 mg/kg olarak bulunmuştur (Thakur ve ark., 2021). Beniwal ve ark. (2019) farklı proseslerin amarant ve kinoa unlarının besinsel özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları bir çalışmalarında, çimlendirilmiş amarant ununun Fe, Mg, Zn ve Ca içeriklerini sırasıyla 14.82, 302.46, 4.25 ve 196.27 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise 24 saat çimlendirilmiş amarant örneklerinin Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe, Mn ve Zn içeriklerinin sırasıyla 2221, 6123, 3958, 867, 10.1, 150, 40 ve 40 mg/kg olarak bulunduğu bildirilmiştir (Guardianelli ve ark., 2019a). Bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatürde bildirilen çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Fakat elde edilen sonuçlar ve literatürde bildirilen veriler arasındaki deskriptif farklılıkların kullanılan tohum cinsi, tohumun yetiştiği ortam koşulları ve uygulanan çimlendirme koşulları gibi birçok faktörden kaynaklandığı yorumu yapılabilir.

Hammaddelerin HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Analiz sonuçlarında, buğday ununun ekstrakte edilebilir Ca, Fe, Cu, Zn, Mg ve K içeriklerinin diğer hammaddelerden istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük bulunduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.5). Buğday unu ve çimlendirilmiş karabuğday unu örneklerinin Mn ve Na içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.5. Hammaddelere ait ekstrakte edilebilir mineral madde analiz sonuçları¹

Çeşit ²	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
Buğday unu	25.62±0.39 e	1.32±0.03 b	1.06±0.02 b	0.11±0.01 d	0.51±0.01 c	0.015±0.00 a	9.20±0.01 c	42.04±0.90 e	162.86±1.87 e
DKB	29.91±1.26 de	1.34±0.02 b	1.63±0.02 a	0.17±0.01 abc	1.06±0.01 ab	0.005±0.00 a	8.88±0.10 c	161.02±0.18 d	378.63±1.89 b
USKB	35.43±1.22 c	1.40±0.05 b	1.70±0.01 a	0.18±0.01 ab	1.12±0.03 ab	0.000±0.00 a	9.04±0.07 c	181.17±2.92 c	397.78±1.26 a
LpKB	33.31±0.33 cd	1.38±0.06 b	1.66±0.01 a	0.19±0.01 a	1.08±0.03 ab	0.005±0.00 a	8.96±0.20 c	164.32±1.20 d	395.38±0.27 a
DA	55.36±0.16 b	1.69±0.02 a	1.71±0.01 a	0.13±0.01 cd	1.03±0.01 b	0.000±0.00 a	10.76±0.04 b	198.42±0.44 b	319.51±1.38 d
USA	65.07±0.07 a	1.76±0.03 a	1.73±0.03 a	0.14±0.01 bcd	1.16±0.01 a	0.000±0.00 a	11.68±0.10 a	226.90±1.43 a	326.53±2.58 cd
LpA	54.36±2.17 b	1.70±0.02 a	1.72±0.02 a	0.14±0.02 bcd	1.04±0.02 b	0.000±0.00 a	11.94±0.25 a	201.48±1.44 b	334.72±0.02 c

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²DKB: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu. USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu. LpKB: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday unu. DA: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu. USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu. LpA: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant unu.

Çimlendirilmiş amarant unlarının ekstrakte edilebilir Ca, Mn, Na ve Mg içerikleri karabuğday örneklerinden, çimlendirilmiş karabuğday unlarının ekstrakte edilebilir Cu, Zn ve K içerikleri ise amarant örneklerinden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.5). Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant örneklerinin Fe içerikleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Tüm hammaddelerin ekstrakte edilebilir Se değerleri arasında ise istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

Mineral madde içeriklerine benzer şekilde, hammaddelerin ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri üzerinde genel olarak kimyasal dezenfektan kullanımının negatif, ultrason uygulaması ve bakteriyel inokülasyonun ise pozitif bir etkisinin olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.5). Kimyasal dezenfektan kullanılan örneklerin Cu, Na ve K içerikleri istatistiksel olarak önemli şekilde düşük bulunmuştur. Ultrason uygulanan örneklerin ekstrakte edilebilir Ca, Cu, Zn, Na, Mg ve K içerikleri, *L. plantarum* inoküle edilen örneklerin ise ekstrakte edilebilir Cu, Na ve K içerikleri istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).

Ultrason uygulaması sırasında açığa çıkan mekanik kuvvetler, mineral-protein komplekslerini ve minerallerin kristal yapılarını bozucu etki gösterebilir. Bu değişimler, gıdalardaki mineralleri daha kolay çözünür hale getirmektedir. Ayrıca ultrason uygulamasıyla hücre yapısında meydana gelen bozunmalar da minerallerin serbest hale gelmesine, dolayısıyla daha kolay erişilebilir olmasına neden olmaktadır. Tüm bunlara ek olarak, ultrasonun gıda matrisinde yüzey alanını artırması, enzim aktivitesini de artırarak minerallerin salınımını artırıcı etki gösterebilir (Meena ve ark., 2023).

Bu çalışmaya benzer şekilde, Xia ve ark. (2020) yüksek yoğunluklu ultrasonun çimlendirilmiş kahverengi pirinçte Ca ve Fe minerallerinin biyoerişilebilirliğini artırdığını tespit etmişlerdir. Bahsedilen çalışmada, ultrason uygulaması Zn mineralinin biyoerişilebilirliğini azaltırken, Cu minerali üzerinde herhangi önemli bir etkisi bulunmamıştır. Ultrason uygulamasının farklı gıda çeşidi ve mineral madde içerikleri üzerindeki aynı etkiyi göstermemesinin; minerallerin dağılımlarının, diğer moleküllerle etkileşimlerinin ve kimyasal formlarının farklı olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Bu çalışmadan elde edilen verilere benzer şekilde, Sandez Penidez ve ark. (2024) bir çalışmada, *L. plantarum* ile fermente edilmiş ekşi mayayla hazırlanmış kinoa atıştırmalıkların, denek farelerin kanında, karaciğerinde, böbreğinde ve uyluk kemiğinde mineral konsantrasyonlarını artırarak fitatın antibesinsel etkilerini ortadan kaldırdığını bildirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada kinoa atıştırmalıklarla beslenen deneklerin

kanında Fe, Zn, Ca, Mg ve P, karaciğerinde Fe ve P, böbreğinde Mn ve Mg, uyluk kemiğinde ise Ca ve P konsantrasyonları kontrol grubu deneklere göre yüksek bulunmuştur. Tüm bu pozitif etkiler, *L. plantarum*'un fitaz aktivitesi sonucu fitat komplekslerini parçalaması ve minerallerin biyoyararlılığını artırmasına atfedilmiştir.

Literatürde buğday ununun HCl ile ekstrakte edilebilir Ca, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn içeriklerinin sırasıyla 13.07, 0.98, 148, 28.51, 0.41, 71 ve 0.85 mg/100 g olduğu bildirilmiştir (Yaver ve Bilgiçli, 2020). Bir başka çalışmada ise üç farklı buğday unu çeşidinin HCl ile ekstrakte edilebilir Ca, Mn, Zn, Cu, Fe, K ve Na içeriklerinin sırasıyla 36.83-40.66 mg/100 g, 2.33-2.96 mg/100 g, 2.16-3.23 mg/100 g, 0.86-1.09 mg/100 g, 3.08-4.29 mg/100 g, 187.33-222.67 mg/100 g ve 4.89-6.29 mg/100 g arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Anjum ve ark., 2012). Buğday ununun HCl ile ekstrakte edilebilir mineral içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların örnek cinsi ve analiz koşulları arasındaki farklılıktan kaynaklandığı, buna karşın bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

4.1.5. Sindirilebilirlik analizlerine ait sonuçlar

Tahıllar ve yalancı tahıllar, sınırlı aminoasit içerikleri ve protein sindirilebilirlik oranları nedeniyle yüksek kalitede proteinli gıdalar olarak kabul edilmemektedir. Bu nedenle tahıl ve/veya yalancı tahıl ağırlıklı beslenme tiplerinde, metabolizma faaliyetlerini destekleyen aminoasit miktarlarının optimum düzeyde alınması önem arz etmektedir. Özellikle esansiyel aminoasitlerin diyetle yeterli alımı, beslenmede tahıl ve tahıl benzeri ürünlerin çeşitlendirilmesi ya da gıda işleme yöntemleriyle protein sindirilebilirliklerinin düzenlenmesiyle sağlanabilir (Joye, 2019). Bunun yanı sıra, işleme tekniklerinin ve proteinler, yağlar, antibesinsel faktörler gibi diğer gıda bileşenlerinin, nişasta sindirilebilirliğini de önemli ölçüde etkilediği unutulmamalıdır. Nişasta sindirilebilirliği, bir gıdanın tüketiminden sonra vücutta meydana gelen glisemik tepki ile ilişkilendirildiği için sağlık açısından önemli görülmektedir. Bir ürünün karbonhidrat biyoyararlılığının nişasta sindirilebilirliği aracılığıyla belirlenmesi, gıdanın porsiyon başına glisemik tepkisinin de belirlenmesi anlamına gelmektedir. Bu bağlamda nişasta sindirilebilirliği, sağlıklı beslenme açısından, özellikle diyabet ve karbonhidrat metabolizması bozukluklarının yönetiminde oldukça önem arz etmektedir (Singh ve ark., 2010).

Hammaddelerin bazı sindirilebilirlik değerlerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Hammaddelerin GS değerleri %72.48 ile %77.73 arasında, KSO değerleri %54.36 ile %75.92 arasında değişim göstermiştir. Hammaddeler arasında en düşük sindirilebilir nişasta içeriği buğday ununda %50.58 olarak, en yüksek sindirilebilir nişasta içeriği ise USKB örneğinde %66.11 olarak tespit edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre deskriptif olarak en yüksek GS ve en düşük KSO değerlerinin buğday ununda olduğu görülmektedir. Tüm hammaddelerin GS değerleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). USKB örneğine ait KSO'nun diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek olduğu; buğday unu, DKB ve DA örneklerine ait değerlerin ise istatistiksel olarak önemli derecede düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Buğday unu, DKB ve DA örneklerine ait KSO'ları arasındaki deskriptif farklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Kimyasal dezenfektan kullanımına sahip örneklerin KSO değerlerinin diğer örneklerden düşük olduğu tespit edilmiştir. En düşük sindirilebilir nişasta içerikleri buğday unu ve DA örneklerinde bulunmuş olup, örnekler için ait değerler arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür ($p>0.05$). Çimlendirilmiş karabuğday unlarının sindirilebilir nişasta içeriklerinin diğer örneklerden yüksek olduğu dikkat çekmiştir. Ultrason ve *L. plantarum* inokülasyonu ön işlemlerinin, örneklerin sindirilebilir nişasta içeriklerini artırıcı etki gösterdiği görülmektedir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Hammaddelerin sindirilebilirlik değerlerine ait analiz sonuçları¹

Çeşit ²	GS ³ (%)	KSO ⁴ (%)	Sindirilebilir nişasta (%)
Buğday unu	77.73±0.20 a	54.36±0.10 c	50.58±0.43 c
DKB	72.48±3.02 a	60.28±0.28 c	64.54±2.11 ab
USKB	74.92±0.09 a	75.92±3.62 a	66.11±3.77 a
LpKB	74.83±1.96 a	62.14±1.19 bc	62.54±1.69 abc
DA	75.30±2.34 a	60.68±1.20 c	51.05±0.28 c
USA	76.66±2.52 a	65.26±1.44 abc	53.08±0.61 bc
LpA	75.36±3.87 a	74.60±4.42 ab	54.80±2.55 abc

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ²DKB: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu. USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu. LpKB: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday unu. DA: Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu. USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu. LpA: *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant unu. ³GS: Gastrik sindirilebilirlik. ⁴KSO:Kül sindirilebilirlik oranı.

Bu çalışmadan elde edilen KSO sonuçları ile uyumlu şekilde literatürde, fitik asit parçalanmasının ekstrakte edilebilir mineral madde miktarlarında, dolayısıyla kül sindirilebilirlik değerlerinde artışa neden olduğu bilgisi yer almaktadır (Bilgiçli ve Türker, 2004). Hammaddelere ait mineral madde sonuçları incelendiğinde KSO sonuçlarına paralel olarak, buğday ununun mineral madde ve ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerinin genel olarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarından düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4 ve 4.5). Çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarında ise ultrason ve *L. plantarum* inokülasyonu işlemlerinin fitik asit içeriklerini azaltıcı, mineral madde ve ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerini artırıcı etkisi dikkat çekmektedir (Çizelge 4.2, 4.4 ve 4.5). Tüm bu veriler doğrultusunda, dezenfektan kullanılarak çimlendirilen yalancı tahıl unlarının KSO değerlerinin diğer örneklerden düşük bulunması beklenen bir sonuçtur. Ultrason ve *L. plantarum* inokülasyonu uygulanan örneklerin KSO değerlerinin, dezenfektan kullanılan örneklerden yüksek bulunması, uygulanan bu işlemlerin fitik asiti parçalayıcı etkisine atfedilebilir. Fitat komplekslerinin parçalanmasıyla serbest kalan mineral maddelerin hem ekstrakte edilebilir mineral madde hem de KSO değerlerini artırdığı söylenebilir.

Bu çalışmadan elde edilen sindirilebilir nişasta sonuçlarına benzer şekilde, literatürde yer alan pek çok çalışmada, tahıllar ve yalancı tahıllara uygulanan ultrason işleminin, enzimatik nişasta hidrolizini desteklediği belirtilmiştir. Nişasta hidrolizindeki artışın sebeplerinin; kavitasyonla beraber tohum kabuklarının hücre zarı geçirgenliğinin artması, endojen enzim aktiviteleri ile hücresel yapılarda değişiklikler meydana gelmesi ve nişastanın çift sarmal yapısının bozulması sonucu nişasta granüllerinin enzimatik hidrolize karşı daha hassas bir eğilim göstermesi olduğu bildirilmiştir (Kaur ve Gill, 2019; Liu ve ark., 2021; Estivi ve ark., 2022a). Bu çalışmaya benzer şekilde, Xia ve ark. (2020) bir çalışmalarında pirinçte çimlendirme ön işlemi olarak ultrason uygulamasının örneklerin bazı fizikokimyasal, besinsel ve kalite özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak ultrason uygulamasının, çimlendirilmiş pirinçlerde nişasta hidrolizini desteklediği bildirilmiştir. Ultrason uygulaması ile nişasta hidrolizinde görülen artışın sebeplerinin ise; ultrason uygulamasının pirinçteki endojen enzimlerin aktif bölgeleri ve/veya konformasyonları üzerinde oluşturabileceği etkiler, çimlendirme sırasında enzimlerde gerçekleşebilecek sentez ve dönüşümler ve nişastanın mikro yapısındaki enzimatik duyarlılığın değişimi gibi hem enzimlere hem de nişastaya bağlı değişimler olduğu bildirilmiştir.

Dolayısıyla bu çalışmada, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının sindirilebilir nişasta içeriklerinin yüksek bulunmasının sebebinin, literatürde bildirilen çalışmalara benzer şekilde hücre geçirgenliği, enzim aktiviteleri ve nişastanın granüler yapısında gerçekleşen değişimler olduğu söylenebilir.

Literatürde, *Lactobacillus plantarum* 299v inoküle edilmiş ve 7 gün depolanmış adzuki fasulyesi filizlerinin nişasta sindirilebilirliğinin taze örneklerden %12 oranında yüksek bulunduğu bildirilmiştir (Swieca ve ark., 2019a). Bahsedilen bu çalışmanın sonuçları, LpA örneklerine ait değerlerin yüksek bulunmasını destekler niteliktedir. Nişasta sindirilebilirliğinde görülen bu artışın, örneklerdeki bakteriyel biyokütlenin nişastayı metabolizma faaliyetlerinde besin maddesi olarak kullanması sonucu meydana geldiği öne sürülmüştür. Bununla birlikte, tahıl ve baklagillerin fermantasyonunda sıklıkla kullanılan *L. plantarum*'un, fermente edilen örneklerin besin içerikleri ve sindirilebilirlik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği, sindirilebilir nişasta içeriğini ise artırıcı bir etkisinin olduğu pek çok çalışmada bildirilmiştir (Pranoto ve ark., 2013; Ogodo ve ark., 2017; Chavan ve ark., 2018; Ogodo ve ark., 2018; Tang ve ark., 2023).

Abdel-Aal (2008) bir çalışmasında, çeşitli buğday türleri ve tahıl ürünlerinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerlerini belirlemek üzere çeşitli enzimlerin kullanıldığı iki farklı metot kullanmış ve kullandığı ikinci metotta örneklerin protein sindirilebilirliklerini Kjeldahl ve Lowry yöntemleriyle belirlemiştir. Bahsedilen bu çalışmada, laboratuvar koşullarında öğütülen ve ticari olarak öğütülen buğday ununun *in vitro* protein sindirilebilirlikleri kullanılan birinci metotta (tripsin, kimotripsin ve peptidaz kullanılarak) %85.6 ve %87.1 olarak bulunmuştur. İkinci metotta (pepsin ve pankreatin kullanılarak) buğday unu örneklerinin protein sindirilebilirlik değerleri Kjeldahl yöntemiyle %49.1 ve 47.8 olarak, Lowry yöntemiyle ise %33.2 ve %33.1 olarak bulunmuştur. Literatürde bildirilen bir çalışmada buğday ununun *in vitro* protein sindirilebilirliğinin %68.74 olduğu bulunmuştur (Aydın, 2012). Świeca ve ark. (2017), buğday ununun *in vitro* protein sindirilebilirlik değerini %51.74, çimlendirilmiş buğday ununun *in vitro* protein sindirilebilirlik değerini ise %51.06 olarak tespit etmişlerdir. Hou ve ark. (2024) ise bir çalışmalarında pişirilmiş tam buğday ve yulaf unlarında protein, yağ, polifenoller gibi farklı endojen bileşiklerin çıkarılması ile örneklerin bazı kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Bahsedilen bu çalışmada farklı işlemlere tabi tutulan pişirilmiş tam buğday unlarının protein sindirilebilirlik değerleri %23.1 ile %63.0 arasında değişirken, tam buğday ununun protein sindirilebilirliği %23.1 olarak tespit edilmiştir. Bilgiçli ve Türker (2004) bir çalışmalarında buğday ununun sindirilebilir kül

içeriğini %0.6062, kül sindirilebilirlik oranını ise %55.05 olarak tespit etmişlerdir. Ndlovu ve ark. (2021) bir çalışmalarında buğday ununun sindirilebilir nişasta içeriğinin 64.574 g/100 g bulunduğunu bildirmişlerdir.

Nosworthy ve ark. (2017) bir çalışmalarında karabuğday unu, ekstrüde karabuğday unu ve fırınlanmış karabuğday unu örneklerinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerlerini sırasıyla %71.72, %77.97 ve %73.90 olarak tespit etmişlerdir. Literatürde yer alan bir çalışmada, karabuğday ununun nişasta hidroliz oranının %79.57 olduğu bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2023a). Molska ve ark. (2022), karabuğdayın, karabuğday filizinin ve probiyotikçe zenginleştirilmiş karabuğday filizinin nişasta sindirilebilirlik oranlarını sırasıyla %86.49, %84.31 ve %82.82 olarak tespit etmişlerdir.

Muyonga ve ark. (2014) iki farklı amarant türünün protein sindirilebilirlik değerlerinin %73.85 ve %71.93 olduğunu, kavurma işlemi ile protein sindirilebilirliklerinin %63.34 ve %60.60'a düştüğünü tespit etmişlerdir. Hejazi ve ark. (2016) amarant örneğinin *in vitro* protein sindirilebilirliğini %76.03 olarak buldukları bir çalışmalarında, 22°C'de 24, 36 ve 48 saat çimlendirilmiş amarant örneklerine ait değerleri ise sırasıyla %81.03, %81.50 ve %83.04 olarak tespit etmişlerdir. Olawoye ve Gbadamosi (2017) bir çalışmalarında otoklavlanmış, çimlendirilmiş, beyazlatılmış, tam ve yağı ayrılmış amarant ununun *in vitro* protein sindirilebilirlik değerlerini sırasıyla %57.65, %65.21, %53.70, %35.84 ve %42.48 olarak tespit etmişlerdir. Cornejo ve ark. (2019) bir çalışmalarında, iki farklı amarant türünün dirençli olmayan nişasta içeriklerini 66.16 ve 56.25 g/100 g olarak tespit etmiş olup, bu türlerin çimlendirilmesiyle dirençli olmayan nişasta içeriklerinin 54.05 ve 26.84 g/100 g'a azaldığını tespit etmişlerdir. Yine bahsedilen bu çalışmada, ham örneklerin hızlı sindirilebilir nişasta içerikleri 28.24 ve 28.06 g/100 g, yavaş sindirilebilir nişasta içerikleri 35.24 ve 43.61 g/100 g olarak, çimlendirilmiş örneklerin hızlı ve yavaş sindirilebilir nişasta içerikleri ise sırasıyla 35.85 ve 12.96 g/100 g ile 32.11 ve 25.44 g/100 g olarak bulunmuştur.

Literatürde bildirilen tüm bu çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde, hammaddelerin gastrik, kül ve nişasta sindirilebilirlik değerlerine ait sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

4.2. Tarhana Örneklerine Ait Analiz Sonuçları

Farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları, farklı oranlarda buğday ununa ikame edilerek tarhana üretiminde kullanılmış, son ürünlerde gerçekleştirilen analizlere ait veriler aşağıda başlıklar halinde özetlenmiştir.

4.2.1. Renk değerlerine ait sonuçlar

Renk, bir gıdanın tercih edilebilirliğini etkileyen ve gıda maddesinin lezzet ve aromasının tahmininde önemli rol oynayan bir parametredir. Gıdaların rengi, üretimde kullanılan hammaddelerin rengi ve üretim yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Literatürde, tarhana çorbasının tüketiciler tarafından genel olarak kırmızı ve sarı renk ile ilişkilendirildiği bildirilmiştir (Yılmaz ve Erden, 2017). Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle üretilmiş tarhana örneklerine ait renk analizi sonuçları Çizelge 4.7'de özetlenmiştir. Örneklerin L^* değerleri 65.33 ile 76.41 arasında, a^* değerleri 3.67 ile 6.87 arasında, b^* değerleri ise 30.33 ile 38.86 arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 4.7. Tarhana örneklerinin renk ölçümlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	L^*	a^*	b^*	
Kontrol		0	72.24±0.02	6.87±0.06	38.86±0.36	
		10	69.85±0.01	5.94±0.14	35.92±0.27	
		D	20	68.67±0.20	4.91±0.01	32.94±0.07
			30	67.62±0.35	4.03±0.01	30.55±0.26
KB	US	10	70.38±0.03	5.45±0.31	34.18±0.11	
		20	68.45±0.06	4.17±0.01	31.15±0.19	
		30	66.78±0.50	3.67±0.04	30.93±0.50	
	Lp	10	70.02±0.02	6.08±0.08	35.27±0.44	
		20	67.61±0.14	5.34±0.27	32.04±0.33	
		30	65.33±0.11	3.96±0.04	30.33±0.01	
A	D	10	72.57±0.02	6.11±0.02	37.25±0.28	
		20	72.87±0.01	5.14±0.12	35.06±0.18	
		30	73.28±0.01	4.58±0.01	32.59±0.21	
	US	10	73.22±0.01	6.50±0.01	38.40±0.01	
		20	74.35±0.03	4.95±0.04	37.11±0.01	
		30	75.41±0.01	4.39±0.01	36.61±0.41	
	Lp	10	73.91±0.01	6.83±0.01	38.75±0.01	
		20	75.72±0.09	5.14±0.01	36.64±0.01	
30		76.41±0.01	4.85±0.02	35.50±0.04		

¹Sonuçlar iki tekrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Tarhana örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8’de, Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.9’da verilmiştir. Varyans analizinde renk değerleri üzerinde; ön işlem, çeşit, oran faktörleri ile tüm interaksiyonların $p<0.01$ düzeyinde önemli bir etkisinin bulunduğu görülmektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Tarhana örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<i>L*</i>		<i>a*</i>		<i>b*</i>	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	2.58	33.78**	1.18	29.88**	2.87	13.58**
Çeşit (B)	1	234.22	6126.79**	2.04	103.30**	99.68	943.29**
Oran (C)	3	13.26	115.66**	50.16	847.56**	262.84	829.12**
AxB	2	13.82	180.71**	0.34	8.54**	14.57	68.96**
AxC	6	1.21	5.26**	0.65	5.52**	8.26	13.04**
BxC	3	120.47	1050.48**	1.03	17.46**	36.35	114.68**
AxBxC	6	9.44	41.15**	0.60	5.08**	5.31	8.38**
Hata	24	430.57		118.31		169.99	

¹* $p<0.05$ düzeyinde önemli, ** $p<0.01$ düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.9. Tarhana örneklerinin renk değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>
<i>Çeşit</i> ²				
KB	12	69.28±1.91 b	5.34±1.03 b	34.16±2.68 b
A	12	73.70±1.36 a	5.76±0.90 a	37.04±1.84 a
<i>Ön İşlem</i> ³				
D	8	71.17±2.01 b	5.56±0.99 b	35.26±2.86 b
US	8	71.63±2.75 a	5.36±1.19 c	35.76±3.09 a
Lp	8	71.68±3.61 a	5.74±1.03 a	35.78±3.02 a
<i>Oran</i>				
0	6	72.24±0.02 a	6.87±0.06 a	38.86±0.36 a
10	6	71.66±1.63 b	6.15±0.46 b	36.63±1.67 b
20	6	71.28±3.16 c	4.94±0.39 c	34.16±2.27 c
30	6	70.80±4.39 d	4.24±0.40 d	32.75±2.48 d

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin *L**, *a** ve *b** değerleri, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.9). Fenolik bileşiklerin oksidasyon ve polimerizasyonu sonucu meydana gelen, hücreyi karsinojenik ve mutajenik faktörlere karşı koruyucu etki gösteren ve

hücreye kahverengi renk veren bir pigment olan melanin, karabuğdayda bulunan en baskın renk bileşimidir (Sujka ve ark., 2022). Literatürde, amarant tohumlarının (*Amaranthus hypochondriacus*) ise düşük tanen içerikleriyle, açık altın rengine sahip olduğu bildirilmiştir (Valadez-Vega ve ark., 2022). Amarant unu ikame edilen tarhana örneklerinin renk değerlerinin daha yüksek bulunması, hammadde sonuçları doğrultusunda beklenen bir sonuç olup, bu durum ikame edilen çimlendirilmiş karabuğday ve amarant tohumlarının bileşimlerindeki renk pigmentleri ve renk değerleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

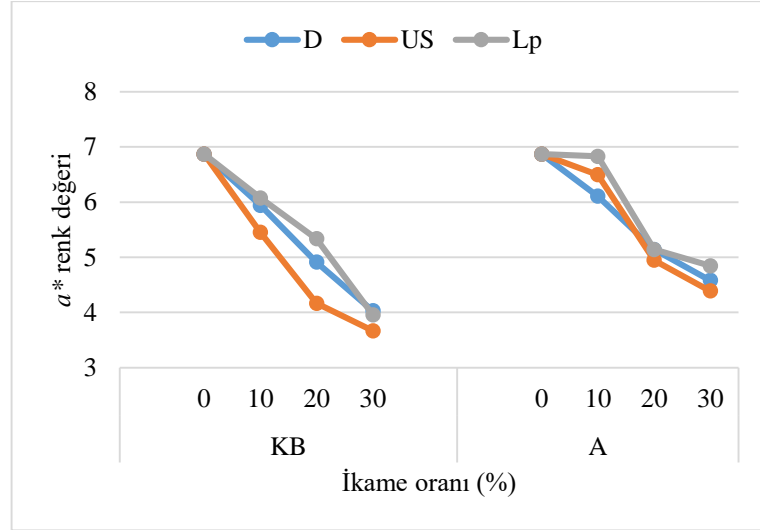
Çimlendirme ön işlemlerinin örneklerin renk değerleri üzerindeki etkisine bakıldığında, kimyasal dezenfektan kullanılan örneklerin L^* ve b^* değerlerinin diğer örneklere kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu, *L. plantarum* inokülasyonuna sahip örneklerin a^* değerlerinin ise diğer örneklerden daha yüksek bulunduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.9). Ultrason uygulanan ve *L. plantarum* ikame edilen örneklerin L^* ve b^* değerleri arasındaki deskriptif farklılıkların ise istatistiksel olarak önem arz etmediği görülmüştür ($p > 0.05$). Ulyarti ve ark. (2021) mor yam ununu *Lactobacillus plantarum* ile fermente ederek fizikokimyasal özelliklerini modifiye etmeyi amaçladıkları bir çalışmada, fermente edilen unların L^* ve b^* değerlerinde bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu değişimin sebebi, *L. plantarum* ile fermantasyon sırasında pigmentlerin çözünürlüğünün artması ve fermantasyon ortamındaki asitliğin pigmentleri koruyucu etki göstermesi ile açıklanmıştır. Bu sonuç, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermekte olup, *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş yalancı tahıl unları ikame edilerek üretilen tarhana örneklerinin renk değerlerinin diğer örneklerden yüksek bulunmasının muhtemel nedeni (Çizelge 4.9), Lp örneklerindeki asitliğin diğer örneklerden daha yüksek olması ve ortamdaki asitliğin renk pigmentlerini koruyucu bir etki göstermesidir.

Literatürde; kurutma, ışınlama, ekstraksiyon, pastörizasyon, pişirme ve temperleme gibi pekçok gıda işleme prosesinde uygulanan ultrasonikasyonun, örneklerin renk değerleri üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Kutlu ve ark., 2022). Benzer şekilde bu çalışmada, ultrasonun çimlendirme prosesinde örneklerin L^* ve b^* renk değerlerini geliştirici etkisi ortaya konmuştur (Çizelge 4.9). US ve Lp tarhana örneklerinin daha iyi renk değerlerine sahip olması, hammaddelerin renk değerleri doğrultusunda beklenen bir sonuçtur.

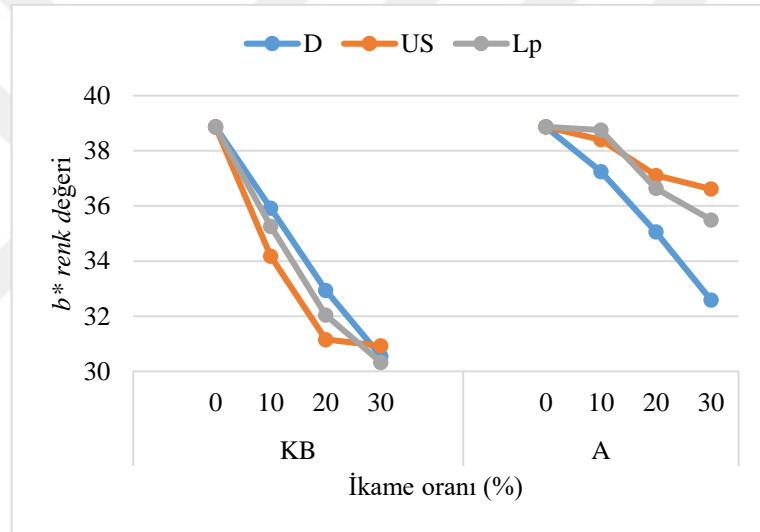
Tarhana örneklerinde, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikame oranındaki artış, tüm renk değerlerinin azalmasına neden olmuştur (Çizelge 4.9). Bu

azalma, tüm ikame oranlarında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Yapılan çalışmalarda, karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana ve glutensiz tarhana örneklerinde ikame oranı arttıkça, örneklerin L^* değerlerinde istatistiksel olarak önemli şekilde bir azalma görüldüğü bildirilmiştir (Bilgiçli, 2009a; 2009b). Karabuğdayununun %0 ve %100 oranları arasında ikame edildiği tarhana örneklerinin a^* değerlerinin 10.40'tan 13.24'e yükseldiği, b^* değerlerinin ise 32.28'den 24.45'e düştüğü, bu değişimlerin ise istatistiksel olarak önemli bulunduğu bildirilmiştir (Bilgiçli, 2009a). Glutensiz tarhana örneklerinde ise karabuğday unu %40 ve %60 oranında formülasyona eklenmiş, fakat ikame oranlarındaki bu farklılığın, örneklerin a^* ve b^* değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılığa neden olmadığı belirtilmiştir (Bilgiçli, 2009b). Elde edilen sonuçlara benzer şekilde literatürde, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının farklı model gıdalara ikame edilmesi ile de renk değerlerinde benzer sonuçlar bulunduğu bildirilmiştir. Glutensiz muffin (Bhinder ve ark., 2022) ve pirinç keki (seolgitteok) (Kim ve ark., 2017) örneklerinde çimlendirilmiş karabuğday ikame oranı arttıkça örneklerin L^* ve a^* değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yumurtasız kek formülasyonu geliştirilmesinde, çimlendirilmiş amarant ve soya fasulyesi kompozit un karışımı kullanımıyla örneklerin kabuklarının L^* , a^* ve b^* değerlerinin azaldığı, iç dokularının ise L^* ve b^* değerlerinin azaldığı bildirilmiştir (Agrahar-Murugkar ve ark., 2018).

Tarhana örneklerinin a^* ve b^* renk değerleri üzerinde etkili “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Hammadde sonuçları doğrultusunda beklenenin aksine, ikame oranındaki artışla beraber tarhana örneklerinin a^* ve b^* renk değerleri azalmış olup, bu azalma interaksiyon grafiklerinde de açıkça görülmektedir. Kırmızılık ve sarılık değerlerinde tespit edilen bu azalmanın, tarhana üretimindeki kurutma prosesinde meydana gelen renk kaybından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Tarhana örneklerinin a^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu



Şekil 4.2. Tarhana örneklerinin b^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu

Tarhana üretimindeki kurutma adımında, Maillard gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ya da karotenoidler gibi doğal renk maddelerinde ısı etkisiyle oluşan degradasyon, son ürünün renk özelliklerini etkilemektedir (Gürbüz ve ark., 2010). Tarhanaların kurutulması sırasında meydana gelen oksidasyon ve polimerizasyon olaylarıyla renk bileşiklerinin parçalanması, Erbaş ve ark. (2005) tarafından da daha önceden bildirilmiştir. Dolayısıyla, hammaddelerin daha yüksek sarılık ve kırmızılık değerlerine sahip olmasına karşın (Çizelge 4.1), tarhana örneklerinin a^* ve b^* değerlerinde görülen azalmanın (Çizelge 4.9), kurutma sırasında renk bileşiklerinde meydana gelen kayıptan kaynaklandığı söylenebilir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde; Aktaş ve Akın (2020) bir çalışmalarında, kontrol tarhana örneğinin L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 72.20, 4.32 ve 26.77 olarak tespit etmişlerdir. Literatürde bildirilen diğer çalışmalarda ise bu değerler sırasıyla; 78.76, 10.05 ve 33.60 (Levent, 2019), 78.40, 8.65 ve 32.29 (Kömürcü ve Bilgiçli, 2022), 77.71, 8.80 ve 37,71 (Kılıç Keskin ve ark., 2022), 64.49, 19.22 ve 44.89 (Dadalı, 2023), 58.47, 10.71 ve 31.67 (Başataç ve ark., 2023) olarak bildirilmiştir. Değerler arasındaki deskriptif farklılıklara karşın, bu çalışmadan elde edilen renk verilerinin literatür ile uyumlu olduğu söylenebilmektedir.

4.2.2. Fizikokimyasal özelliklere ait sonuçlar

Tarhana örneklerinde ürünün formülasyonu ve proses süreçleri üzerinde önemli etkileri bulunan işlevsel özelliklerin belirlenmesi amacıyla bazı fizikokimyasal analizler yapılmaktadır. Bu fizikokimyasal ölçümlerden biri olan fermantasyon kaybı, tarhana hamurunun 72 saat boyunca fermente edilmesi sırasında kuru madde, özellikle karbonhidrat içeriğinde meydana gelen kayıp olarak tanımlanmaktadır (Çağlar ve ark., 2013).

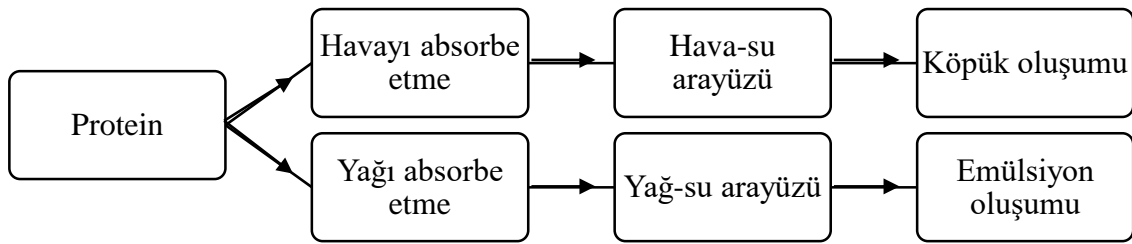
Su absorpsiyon kapasitesi, bir gıdanın su emmeden önceki ve sonraki ağırlıkları arasındaki fark olup, gıdanın su tutma yeteneği veya su emme kapasitesinin bir ölçüsüdür (Henry ve ark., 2016). Yağ absorpsiyon kapasitesi de aynı şekilde bir gıdanın tutabileceği maksimum yağ miktarının bir indeksidir. Su absorpsiyon kapasitesi, hazır gıdaların kohezifliğinden (Shobha ve ark., 2014), gluten proteininin hidrofilikliği veya hidrofobikliğine (Schopf ve Scherf, 2021) kadar, gıdaların hem fiziksel hem de moleküler yapısı üzerinde önemli etkileri bulunan bir özelliktir. Yağdaki hidrokarbon zincirlerinin aminoasitlerin polar olmayan yan zincirlerine bağlanması ile oluşan yağ absorpsiyon kapasitesi ise gıdalarda hidrofobik, elektrostatik ve hidrojen bağı gibi kovalent olmayan bağların oluşturduğu lipid-protein etkileşimlerinin bir ölçüsüdür (Wang ve ark., 2020).

Gıdaların belli bir güçte ve sürede çırılması sonucu, bileşimlerinde bulunan proteinlerin genişlemiş arayüzey alanlarının ölçülmesiyle tespit edilen köpük kapasitesi, tarhana örneklerinde ölçülen bir diğer önemli fonksiyonel özelliktir. Köpük stabilitesi ise oluşan köpük hacminin yarısının sönmesi için gerekli sürenin tespiti ile belirlenmektedir (Mauer, 2003). Gıda proteinlerinin köpük kapasiteleri ve stabiliteyi proteinin türüne, denatürasyon derecesine, pH'a, sıcaklığa ve uygulanan prosese göre değişiklik göstermektedir. Tarhana, formülasyonunda yoğurt ve un bulunan bir gıda olduğu için

hem süt (kazein, globulin ve albümin) hem de tahıl (glutenin ve gliadin) proteinlerini içermekte, protein özelliklerine baēlantılı olarak köpük kapasitesi ve stabilitesi ise tarhananın tekstürel ve duyuşal özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır (Tarakçı ve ark., 2013).

Emülsiyon aktivitesi, gıda arayüzeyinde stabilize edilmiş yaē globüllerinin alanının bir lsdr. Bu nedenle rneēin yaē ieriēi, protein konsantrasyonu ve emülsiyonun retildiēi ekipmanın tipi emülsiyon aktivitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Gıdaların kararlı emülsiyon oluşturma yetenekleri, bileşimlerindeki protein-lipit etkileşimlerinden kaynaklanmakta ve bir gıdanın emülsifikasyon zelliēi üzerinde bileşimindeki proteinin türü daha fazla önem arz etmektedir (Hayta ve ark., 2002).

Polar ve apolar aminoasit kalıntıları nedeniyle amfifilik özellik gösteren proteinler, arayüzeylerinde emülsiyon veya köpük oluşumunu saēlayan yaē veya hava kreciklerini absorbe ederek gıda bileşiminde emülgatör görevi görmektedir. Hem yaē-su arayüzü (emülsiyon) hem de hava-su arayüzü (köpük) oluşumu, gıdalarda emülsiyonun birleşmesini, topaklaşmasını, floklasyonunu ve sedimantasyonunu, kpēn ise kırılmasını önlemektedir (Aryee ve ark., 2018). Bu nedenle tüm bu fizikokimyasal özellikler, tarhananın tekstürel ve duyuşal özellikleri üzerinde kritik rol oynamaktadır.



Şekil 4.3. Gıdalarda köpük ve emülsiyon oluşum mekanizması

Tarhana örneklerinde gerçekleştirilen fizikokimyasal analizlere ait sonuçlar izelge 4.10’da, fizikokimyasal analizlere ait varyans analizi sonuçları izelge 4.11’de, Tukey HSD oklu karşılaştırma testi sonuçları ise izelge 4.12’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.10. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Fermentasyon kaybı (%)	Su absorpsiyon kapasitesi (ml/g)	Yağ absorpsiyon kapasitesi (ml/g)	Köpük kapasitesi (ml/ml)	Köpük stabilitesi (dk)	Emülsiyon aktivitesi (%)
	Kontrol	0	10.59±0.59	0.68±0.02	0.92±0.01	0.65±0.05	0.17±0.01	91.53±2.40
	D	10	12.85±0.62	0.78±0.01	0.96±0.01	0.55±0.05	0.13±0.01	92.86±0.01
		20	14.65±0.23	0.86±0.01	1.02±0.03	0.35±0.05	0.08±0.01	92.81±0.22
		30	16.45±0.41	0.92±0.01	1.06±0.03	0.26±0.05	0.06±0.01	94.46±1.28
KB	US	10	13.15±0.50	0.82±0.01	0.93±0.01	0.45±0.05	0.13±0.01	92.12±1.43
		20	15.06±0.55	0.88±0.01	0.95±0.03	0.40±0.01	0.10±0.01	90.60±1.71
		30	17.00±0.28	0.96±0.02	1.03±0.01	0.35±0.05	0.06±0.01	88.05±3.84
	Lp	10	12.60±0.19	0.84±0.03	0.93±0.07	0.47±0.05	0.13±0.01	91.83±3.83
		20	14.30±0.15	0.94±0.01	0.96±0.01	0.30±0.10	0.10±0.01	93.19±1.89
		30	17.11±1.21	1.10±0.12	0.98±0.04	0.25±0.05	0.08±0.01	94.19±0.54
	D	10	12.46±0.15	0.81±0.01	0.93±0.01	0.58±0.01	0.15±0.02	94.32±0.77
		20	14.08±0.19	0.89±0.03	0.95±0.02	0.44±0.01	0.11±0.01	92.73±2.73
		30	18.02±0.43	0.93±0.02	0.96±0.02	0.30±0.10	0.10±0.01	91.92±4.74
A	US	10	12.74±0.04	0.82±0.01	0.91±0.02	0.57±0.01	0.13±0.03	92.86±0.36
		20	15.10±1.12	0.88±0.01	0.89±0.01	0.50±0.01	0.10±0.01	92.59±3.70
		30	17.84±0.22	0.92±0.01	0.93±0.01	0.44±0.01	0.07±0.01	92.65±1.58
	Lp	10	11.76±0.43	0.88±0.01	0.91±0.01	0.59±0.01	0.15±0.02	92.43±1.12
		20	14.73±0.70	0.94±0.01	0.91±0.01	0.42±0.01	0.10±0.01	91.64±2.36
		30	17.93±0.15	0.94±0.01	0.90±0.06	0.40±0.01	0.08±0.02	90.98±1.62

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Çizelge 4.11. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Fermantasyon kaybı		Su absorpsiyon kapasitesi		Yağ absorpsiyon kapasitesi		Köpük kapasitesi		Köpük stabilitesi		Emülsiyon aktivitesi	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.98	0.80ns	0.03	8.78**	0.01	4.51*	0.01	1.21ns	0.01	0.79ns	13.04	0.58ns
Çeşit (B)	1	0.19	0.31ns	0.01	0.48ns	0.02	16.77**	0.06	13.54**	0.01	6.80*	0.34	0.03ns
Oran (C)	3	304.20	164.11**	0.51	96.67**	0.02	5.09**	0.71	53.44**	0.06	100.86**	8.93	0.26ns
AxB	2	0.01	0.01ns	0.01	1.16ns	0.01	0.07ns	0.01	0.77ns	0.01	2.00ns	17.77	0.79ns
AxC	6	1.53	0.41ns	0.01	1.09ns	0.01	1.14ns	0.04	1.41ns	0.01	0.48ns	12.39	0.18ns
BxC	3	4.20	2.27ns	0.01	2.31ns	0.02	3.83*	0.02	1.53ns	0.01	0.92ns	2.75	0.08ns
AxBxC	6	1.00	0.27ns	0.01	1.09ns	0.01	0.02ns	0.01	0.20ns	0.01	0.51ns	26.49	0.39ns
Hata	24	21.05		13.78		2.51		8.05		13.52		0.31	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.12. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Fermantasyon kaybı (%)	Su absorpsiyon kapasitesi (ml/g)	Yağ absorpsiyon kapasitesi (ml/g)	Köpük kapasitesi (ml/ml)	Köpük stabilitesi (dk)	Emülsiyon aktivitesi (%)
<i>Çeşit</i> ²							
KB	12	13.74±2.09 a	0.85±0.11 a	0.96±0.05 a	0.44±0.13 b	0.11±0.03 b	92.06±2.77 a
A	12	13.87±2.62 a	0.84±0.08 a	0.92±0.03 b	0.52±0.11 a	0.12±0.03 a	92.23±2.64 a
<i>Ön İşlem</i> ³							
D	8	13.71±2.51 a	0.82±0.09 b	0.96±0.05 a	0.47±0.16 a	0.12±0.04 a	92.77±2.57 a
US	8	14.01±2.60 a	0.83±0.10 b	0.93±0.04 ab	0.50±0.11 a	0.11±0.04 a	91.49±2.85 a
Lp	8	13.70±2.70 a	0.88±0.14 a	0.92±0.05 b	0.47±0.15 a	0.12±0.03 a	92.16±2.43 a
<i>Oran</i>							
0	6	10.59±0.59 d	0.68±0.02 d	0.92±0.01 b	0.65±0.05 a	0.17±0.01 a	91.53±2.40 a
10	6	12.59±0.57 c	0.82±0.03 c	0.93±0.03 b	0.54±0.06 b	0.14±0.02 b	92.74±1.94 a
20	6	14.65±0.70 b	0.90±0.03 b	0.94±0.05 ab	0.40±0.08 c	0.10±0.01 c	92.26±2.51 a
30	6	17.39±0.81 a	0.96±0.08 a	0.97±0.06 a	0.33±0.09 c	0.08±0.02 d	92.04±3.47 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri.

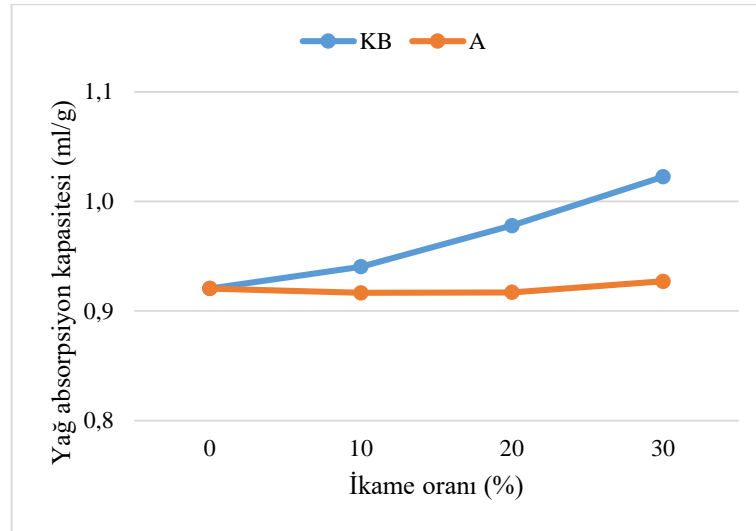
³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Tarhana örneklerinin fermantasyon kaybı değerleri %10.59 ile %18.02 arasında değişim göstermiş olup, en düşük değerler kontrol örneklerinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.10). Su ve yağ absorpsiyon kapasitesi değerleri sırasıyla 0.68-1.10 ml/g ve 0.90-1.06 ml/g arasında değişim göstermiştir. Örneklerin köpük kapasitesi 0.25-0.65 ml/ml, köpük stabilitesi ise 0.06-0.17 dk arasında değişim göstermiş olup, en yüksek değerlerin kontrol örneğine ait olduğu belirlenmiştir. En düşük emülsiyon aktivitesi değeri (%88.05) ultrasonla çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte bulunurken, en yüksek değer (%94.46) dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11'deki varyans analizi sonuçları incelendiğinde, tarhana örneklerinin fermantasyon kaybı değeri üzerine ikame oranının $p < 0.01$ düzeyinde önemli etkisinin olduğu, diğer parametrelerin ve interaksiyonların etkilerinin ise önemsiz ($p > 0.05$) bulunduğu görülmüştür. Su absorpsiyon kapasitesi üzerinde ön işlem ve oranın $p < 0.01$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Yağ absorpsiyon kapasitesi üzerinde çeşit ve oran faktörlerinin $p < 0.01$ düzeyinde, ön işlem faktörü ve “*çeşit x oran*” interaksiyonunun ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli etkisinin olduğu bulunmuştur. Oran faktörünün etkisi hem köpük kapasitesi hem de köpük stabilitesi üzerinde $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunurken, çeşit faktörünün köpük kapasitesi ve stabilitesi üzerindeki etkilerinin sırasıyla $p < 0.01$ ve $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunduğu tespit edilmiştir. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal özellikleri üzerinde diğer parametrelerin ve interaksiyonların etkileri önemsiz ($p > 0.05$) bulunmuştur. Örneklerin emülsiyon aktivitesi değerinde ise tüm faktörlerin ve interaksiyonların etkilerinin önemsiz bulunduğu görülmüştür ($p > 0.05$).

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına çeşit faktörü açısından bakıldığında, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin yağ absorpsiyon kapasitelerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin ise köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değerlerinin istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.12). Çeşit faktörü açısından, örneklerin fermantasyon kaybı, su absorpsiyon kapasitesi ve emülsiyon aktivitesi değerleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$).

Tarhana örneklerinin yağ absorpsiyon kapasitesi üzerinde “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisi Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Tarhana örneklerinin yağ absorpsiyon kapasitesi üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksiyonu

Yağ absorpsiyon kapasitesi gıda proteinlerinin hidrofobiklik derecesini gösteren bir parametredir (Hayta ve ark., 2002). Literatürde hidrofobik özellik gösteren aminoasitlerin; alanin, valin, lösin, izölösün, fenilalanin, metiyonin ve triptofan olduğu bildirilmiştir (Ruden, 1992). Çimlendirilmiş amarant ununun; alanin, valin, lösin, izölösün, fenilalanin, metiyonin ve triptofan içeriklerinin sırasıyla 500, 450, 690, 380, 470, 130 ve 180 mg/100 g olduğu bildirilmiştir (Chauhan ve ark., 2022). Bu aminoasit içeriklerinin çimlendirilmiş karabuğday ununda ise sırasıyla; 4.39, 6.70, 6.86, 3.67, 4.55, 1.92 ve 2.87 g/100 g olarak tespit edildiği bildirilmiştir (Hung ve ark., 2021). Dolayısıyla, çimlendirilmiş karabuğday ununun hidrofobik aminoasit içeriklerinin çimlendirilmiş amarant unundan daha yüksek olmasının, tarhana örneklerinin yağ absorpsiyon özelliklerini etkilediği, böylece çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle daha yüksek yağ absorpsiyon kapasitesine sahip örneklerin elde edildiği söylenebilmektedir.

Gıda proteinlerinin iyi ve kararlı köpük oluşturabilme yetenekleri; gıdada bulunan proteinlerin tipi, konsantrasyonu ve denatürasyon derecesinden etkilenmektedir (Ertaş ve ark., 2015). Çalışkan ve Özçira (2019) bir çalışmalarında, tarhana örneklerinin protein içeriğinin artmasıyla beraber köpük kapasitelerinin de arttığını bildirmişlerdir. Hammaddelerin kimyasal özellikleri göz önüne alındığında (Çizelge 4.2), ikame edilen çimlendirilmiş amarant ununa ait protein içeriğinin çimlendirilmiş karabuğday unundan yüksek olmasının, tarhana örneklerinin köpük kapasitelerinin de daha yüksek bulunmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Literatürde, düşük moleküler ağırlıklı çözümlü proteinlerin, gıdalarda yüksek köpük stabilitesinden sorumlu olduğu bilgisi yer almaktadır (Sosulski ve McCurdy, 1987). Dolayısıyla, çimlendirilmiş amarant unu ikame

edilen tarhana örneklerinin köpük stabiliteilerinin yüksek bulunmasının, düşük moleküler ağırlıklı çözümler protein içeriklerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çoklu karşılaştırma testine ait sonuçlar ön işlem faktörü açısından incelendiğinde, örneklerin fermantasyon kaybı, köpük kapasitesi, köpük stabilitesi ve emülsiyon aktivitesi değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p>0.05$) (Çizelge 4.12). *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesiyle üretilmiş örneklerin su absorpsiyon kapasitelerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak daha yüksek, yağ absorpsiyon kapasitelerinin ise istatistiksel olarak daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Şişme gücü ve çözünürlük özellikleri, nişasta granülleri ile su arasındaki bağlanma özelliklerini yansıtmakla beraber nişastanın bileşimi ve yapısından da etkilenmektedir (Sun ve ark., 2022). Bu çalışmaya benzer şekilde, literatürde yüksek nişasta çözünürlüğünün örneklerde su absorpsiyon kapasitesini artırdığı, ayrıca nişasta granüllerinin boyutu ve şeklinin su absorpsiyon kapasitesi üzerinde etkili değişkenler olduğu bildirilmiştir (Hayta ve ark., 2002). Sun ve ark. (2022) bir çalışmada, *Lactobacillus plantarum* ve maya ile fermente edilen nişastaların hamurun reolojik ve termomekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bahsedilen bu çalışmada, fermantasyon aşamasında *Lactobacillus plantarum* kullanılan nişasta örneklerinin şişme gücünün diğer örneklerden yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca fermantasyonda maya ve *Lactobacillus plantarum*'un birlikte kullanıldığı nişasta örneğinin çözünürlüğünün, mikroorganizmaların tek tek kullanıldığı örneklerden daha yüksek olduğu, yani maya ve *L. plantarum*'un fermantasyonda birlikte kullanılmasıyla beraber nişasta örneğinde daha fazla polar grubun suyla hidrojen bağı oluşturduğu bildirilmiştir. Bahsedilen bu çalışmada nişasta çözünürlüğünün yüksek bulunmasının nedeninin, moleküler ağırlığı düşük kısa zincirli molekül içeriğinin fazla olması olduğu belirtilmiştir. Literatürde yer alan bu bilgiler ışığında, *L. plantarum*'un nişastanın şişme gücü ve çözünürlüğünü, dolayısıyla su absorpsiyon kapasitesini artırıcı bir etki gösterdiği söylenebilmektedir. Bu hipotez *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği tarhana örneklerinin su absorpsiyon kapasitelerinin yüksek bulunmasını desteklemektedir. *L. plantarum* inokülasyonunun su absorpsiyon kapasitesini artırıcı etkisi muhtemelen, biyosalınım yoluyla artan asitliğin nişasta moleküllerini hidroliz etmesi ve değişen moleküler yapıyla beraber nişastanın çözünürlük ve şişme gücünün artmasından kaynaklanmaktadır (Sun ve ark., 2022). Yine aynı sebeple,

L. plantarum inoküle edilen örneklerin hidrofiliğinin arttığı, hidrofobikliğinin azaldığı, dolayısıyla yağ absorpsiyon kapasitelerinin daha düşük bulunduğu yorumu yapılabilir.

Ayrıca çalışmamızda ikame oranı arttıkça örneklerin fermantasyon kaybı ile su ve yağ absorpsiyon kapasitesi değerlerinin de istatistiksel olarak önemli bir şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.12). Fakat %0 ve %10 ikame oranlarına sahip örneklerin yağ absorpsiyon değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz bulunduğu görülmüştür ($p > 0.05$). İkame oranı arttıkça örneklerin köpük kapasitesi ve stabilitesi değerleri istatistiksel olarak önemli düzeyde azalırken ($p < 0.05$), %20 ve %30 oranlarına sahip örneklerin köpük kapasitesi değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli bulunmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). Farklı ikame oranlarına sahip örneklerin emülsiyon aktivitesi değerleri arasındaki deskriptif farklılıkların ise istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

Tarhana üretimi sırasında ortamdaki laktik asit bakterileri ve mayanın etkisiyle nişastada oluşan hidroliz sonucu meydana gelen fermantasyon kaybı, ürünün kabul edilebilirliği ve duyu özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olmakla beraber, ileri fermantasyonla birlikte %25 oranlarına kadar çıkabilmektedir (Bilgiçli, 2009a). Thakur ve ark. (2021) bir çalışmada, çimlendirme prosesinin yalancı tahılların α -amilaz aktivitesini artırdığını, artan enzim aktivitesiyle de örneklerdeki nişasta granüllerinin parçalandığını bildirmişlerdir. Bu bilgi doğrultusunda, çimlendirilmiş karabuğday ve amaranttaki nişasta granüllerinin çimlenme sırasındaki enzim aktivitesiyle parçalandığı, dolayısıyla hidroliz için daha duyarlı hale geldiği ve bu durumun tarhana örneklerinde fermantasyon kaybını artırdığı yorumu yapılabilir. İkame oranının artmasıyla birlikte örnek bileşiminde hidrolize duyarlı nişasta içeriği de artış göstereceğinden, fermantasyon kaybının ikame oranıyla beraber artması beklenen bir sonuçtur. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının hidrofobik aminoasit ve çözünürlüğü yüksek nişasta içeriklerinin buğday unundan yüksek olmasının, artan ikame oranıyla beraber tarhana örneklerinin yağ ve su absorpsiyon kapasitelerinin de artmasına neden olduğu söylenebilir (Hung ve ark., 2021; Chauhan ve ark., 2022; Sun ve ark., 2022).

Yagoub ve ark. (2004) bir çalışmada, fermantasyonun protein denatürasyonuna neden olarak, proteinlerin yüzey hidrofobisitesini artırabileceğini bildirmişlerdir. İleri düzeyde protein denatürasyonunun köpük kapasitesi üzerindeki negatif etkisi de göz önüne alındığında (Mauer, 2003), artan ikame oranıyla örneklerin köpük kapasitelerinin azalması, yalancı tahıl unlarında çimlendirme sırasında parçalanan protein moleküllerinin tarhana üretim prosesindeki fermantasyon aşamasında denatüre

olması ile açıklanabilmektedir. Bu hipotez, artan ikame oranıyla örneklerin yağ absorpsiyon kapasitesinin, yani dolaylı olarak hidrofobitesinin de artması ile desteklenebilmektedir. İzoelektrik nokta yakınında proteinlerin oluşturduğu köpükler daha kararlı yapıda ve köpük stabilitesi daha yüksek olmaktadır. Gluten proteininin oluşturduğu köpüğün ise herhangi bir pH değerinde diğer protein köpüklerinden belirgin şekilde daha kararlı olduğu bildirilmiştir (Mita ve ark., 1978). Dolayısıyla kontrol örneğinin en yüksek köpük stabilitesine sahip olması ve artan ikame oranıyla beraber köpük stabilitesinin azalması, örnek formülasyonunda gluten içeriğinin azalması ile açıklanabilmektedir.

Bu çalışmanın sonuçlarına benzer şekilde; Çağlar ve ark. (2013) bir çalışmalarında kontrol tarhana örneğinin; fermantasyon kaybı, su ve yağ absorpsiyon kapasitesi, köpük kapasitesi, stabilitesi ve emülsiyon aktivitesi değerlerini sırasıyla; %9.69, 0.62 ve 0.61 ml/g, 0.78 ml/ml, 0.34 dk ve %81.12 olarak tespit etmişlerdir. Bu değerler başka bir çalışmada sırasıyla; %12.52, 0.652 ve 0.80 ml/g, 0.36 ml/ml, 3.18 dk ve %87.14 olarak tespit edilmiştir (Ertaş ve ark., 2014). Aktaş ve Akın (2020) kontrol tarhana örneğinin fermantasyon kaybı, su ve yağ absorpsiyon kapasitesi değerlerinin %11.73, 0.58 ve 0.63 ml/g olarak tespit edildiğini bildirirken, Bayrakçı ve Bilgiçli (2015) kontrol örneğinin su ve yağ absorpsiyon kapasitesi ile köpük kapasitesi ve stabilitesi değerlerini sırasıyla 0.75 ve 1.84 g/g ile 0.40 ml/ml ve 0.80 dk olarak bulmuşlardır. Başka bir çalışmada ise kontrol tarhana örneğinin su ve yağ absorpsiyon kapasitesi ile emülsiyon aktivitesinin 0.73 ve 0.76 ml/g ile %94.05 olduğu bildirilmiştir (Ertaş ve ark., 2015). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürde bildirilen çalışmalar ile uyum içerisindedir.

4.2.3. Kimyasal analiz sonuçları

Buğday unu, maya, yoğurt, baharatlar ve çeşitli sebzelerin yoğrulup hamur haline getirilmesi, kurutulması ve öğütülmesi şeklinde hazırlanan tarhana, ülkemizde oldukça popüler olan geleneksel bir gıdadır (Göncü, 2024). Tarhananın besin değeri kullanılan hammaddeler ve üretim yöntemlerine göre değişiklik göstermektedir. Tarhana üretimindeki fermantasyon adımı, son ürünün kimyasal, besinsel ve duyu özelliklerini etkilemektedir. Fermantasyon, ürünün besin değerinin geliştirilmesinde oldukça önemli rol oynamaktadır (Bilgin ve ark., 2022). Protein, vitamin ve minerallerce zengin bir gıda olan tarhananın, toplum sağlığı ve çocuk ile yaşlı beslenmesi açısından önemine dikkat çekilmekte, tüketimi dengeli bir beslenme açısından tavsiye edilmektedir (Göncü, 2024).

Ayrıca; zengin besin bileşimine sahip, ucuz, pratik ve kolay tüketilen bir gıda maddesi olması nedeniyle, özellikle açlıkla mücadele edilen yerlerde tarhana tüketiminin artırılması önerilmektedir (Bilgin ve ark., 2022).

Tarhana örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.13'te, kimyasal analizlere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14 ve 4.15'te, Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Tarhana örneklerinin nem değerleri %3.04 ile %5.93 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.13). Kül ve yağ değerleri ise %1.52-2.19 ve %3.60-5.94 arasında değişmiş olup, en düşük kül ve yağ içeriğinin kontrol örneğinde olduğu dikkat çekmiştir. En düşük protein içeriği, %14.53 ile ultrasonla çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği örnekte, en yüksek protein içeriği ise (%16.10) *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğdayın %30 oranında ikame edildiği örnekte bulunmuştur.

Tarhana örneklerinin dirençli nişasta içerikleri %0.77 ile %1.07 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.13). En düşük toplam nişasta içeriği kontrol tarhana örneğinde %53.68 olarak tespit edilirken, en yüksek toplam nişasta içeriği ise ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte %73.36 olarak bulunmuştur. En düşük karbonhidrat içeriğinin %70.76 olduğu ve bu değer *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte bulunduğu tespit edilmiştir. En düşük fitik asit içeriği ise dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte, 23.22 mg/100 g olarak bulunmuştur. En yüksek karbonhidrat (%76.85) ve fitik asit (183.57 mg/100 g) içeriklerinin ise kontrol tarhana örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin enerji değerleri ise 395.51-405.26 kcal/100 g arasında değişim göstermiştir.

Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında (Çizelge 4.14), örneklerin nem değerleri üzerine ikame oranının etkisinin $p < 0.01$ düzeyinde, ön işlem, çeşit ve “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkisinin ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Kül değerlerinde, ön işlem, oran faktörleri ve “ön işlem x çeşit” interaksiyonunun etkisi $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunurken, çeşit faktörü ve “ön işlem x oran” interaksiyonu $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Tarhana örneklerinin yağ değerleri üzerinde ön işlem, çeşit, oran faktörleri, “ön işlem x çeşit” interaksiyonu ve “çeşit x oran” interaksiyonunun etkisi, protein değerleri üzerinde ise ön işlem, çeşit, oran faktörleri, “ön işlem x çeşit” interaksiyonu ve “ön işlem x oran” interaksiyonunun etkisi $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Nem (%)	Ham kül (%)	Ham yağ (%)	Ham protein (%)	Dirençli nişasta (%)	Toplam nişasta (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kcal/100 g)	Fitik asit (mg/100 g)
Kontrol		0	3.34±0.46	1.52±0.03	3.60±0.02	14.70±0.01	0.98±0.01	53.68±0.31	76.85±0.51	398.57±1.85	55.63±0.01
		10	3.28±0.19	1.86±0.01	4.85±0.03	15.71±0.04	1.07±0.02	56.26±0.14	74.30±0.26	403.64±0.63	47.13±0.77
		20	3.25±0.04	2.03±0.02	5.08±0.01	15.88±0.57	0.98±0.02	61.39±0.17	73.76±0.55	404.30±0.07	36.31±0.77
D		30	3.90±0.21	2.19±0.01	5.17±0.01	16.06±0.22	0.92±0.05	62.81±0.03	72.68±0.01	401.51±0.82	24.36±1.18
		10	3.71±0.15	1.82±0.01	4.27±0.02	14.57±0.13	0.93±0.01	62.48±0.53	75.62±0.28	399.22±0.48	48.68±6.95
		20	4.20±0.76	1.97±0.01	4.43±0.12	14.88±0.01	0.86±0.02	68.14±0.61	74.52±0.87	397.47±2.45	34.77±0.77
	US	30	3.93±0.26	2.08±0.02	4.52±0.01	15.14±0.18	0.80±0.01	73.36±0.97	74.33±0.46	398.53±1.13	25.22±3.50
		10	4.01±0.09	1.87±0.02	4.88±0.01	15.32±0.04	0.86±0.01	59.04±0.32	73.92±0.03	400.85±0.28	49.45±0.01
		20	4.38±0.38	2.03±0.01	4.97±0.01	15.71±0.22	0.81±0.05	64.92±0.05	72.91±0.59	399.19±1.48	33.22±2.32
Lp	30	4.29±0.21	2.21±0.01	5.43±0.01	16.10±0.18	0.77±0.01	66.21±0.26	71.97±0.37	401.17±0.78	24.04±0.77	
	10	3.73±0.02	1.76±0.01	4.22±0.02	15.27±0.13	0.86±0.02	54.43±2.66	75.01±0.18	399.15±0.03	40.18±0.01	
	20	5.70±0.22	1.98±0.01	5.25±0.21	15.44±0.04	0.83±0.01	57.25±1.51	71.62±0.05	395.51±1.94	33.22±0.77	
A		30	3.56±0.53	2.17±0.02	5.63±0.59	15.88±0.04	0.79±0.03	59.90±0.73	72.76±1.10	405.26±0.71	23.22±0.77
		10	3.04±0.25	1.84±0.01	4.94±0.01	14.53±0.01	0.94±0.01	53.91±2.93	75.66±0.23	405.19±1.06	40.63±0.01
		20	4.00±0.73	1.95±0.02	5.33±0.01	15.14±0.01	0.80±0.01	56.25±0.71	73.59±0.75	402.90±3.01	35.54±0.01
	US	30	4.72±0.01	2.15±0.01	5.81±0.37	15.31±0.01	0.78±0.01	62.05±4.62	72.01±0.36	401.56±1.86	24.40±1.14
		10	4.91±0.44	1.80±0.01	4.69±0.01	14.79±0.01	0.88±0.01	53.96±2.85	73.81±0.45	396.57±1.72	40.18±0.01
		20	4.10±0.56	2.02±0.01	5.71±0.11	14.96±0.01	0.85±0.03	57.16±0.76	73.22±0.66	404.07±1.70	34.00±0.01
Lp	30	5.93±0.29	2.15±0.02	5.94±0.01	15.23±0.01	0.77±0.02	60.58±0.61	70.76±0.31	397.37±1.23	26.27±0.01	

¹Sonuçlar iki tekrerrün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Çizelge 4.14. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Nem		Ham kül		Ham yağ		Ham protein	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	2.80	4.38*	0.01	6.59**	0.67	7.09**	2.74	32.29**
Çeşit (B)	1	1.85	5.78*	0.01	7.74*	1.27	26.76**	0.66	15.43**
Oran (C)	3	8.38	8.73**	2.66	1321.05**	22.92	160.52**	5.65	44.33**
AxB	2	1.06	1.65ns	0.01	5.96**	1.02	10.77**	0.82	9.62**
AxC	6	4.10	2.13ns	0.01	2.90*	0.42	1.48ns	1.00	3.94**
BxC	3	1.03	1.07ns	0.01	2.48ns	1.52	10.62**	0.22	1.74ns
AxBxC	6	7.09	3.70*	0.01	2.18ns	0.55	1.92ns	0.42	1.66ns
Hata	24	3.44		168.18		24.84		11.36	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.15. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları²

VK	SD	Direnci nişasta		Toplam nişasta		Karbonhidrat		Enerji		Fitik asit	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.03	17.48**	73.73	8.25**	10.62	10.12**	12.93	1.32ns	2.90	0.25ns
Çeşit (B)	1	0.02	20.92**	291.26	65.17**	2.61	4.97*	0.24	0.05ns	54.32	9.23**
Oran (C)	3	0.21	75.99**	761.87	56.82**	135.44	86.05**	43.52	2.96ns	6370.95	360.87**
AxB	2	0.04	23.36**	66.08	7.39**	0.70	0.67ns	77.13	7.87**	3.08	0.26ns
AxC	6	0.02	2.84*	43.47	1.62ns	6.74	2.14ns	58.91	2.00ns	9.43	0.27ns
BxC	3	0.01	2.45ns	108.61	8.10**	4.05	2.57ns	6.07	0.41ns	142.77	8.09**
AxBxC	6	0.02	3.87**	23.47	0.88ns	5.55	1.76ns	159.03	5.41**	16.46	0.47ns
Hata	24	15.76		12.76		13.19		3.06		6.41	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.16. Tarhana örneklerinin kimyasal analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

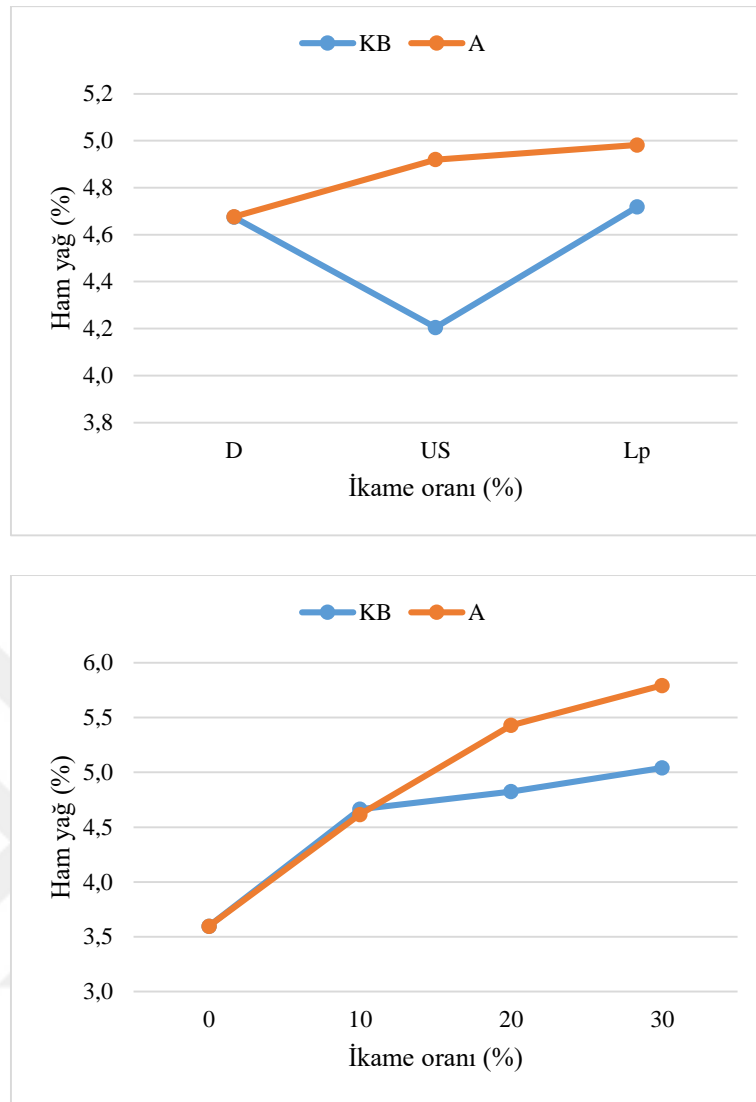
Faktör	n	Nem (%)	Ham kül (%)	Ham yağ (%)	Ham protein (%)	Dirençli nişasta (%)	Toplam nişasta (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kcal/100 g)	Fitik asit (mg/100 g)
<i>Çeşit</i> ²										
KB	12	3.75±0.52 b	1.88±0.19 a	4.53±0.50 b	15.29±0.58 a	0.91±0.02 a	61.30±0.34 a	74.55±1.43 a	400.13±2.47 a	40.84±1.42 a
A	12	4.14±1.02 a	1.86±0.20 b	4.86±0.75 a	15.06±0.38 b	0.87±0.01 b	56.38±1.53 b	74.08±1.87 b	400.27±3.85 a	38.71±0.22 b
<i>Ön İşlem</i> ³										
D	8	3.76±0.83 b	1.88±0.25 ab	4.68±0.76 ab	15.46±0.54 a	0.92±0.02 a	57.43±0.73 b	74.23±1.87 b	400.81±3.42 a	39.46±0.53 a
US	8	3.79±0.69 b	1.86±0.22 b	4.56±0.74 b	14.87±0.29 c	0.88±0.01 b	60.44±1.38 a	74.93±1.64 a	400.25±3.14 a	40.06±1.55 a
Lp	8	4.29±0.88 a	1.89±0.25 a	4.85±0.83 a	15.19±0.49 b	0.86±0.02 b	58.65±0.69 ab	73.79±2.06 b	399.54±2.68 a	39.80±0.39 a
<i>Oran</i>										
0	6	3.34±0.46 b	1.52±0.03 d	3.60±0.02 d	14.70±0.01 d	0.98±0.01 a	53.68±0.31 d	76.85±0.51 a	398.57±1.85 a	55.63±0.01 a
10	6	3.78±0.64 ab	1.83±0.04 c	4.64±0.29 c	15.03±0.44 c	0.92±0.01 b	56.68±1.57 c	74.72±0.80 b	400.77±3.03 a	44.37±1.29 b
20	6	4.27±0.90 a	1.99±0.03 b	5.13±0.40 b	15.34±0.45 b	0.86±0.03 c	60.85±0.64 b	73.27±1.09 c	400.57±3.93 a	34.51±0.77 c
30	6	4.39±0.83 a	2.16±0.04 a	5.42±0.55 a	15.62±0.42 a	0.80±0.02 d	64.15±1.20 a	72.42±1.21 d	400.90±2.77 a	24.59±1.23 d

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Varyans analizi sonucunda, tarhana örneklerinin dirençli nişasta içerikleri üzerinde “*ön işlem x oran*” interaksiyonunun $p<0.05$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisinin ise önemsiz bulunduğu ($p>0.05$) tespit edilmiştir (Çizelge 4.15). Örneklerin toplam nişasta içerikleri üzerinde ise “*ön işlem x oran*” ile “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Tarhana örneklerinin dirençli ve toplam nişasta içerikleri üzerinde, diğer tüm faktör ve interaksiyonların etkilerinin $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunması dikkat çekmiştir.

Tarhana örneklerinin karbonhidrat değerlerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonucunda, ön işlem ve oran faktörlerinin $p<0.01$ düzeyinde, çeşit faktörünün ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, tüm interaksiyonların etkilerinin ise önemli bulunmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir (Çizelge 4.15). Tarhana örneklerinin enerji değerleri üzerinde “*ön işlem x çeşit*” ve “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonlarının, fitik asit içerikleri üzerinde ise çeşit ve oran faktörleri ile “*çeşit x oran*” interaksiyonunun $p<0.01$ düzeyinde önemli etkide bulunduğu görülmüştür.

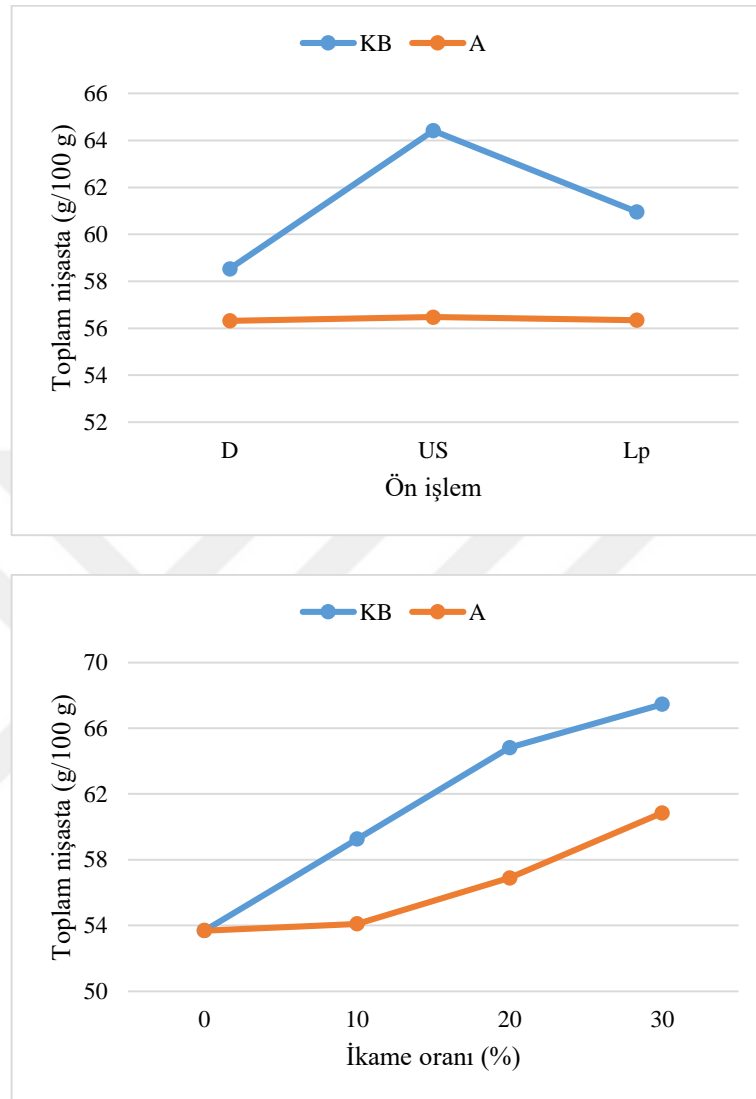
Çoklu karşılaştırma testi sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerin nem ve yağ içeriklerinin çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerden önemli derecede yüksek bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$) (Çizelge 4.16). Bu sonuç, çimlendirilmiş amarant unlarının nem ve yağ içeriklerinin çimlendirilmiş karabuğday unlarına göre yüksek bulunmasına atfedilebilir (Çizelge 4.2). Tarhana örneklerinin yağ içerikleri üzerinde “*ön işlem x çeşit*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.5’te gösterilmektedir. İnteraksiyon grafiklerinde, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin yağ içeriklerinin daha yüksek bulunduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.5. Tarhana örneklerinin ham yağ içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları

Tarhana örneklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına bakıldığında, çimlendirilmiş karabuğday unu ikame edilen örneklerin kül, protein, dirençli nişasta, toplam nişasta ve karbonhidrat içeriklerinin amarant unu ikame edilen örneklere göre istatistiksel olarak önemli şekilde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.16). Buna karşın, örneklerin kül, protein ve karbonhidrat içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların çok küçük olduğu dikkat çekmektedir. Karbonhidrat değerlerindeki istatistiksel farklılığın, örneklerin nem ve yağ içeriğindeki değişimden kaynaklanan oransal farklılık sonucu meydana geldiği düşünülmektedir. Çeşit faktörü açısından, örneklerin enerji değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmadığı görülmüştür ($p > 0.05$) (Çizelge 4.16). Tarhana örneklerinin toplam nişasta değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.6’da

gösterilmektedir. Şekilde çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip örneklerin toplam nişasta içeriklerinin yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

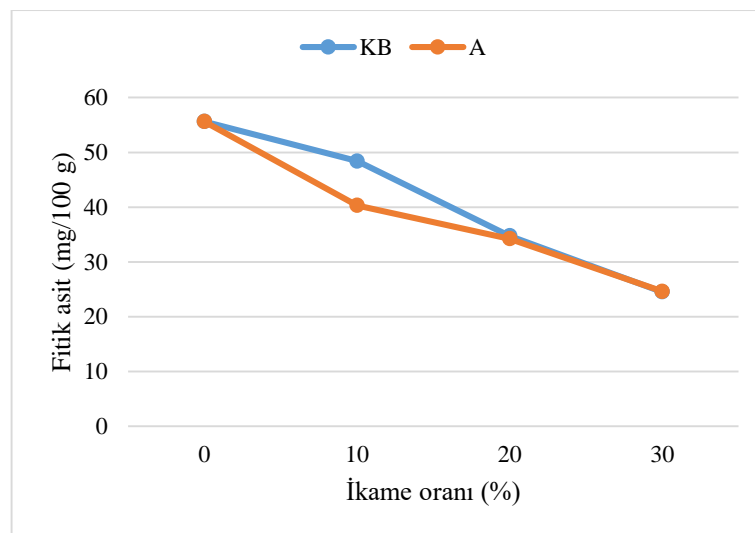


Şekil 4.6. Tarhana örneklerinin toplam nişasta değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları

Tarhana örneklerine ait analiz sonuçlarıyla uyumlu şekilde (Çizelge 4.16), hammaddelere ait kimyasal analiz sonuçlarında, çimlendirilmiş karabuğday unlarının toplam nişasta içeriklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde literatürde 10 farklı karabuğday çeşidinden elde edilen unların ortalama 70.5 g/100 g, 8 farklı amarant ununun ise 61.0 g/100 g nişasta içerdiği bildirilmiştir (De Bock ve ark., 2021). Başka bir çalışmada, karabuğdayın toplam ve dirençli nişasta içeriklerinin sırasıyla 53.3 ve 0.5 g/100 g, amarantın ise sırasıyla 37.9 ve 1.1 g/100 g olduğu bildirilmiştir. Bahsedilen bu çalışmada

karabuğdayın nişasta içeriği istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek bulunurken, karabuğday ve amarant örneklerinin dirençli nişasta içerikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Di Cairano ve ark., 2020). Bir başka çalışmada toplam nişasta içeriği 70.46 g/100 g olan karabuğdayın 4 gün çimlendirme ile toplam nişasta içeriğinin 64.82 g/100 g'a düştüğü tespit edilmiştir (Yang ve ark., 2021). Najdi Hejazi ve Orsat (2017), amarantın dirençli nişasta ve toplam nişasta içeriklerini 0.24 ve 63.50 g/100 g olarak buldukları bir çalışmada, amarantın 22°C'de 2 gün çimlendirilmesiyle dirençli ve toplam nişasta içeriklerinin sırasıyla 0.11 ve 51.22 g/100 g'a düştüğünü tespit etmişlerdir. Amarant tohumlarının 26°C ve 30°C'de 2 gün çimlendirilmesiyle birlikte dirençli nişasta içeriklerinin 0.10 ve 0.17 g/100 g'a, toplam nişasta içeriklerinin ise 556.85 ve 53.45 g/100 g'a düştüğü bildirilmiştir. Tohumların tür, çeşit, çimlendirme koşulları ve ürüne katkıları gibi pekçok faktör farklılık gösterse de literatürde yer alan bu çalışmaların, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin dirençli ve toplam nişasta içeriklerinin yüksek bulunması sonucunu destekler nitelikte olduğu söylenebilir.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikame edilen örneklerin fitik asit içerikleri amarant unu ikame edilen örneklere göre istatistiksel olarak önemli şekilde daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.16). Örneklerin fitik asit içerikleri üzerinde "çeşit x oran" interaksiyonunun etkisi Şekil 4.7'de gösterilmektedir. İnteraksiyon grafiğinde çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli (%20'ye kadar) örneklerin fitik asit değerlerinin çimlendirilmiş amarant unu ikamesine sahip örneklerden yüksek bulunması açıkça görülmektedir.



Şekil 4.7. Tarhana örneklerinin fitik asit içerikleri üzerinde etkili "çeşit x oran" interaksiyonu

Tarhana örneklerinin fitik asit içerikleri hammadde sonuçları ile kıyaslandığında, tarhanaların fitik asit içeriklerinin oldukça düşük bulunması dikkat çekmiştir (Çizelge 4.2; 4.16). Bu durum, tarhana üretim aşamasındaki fermantasyon uygulamasının fitik asit içeriğinin azaltılmasında oldukça etkili olmasına atfedilebilir (Bilgiçli ve İbanoğlu, 2007). Bununla birlikte, çimlendirilmiş karabuğday unlarının fitik asit içeriklerinin amarant unlarından deskriptif olarak kısmen yüksek olması nedeniyle (Çizelge 4.2), çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin fitik asit içeriklerinin de yüksek bulunması beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.16).

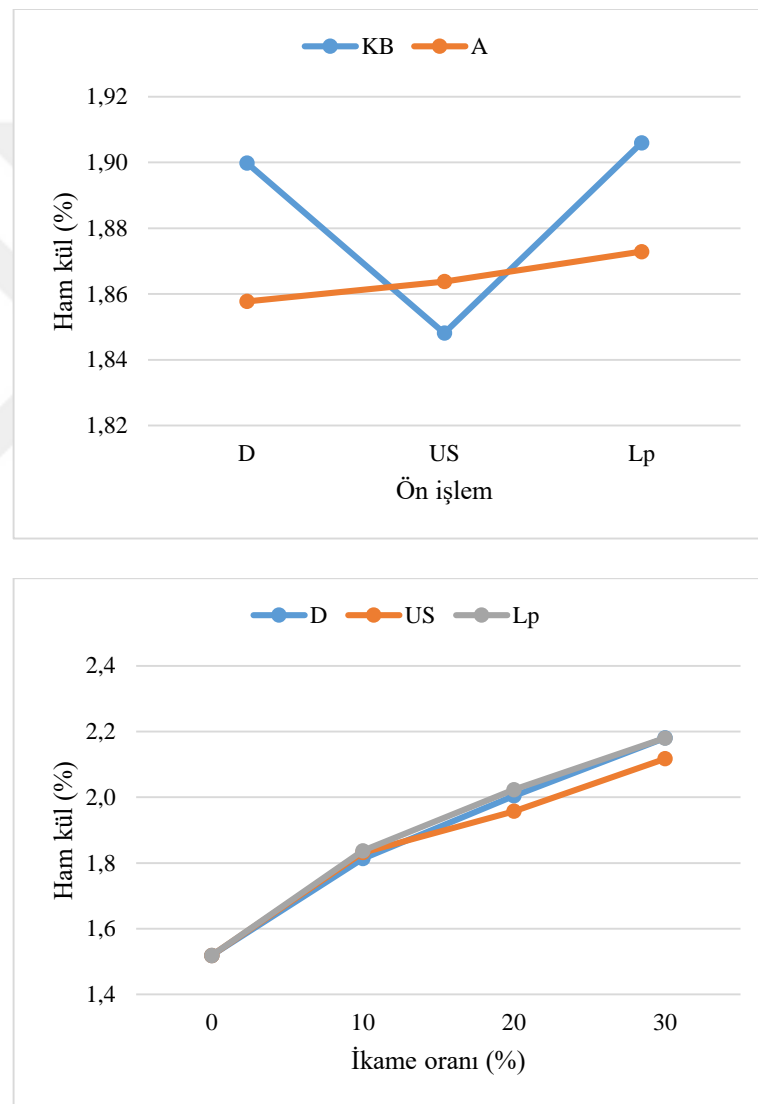
Kimyasal analizlere ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından değerlendirildiğinde, *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin nem, kül ve yağ içeriklerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) düzeyde yüksek bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.16). Dezenfektan kullanılarak ve ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin nem değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0.05$). US tarhana örneklerinin ham kül ve ham yağ içerikleri, diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). US ve Lp tarhana örneklerinin protein içeriklerinin ise önemli derecede düşük olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Hammaddelerin majör kimyasal kompozisyonlarının tarhana örneklerine ait kimyasal analiz sonuçlarına doğrudan yansıdığı söylenebilir (Çizelge 4.2). US örneklerinin ham yağ içeriklerinin düşük bulunması, ultrason uygulamasının yağ globüllerini parçalayıcı etkisine atfedilebilir (Bui ve ark., 2021). Lp örneklerinin ham protein içeriklerinin düşük bulunması ise muhtemelen bakteriyel inokülasyona sahip hammaddelerin proteolize daha duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır (Rui ve ark., 2015; Swieca ve ark., 2019b).

Bununla birlikte literatürde, ultrason uygulamasının nişasta ve proteinlerin ayrışma hızını artırıcı etki gösteren bir işlem olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark., 2019). Bir başka çalışmada ise *L. plantarum* ile fermente edilen sorgum ununun protein içeriğinin fermantasyon sürecinde azaldığı, bu azalmanın ise örnek bileşimindeki aminoasitlerin amonyak ve diğer aroma bileşiklerine metabolize edilmesi sonucu meydana geldiği bildirilmiştir (Pranoto ve ark., 2013). Tarhana üretiminde, laktik asit bakterileri ve mayanın sinerjik etkisiyle, proteolitik aktivitenin arttığı ve proteinlerde bozunma gerçekleştiği de bilinmektedir (Kıvanç ve Funda, 2017; Ojha ve ark., 2017). Tüm bu bilgiler ışığında, US ve Lp tarhana örneklerinde tespit edilen düşük protein

içeriklerinin, uygulanan US ve Lp işlemlerinin hem proteolitik aktiviteyi hem de enzim aktivitesi için gerekli substrat miktarını artırıcı etkisinden kaynaklandığı yorumu yapılabilir.

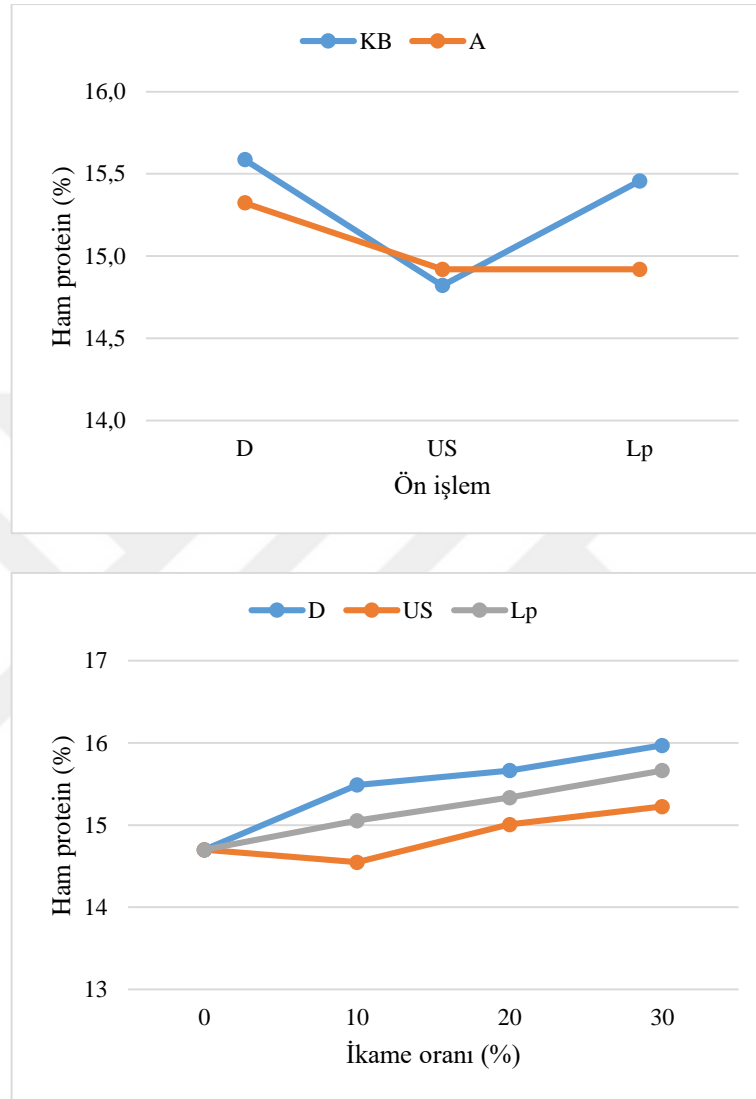
Tarhana örneklerinin ham kül içerikleri üzerinde “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x oran” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Grafiklerde US tarhana örneklerinin daha düşük ham kül, Lp tarhana örneklerinin ise daha yüksek ham kül içeriklerine sahip olduğu dikkat çekmektedir. Bu sonuçlar, hammaddelere ait veriler doğrultusunda beklenen değişimlerdir.



Şekil 4.8. Tarhana örneklerinin ham kül içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x oran” interaksiyonları

Tarhana örneklerinin ham protein içerikleri üzerinde “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x oran” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.9’da verilmiştir. US ve Lp işlemlerinin

proteolitik aktiviteyi ve proteolitik aktivite için gerekli substrat miktarını artırıcı etkileri, tarhana örneklerinde daha düşük protein içerikleri elde edilmesine neden olmuş ve sonuçlar interaksiyon grafiklerine doğrudan yansımıştır.



Şekil 4.9. Tarhana örneklerinin ham protein içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x oran” interaksiyonları

Çizelge 4.16’da dezenfektan kullanımına sahip tarhana örneklerinin dirençli nişasta içeriklerinin, diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunması dikkat çekmektedir ($p < 0.05$). Bu sonuç, hammaddelere ait deskriptif dirençli nişasta değerleri doğrultusunda beklenen bir sonuçtur.

Ding ve ark. (2021) tip 4 enzime dirençli nişastanın (DN4) bazı fizikokimyasal özellikleri üzerinde ultrason uygulamasının etkilerini araştırdıkları bir çalışmalarında, ultrason uygulamasıyla birlikte nişastanın sindirilebilirliğinin arttığını ve dirençli nişasta

içeriğinin önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, ultrasonikasyonun DN4'ün enzimatik direncini azalttığı, bu azalmanın ise ultrason işlemi sırasında nişastanın kristalin ve amorf bölgelerdeki çift sarmal yapılarının kısmen bozulmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının aksine, literatürdeki bazı çalışmalarda ultrason uygulamasının dirençli nişasta içeriğini artırdığı belirtilmiştir (Haydersah ve ark., 2012; Kaur ve Gill, 2019; Cao ve Gao, 2020; Liang ve ark., 2021). Elde edilen bu farklı sonuçlar, uygulanan ultrason işlem koşulları arasındaki farklılıklar ile örneklerdeki nişastanın tür ve içeriklerindeki farklılıklara atfedilebilir (Ding ve ark., 2021).

Setiarto ve ark. (2018) laktik asit bakteri (*L. plantarum* ve *Leu. mesenteroides*) ile fermente edilen un örneklerinin bazı özelliklerini araştırdıkları bir çalışmalarında, fermantasyon ile birlikte dirençli nişasta içeriğinde görülen azalmanın, bakterilerin tip 2 dirençli nişastayı karbon kaynağı olarak kullanmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Dinçer ve Tekin (2023) ise bir çalışmalarında; laktik asit bakterileri tarafından karbon kaynağı olarak kullanılan dirençli nişastanın, bakteriler tarafından kullanımı arttıkça prebiyotik kapasitesinin de arttığını ve dirençli nişasta tiplerinin prebiyotik kapasitelerinin dirençli nişasta tipi ve bakteri suşuna göre değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, *L. plantarum* (K2-1)'un, tip 2 dirençli nişastayı en iyi kullanan laktik asit bakteri türü olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde bildirilen bu çalışmalar doğrultusunda, ultrason uygulamasının dirençli nişastanın yapısını bozarak enzim aktivitesine karşı direncini azalttığı ve *L. plantarum* inokülasyon sürecinde dirençli nişastanın karbon kaynağı olarak kullanıldığı, dolayısıyla tüm bu etkilerin US ve Lp tarhana örneklerinde düşük dirençli nişasta içeriklerinin bulunmasına neden olduğu söylenebilir.

Tarhana örneklerinin toplam nişasta içeriklerinde, dirençli nişasta sonuçlarının aksine US ve Lp örneklerine ait değerlerin yüksek bulunması dikkat çekmiştir. Bu sonuç, uygulanan US ve Lp işlemlerinin, tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerini artırıcı etki göstermesi, bunun da toplam nişasta içeriğini doğrudan etkilemesine atfedilebilir. Tahana örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerine ait analiz sonuçları (Çizelge 4.34) da bu önermeyi destekler niteliktedir.

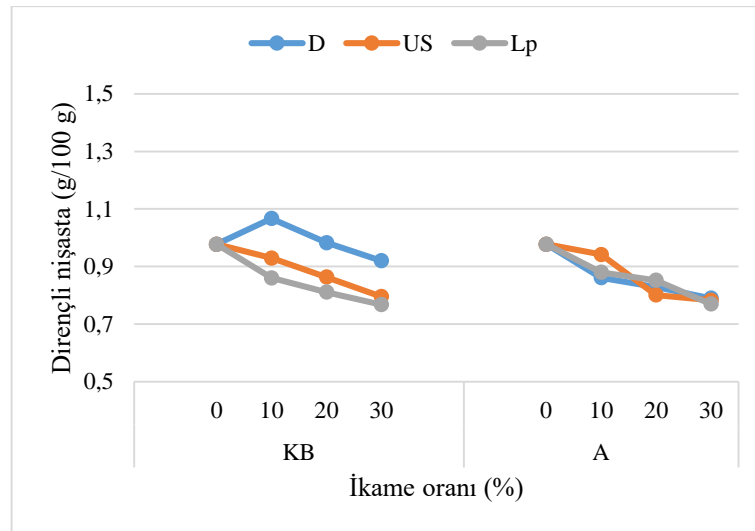
Ultrason uygulamasına sahip tarhana örneklerinin karbonhidrat içerikleri diğer örneklerden önemli derecede yüksek bulunurken ($p < 0.05$), dezenfektan kullanımı ve *L. plantarum* inokülasyonuna sahip örneklerin karbonhidrat içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). US tarhana

örneklerinin karbonhidrat içeriklerinin diğer ön işlem uygulanan örneklere göre istatistiksel olarak yüksek bulunması muhtemelen, örneklerin protein içeriklerindeki farklılıklar sonucu meydana gelen göreceli bir artıştan kaynaklanmaktadır. Hammaddelere uygulanan ön işlemler, tarhana örneklerinin enerji ve fitik asit değerlerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar meydana getirmemiştir ($p>0.05$).

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına oran faktörü açısından bakıldığında, ikame oranı arttıkça örneklerin nem, kül, yağ ve protein içeriklerinin de istatistiksel olarak önemli şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.16). Nem değerlerinde, %20 ve %30 ikame oranına sahip örnekler arasındaki deskriptif farkın istatistiksel olarak önemli bulunmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Hammaddelerin kimyasal özelliklerine ait sonuçlar incelendiğinde, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant örneklerinin kül, yağ ve protein içeriklerinin buğday unundan yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2). Dolayısıyla ikame oranındaki artışla beraber tarhana örneklerinin de kül, yağ ve protein içeriklerinin artması beklenen bir sonuçtur.

Literatürde karabuğday unu ikamesinin tarhana örneklerinin kül, protein (Bilgiçli, 2009a; Çevik ve Ertaş, 2019; Tuluk ve Ertaş, 2019) ve yağ içeriklerini (Bilgiçli, 2009a) artırdığı bildirilmiştir. Başka bir çalışmada maltlanmış karabuğday unu kullanımının, başka bir tahıl ürünü olan kurabiye örneklerinde, ham karabuğday unu kullanımına kıyasla protein ve kül içeriğini artırıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir (Molinari ve ark., 2018). Benzer şekilde, literatürde bildirilen başka bir çalışmada, kraker örneklerinde karabuğday ve amarant unu kullanımıyla örneklerin protein ve yağ içeriklerinin arttığı görülmüştür (Türk Aslan ve Işık, 2022). Çimlendirme prosesinin karabuğday (Thakur ve ark., 2021; Bhinder ve ark., 2022) ve amarantta (Cornejo ve ark., 2019; Siwatch ve ark., 2019) kül, yağ ve protein içeriğini artırıcı etkisi birçok çalışmada bildirilmiş olup, bu çalışmadan elde edilen verilerin literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir.

İkame oranının %0'dan %30'a artmasıyla birlikte, tarhana örneklerinin dirençli nişasta içeriklerinin istatistiksel olarak önemli derecede azaldığı, toplam nişasta içeriklerinin ise istatistiksel olarak önemli derecede arttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.16). Tarhana örneklerinin dirençli nişasta içerikleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonunun etkisi Şekil 4.10'da gösterilmektedir. İkame oranındaki artışın tarhanaların dirençli nişasta içeriklerini azaltıcı etkisi grafikte de açıkça görülmektedir.



şekil 4.10. Tarhana örneklerinin direnċli nişasta içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu

Hammaddelere ait kimyasal analiz sonuçları göz önüne alındığında, tarhanalarda çimlendirilmiş yalancı tahıl ikame oranı arttıkça örneklerin toplam nişasta içeriklerinin de artması beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.2). Fakat buğday ununun direnċli nişasta içeriği diğer hammaddelerden düşük olduğu için, artan ikame oranıyla beraber direnċli nişasta içeriklerinin azalması beklenenin aksi bir değişimdir. Bu durumun en önemli sebebinin tarhana örneklerinin üretim aşamasında gerçekleştirilen fermantasyon olduğu düşünölmektedir. Elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Elkhalfa ve ark. (2004) tarhana üretimine benzerlik gösteren, Sudan geleneksel fermente sorgum unu üretimi üzerine yaptıkları bir çalışmalarında, 28 saatlik fermantasyondan sonra örneklerin direnċli nişasta içeriklerinin %77 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Yine benzer şekilde, Yadav ve ark. (2007) fermente pirinç, siyah gram ve yeşil gram fasulyesinin fermantasyonuyla, fermantasyon sıcaklığı ve süresine bağlı olarak, örneklerin direnċli nişasta içeriklerinin önemli şekilde azaldığını tespit etmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, direnċli nişasta içeriğindeki azalmanın sebeplerinden birinin, fermentasyon sürecindeki mikrobiyal faaliyet ve enzim aktivitesiyle birlikte direnċli nişastanın basit şeker ve oligosakkaritlere parçalanması olduğu belirtilmiştir. Direnċli nişasta içeriğindeki azalmanın diğer sebeplerinin ise nişasta granüllerinin yapısal bütönlüğünün kaybolması, nişasta ile lif arasındaki etkileşimin değişmesi ve fitik asit, polifenoller gibi bazı antibesinsel bileşiklerin inaktivasyonu olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen fitik asit (Çizelge 4.16) ve sindirilebilir nişasta (Çizelge 4.34) gibi diğer kimyasal bileşik analiz sonuçları da öne sürölen bu hipotezi destekler niteliktedir.

Artan ikame oranıyla beraber örneklerin karbonhidrat ve fitik asit içeriklerinin de önemli düzeyde azaldığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). İkame oranındaki değişim, tarhana örneklerinin enerji değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir değişime neden olmamıştır ($p > 0.05$) (Çizelge 4.16).

Çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikame oranı arttıkça tarhana örneklerinin karbonhidrat içeriklerinde önemli şekilde meydana gelen düşüşün muhtemel nedeni fermantasyon kaybındaki artıştır. Tarhana örneklerinin fizikokimyasal özelliklerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına bakıldığında (Çizelge 4.12), ikame oranının artmasıyla beraber örneklerin fermantasyon kaybı değerlerinin %10.59'dan %17.39'a yükseldiği görülmektedir. Fermantasyon kaybı; tarhana üretim prosesindeki 72 saatlik fermantasyon sürecinde, laktik asit bakterileri ve mayanın karbonhidratlar, özellikle şekerler üzerinde parçalayıcı etki göstermesiyle meydana gelen kuru madde kaybıdır (Bilgiçli, 2009a; Çağlar ve ark., 2013).

Çağlar ve ark. (2013) bir çalışmalarında tarhanaya keçiyoynuzu unu ikame edilmesi ile birlikte örneklerin fermantasyon kaybı değerlerinin arttığını, bu artışın ise keçiyoynuzunun fermente edilebilir şeker içeriğinin yüksek olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Bilgiçli (2009a) ise karabuğday unu ikamesiyle tarhana örneklerinin fermantasyon kaybı değerlerinde görülen artışı, karabuğday nişastasının granüllerinin buğday ununa kıyasla daha küçük olmasıyla açıklamıştır. Bu çalışmada daha küçük granüler yapıya sahip karabuğday nişastasının α -amilaz enzimine karşı daha duyarlı olduğu, bu nedenle fermantasyon sırasında nişasta hirolizinin de daha hızlı meydana gelerek örneklerde daha fazla fermantasyon kaybına neden olduğu belirtilmiştir. Çimlendirme işlemi tanelerde α -amilaz gibi endojen enzim aktivitelerinin artmasına, böylece çimlendirilen örneklerde nişastanın basit şekerlere parçalanmasına neden olmaktadır (Nkhata ve ark., 2018). Dolayısıyla hammadde olarak kullanılan karabuğday ve amarant unlarının fermente edilebilir basit şeker içeriklerinin çimlendirme uygulaması nedeniyle yüksek olduğu, yani karbonhidrat içeriklerinin fermantasyona karşı duyarlı olduğu söylenebilir. Bu bağlamda tarhana formülasyonunda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikame oranının artmasıyla, örnek formülasyonundaki basit şeker miktarının da artış gösterdiği, buna bağlı olarak fermantasyondaki kuru madde kaybının arttığı, bu durumun ise son ürünlere karbonhidrat içeriklerinde görülen azalma şeklinde yansıdığı yorumu yapılabilir. Literatürde ayrıca, fermantasyon kaybıyla birlikte fermente edilebilir kuru madde miktarında görülen artışın, kül, protein ve yağ gibi fermente edilemeyen

bileşiklerin miktarına oransal artış şeklinde yansıdığı belirtilmiştir (Çağlar ve ark., 2013). Bu bilgi, tarhana örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarını da destekler niteliktedir.

Elkhalil ve ark. (2001) bir çalışmalarında, sorgum ununun antibesinsel özellikleri üzerinde malt ilavesinin etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, sorgum ununa malt ilave edilmesinin örneklerin fitik asit içeriğini azaltıcı bir etki gösterdiği, bu etkinin ise artan ilave oranıyla beraber önemli şekilde arttığı tespit edilmiştir. Örneklerin fitik asit içeriklerindeki azalmanın, kullanılan maltın tazeliği ve miktarı ile örneklerin inkübasyon süresinden etkilendiği belirtilerek, fitik asit içeriğinde meydana gelen düşüşün ana nedeninin ilave edilen malttaki fitaz aktivitesi olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde başka bir çalışmada, buğday kepeğinin antibesinsel madde içeriğinin azaltılmasında arpa malt unu ile fermantasyon uygulamasının etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, malt unu ilavesiyle fermente edilen buğday kepeğinin fitik asit içeriğinde önemli bir azalma (≤ 92) görüldüğü, fitik asit içeriğindeki azalmanın ise fermantasyonun gerçekleştirildiği pH değerindeki çözünebilir fitik asit tuzlarının miktarına neredeyse eşit olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca malt unu ilave oranındaki artışın da fitik asit kaybını artırdığı belirtilmiştir. Atfedilen bir önceki çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, malt unuyla fermente edilen örneklerin fitik asit içeriğinde görülen azalmanın malttaki fitaz aktivitesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Servi ve ark., 2008). Maltlama işleminde, kullanılan tahıl ve/veya tanelerin çimlenmesi sırasında, endojen fitaz enziminin sentez ve aktivitesinde artış meydana gelmesi, fitik asit degradasyonunda malt kullanım hipotezini destekler niteliktedir (Elkhalil ve ark., 2001; Servi ve ark., 2008).

Bu çalışmalarda bildirilen yaklaşımlar ve sonuçlar doğrultusunda, tarhana örneklerinin fitik asit içeriklerindeki azalmanın, ikame edilen çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının fitaz aktivitesinden kaynaklandığı söylenebilir. Hammadde sonuçlarına bakıldığında, buğday unu ve çimlendirilmiş karabuğday ile amarant unlarının fitik asit içerikleri arasındaki fark dikkat çekmekte olup (Çizelge 4.2), ikame oranı arttıkça tarhana örneklerinin fitik asit içeriklerinin de artması beklenmektedir. Fakat ikame oranındaki artışla beraber örneklerin fitik asit içerikleri azalmış olup, bu azalmanın ikame edilen unlardaki fitaz aktivitesinin oldukça yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca tarhana üretim sürecindeki fermantasyon koşullarının, çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarındaki endojen fitaz aktivitesini artırıcı etkide bulunduğu yorumu da yapılabilir. Literatürde bildirilen çalışmalar da bu hipotezi destekler niteliktedir (Elkhalil ve ark., 2001; Servi ve ark., 2008).

Literatürde tarhana üretimi hakkında birçok çalışma yapılmış olup, bu çalışmalardan özetlenen bazı kontrol tarhana örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.17’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.17. Literatürde kontrol tarhana örneğine ait bildirilen bazı kimyasal analiz sonuçları

Kaynak	Kül (%)	Yağ (%)	Protein (%)	Fitik asit (mg/100 g)
Bilgiçli (2009a)	1.68	6.11	16.4	21.20
Işık ve Yapar (2017)	2.958	2.27	14.86	-
Demirci ve ark. (2018)	3.69	2	15.96	-
Çalışkan Koç ve Özçira (2019)	8.71	3.61	14.04	-
Levent (2019)	2.56	1.41	4.15	-
Aktaş ve Akın (2020)	2.21	4.68	15.22	50.40
Cankurtaran ve ark. (2020)	1.57	5.56	15.05	-
Kılıç Keskin ve ark. (2022)	2.06	6.25	13.07	54.40
Kömürcü ve Bilgiçli (2022)	2.18	4.22	13.05	36.99
Başataç ve ark. (2023)	2.35		13.81	-
Dadalı (2023)	1.55	3.03	11.35	-

Erbaş ve ark. (2005) bir çalışmalarında tarhana örneklerinin enerji değerini 372.3 kcal/100 g olarak tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise Maraş tarhanasına ait ortalama kül, yağ, protein, karbonhidrat ve enerji değerlerinin sırasıyla; %5.27, 3.90, 15.65, 75.18 ve 398.41 kcal/100 g olduğu bildirilmiştir (Yörükoğlu ve Dayısoylu, 2016). Literatürde yer alan bazı çalışmalarda, kontrol tarhana örneğinin toplam nişasta içeriğinin %65.28 (Tarakçı ve ark., 2004), 64.50 g/100 g (Bilgiçli, 2009a) ve %63.09 (Çalışkan Koç ve Özçira, 2019) bulunduğu bildirilmektedir. Şimşek ve ark. (2014) bir çalışmalarında, Trakya bölgesinden toplanan farklı tarhana örneklerinin nişasta içeriklerinin %59.64 ile %69.95 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bayrakçı ve Bilgiçli (2015) ise bir çalışmalarında kontrol tarhana örneğinin dirençli nişasta içeriğini %0.9 olarak tespit etmişlerdir. Tüm bu çalışmalardan elde edilen veriler göz önüne alındığında, kimyasal özelliklere ait içeriklerin deskriptif olarak farklılıklar gösterse de bu çalışmadan elde edilen verilerle uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

4.2.4. Fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerine ait analiz sonuçları

Fermentasyonla birlikte tam tahıllarda bulunan fenolik bileşiklerde bir takım değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişimler Şekil 4.11’de kısaca özetlenmektedir (Adebo ve Gabriela Medina-Meza, 2020).

Artış gösteren özellikler	Azalma gösteren özellikler
<ul style="list-style-type: none"> • Enzim aktiviteleri • Hücre duvarı parçalanması • Biyoaktivite • Ekstrakte edilebilirlik • Metabolik aktivite • Mobilizasyon/bağlı fenoliklerin serbest forma dönüşmesi • Sentez/yeni fenolik bileşiklerin meydana gelmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Diğer bileşiklerle bağ kurma yeteneği • Mikrobiyal enzimlerde meydana gelen degradasyon • Biyoaktif bileşiklerin hidrolizi

Şekil 4.11. Fenolik bileşiklerde fermantasyonla meydana gelen değişimler

Tüm bu değişimler, fermente bir tahıl ürünü olan tarhananın serbest, bağlı ve toplam fenolik bileşik içeriğinde de değişimler meydana getireceğinden, son ürünün biyoaktif ve besinsel özellikleri üzerinde önem arz etmektedir.

Serbest radikalleri ve reaktif oksijen türlerini nötralize eden antioksidanların gıdalardaki önemi, kronik hastalıkların oluşturduğu hasarı önleyici etkileri nedeniyle günden güne artmaktadır (Vaibhav ve ark., 2011; Abuajah ve ark., 2015). Antioksidanlar genel olarak doğal ve yapay antioksidan maddeler şeklinde gruplandırılabilir. Ayrıca kaynaklarına göre endojen ve ekzojen, etkilerine göre enzimatik veya enzimatik olmayan veya çözünürlüklerine göre suda çözünen veya yağda çözünen olarak da sınıflandırılabilirler (Gülçin, 2012; Nimse ve Pal, 2015). Çoğunlukla bitkisel gıdalarda bulunan doğal antioksidanlar, bulunduğu bitkinin yapısındaki bozulma, ekşime, renk değişimi gibi reaksiyonları engellemekle görevli maddeler olup, en önemli doğal antioksidan madde grupları; tokoferoller, tokotrienoller, askorbik asit, flavonoidler, karotenoidler ve fenolik asitler olarak sıralanabilir (Shebis ve ark., 2013). Hem doğal hem sentetik antioksidanlar, gıda kalitesini düşüren reaksiyonların engellenmesi için endüstride büyük öneme sahip olup, sentetik antioksidanların toksik etki gösterme olasılığı, doğal antioksidanlara kıyasla yüksek maliyeti ve düşük etkisi gibi nedenlerle, gıda uygulamalarında doğal antioksidanların kullanımı daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır (Zehiroğlu ve Öztürk Sarıkaya, 2019).

Farklı antioksidan aktivite analiz metotlarında kullanılan farklı radikallerin stereoseçicilikleri veya farklı ekstraktların çözünürlükleri, ekstraktların radikallerle

reaksiyonunu ve radikaller üzerindeki etkinliklerinin gücünü etkilediği için antioksidan aktivitenin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir (Yu ve ark., 2002; Bağdatlıoğlu ve Berkel Kaşıkçı, 2019). Bu nedenle hem hammaddelerin hem de son ürünlerin antioksidan özelliklerinin belirlenmesinde DPPH ve FRAP metotları kullanılmıştır.

Tarhana örneklerine ait fenolik madde analiz sonuçları Çizelge 4.18'de özetlenmiştir. Çizelge incelendiğinde, en düşük serbest fenolik madde miktarının (1604.78 mg GAE/100 g) kontrol örneğinde, en yüksek değer ise (2538.94 mg GAE/100 g) dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneğinde olduğu görülmektedir. Örneklerin bağlı fenolik miktarlarının 917.10 ile 1315.35 mg GAE/100 g arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Tarhana örneklerinin toplam fenolik madde miktarlarının, serbest fenolik madde miktarına benzer bir eğilimde değişim gösterdiği dikkat çekmiş, değerlerin ise 2627.63 ile 3543.79 mg GAE/100 g arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.18. Tarhana örneklerinin fenolik madde analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	SFM ⁴ (mg GAE/100 g)	BFM ⁵ (mg GAE/100 g)	TFM ⁶ (mg GAE/100 g)
Kontrol		0	1604.78±0.01	1022.85±6.75	2627.63±6.75
		10	1746.44±1.67	1209.60±4.50	2956.04±2.83
		20	1807.28±4.17	1265.85±20.25	3073.13±24.42
KB	D	30	1859.78±1.67	1292.85±6.75	3152.63±8.42
		10	1863.11±3.33	1259.10±4.50	3122.21±1.17
		20	1976.44±1.67	1290.60±4.50	3267.04±6.17
	US	30	2073.94±7.50	1297.35±24.75	3371.29±32.25
		10	1774.78±3.33	1234.35±20.25	3009.13±16.92
		20	1897.28±2.50	1279.35±2.25	3176.63±4.75
Lp	30	2115.61±2.50	1315.35±24.75	3430.96±22.25	
	10	2168.94±5.83	917.10±4.50	3086.04±1.33	
	20	2397.28±2.50	977.85±6.75	3375.13±9.25	
A	D	30	2538.94±7.50	1004.85±11.25	3543.79±3.75
		10	2050.61±0.83	944.10±9.00	2994.71±8.17
		20	2110.61±5.83	953.10±9.00	3063.71±3.17
	US	30	2219.78±0.01	1045.35±15.75	3265.13±15.75
		10	2005.61±4.17	946.35±2.25	2951.96±6.42
		20	2281.44±5.00	950.85±42.75	3232.29±47.75
Lp	30	2346.44±0.01	1130.85±6.75	3477.29±6.75	

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁴Serbest fenolik madde miktarı, ⁵Bağlı fenolik madde miktarı, ⁶Toplam fenolik madde miktarı.

Tarhana örneklerinin fenolik madde içeriklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.19’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.19. Tarhana örneklerinin fenolik içerik analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	SFM ²		BFM ³		TFM ⁴	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	6316.70	125.59**	4586.62	6.28**	4717.50	5.46*
Çeşit (B)	1	752502.10	29923.43**	552123.00	1511.39**	15480.10	35.83**
Oran (C)	3	2335500.20	30957.24**	157401.56	143.62**	3669189.20	2830.97**
AxB	2	196430.00	3905.54**	1380.37	1.89ns	202165.60	233.97**
AxC	6	27767.90	184.03**	10222.87	4.66**	55373.90	21.36**
BxC	3	264226.70	3502.35**	193522.50	176.58**	30049.50	23.18**
AxBxC	6	103290.50	684.56**	5950.12	2.71*	90805.50	35.03**
Hata	24	6107.34		105.69		392.44	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz. ²Serbest fenolik madde miktarı, ³Bağlı fenolik madde miktarı, ⁴Toplam fenolik madde miktarı.

Varyans analizi sonuçlarına bakıldığında, tarhana örneklerinin serbest fenolik madde miktarları üzerinde tüm faktörlerin ve tüm interaksiyonların p<0.01 düzeyinde önemli etkisinin bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.19). Bağlı fenolik madde miktarları üzerinde “ön işlem x çeşit” interaksiyonunun etkisi önemsiz (p>0.05), “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkisi ise p<0.05 düzeyinde önemli bulunurken, diğer tüm faktör ve interaksiyonların etkilerinin p<0.01 düzeyinde önemli bulunduğu görülmektedir. Tarhana örneklerinin toplam fenolik madde miktarları üzerinde ön işlem faktörünün etkisi p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer tüm faktör ve interaksiyonların ise p<0.05 önem düzeyinde etkili olduğu görülmüştür.

Tarhana örneklerinin fenolik madde içeriklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.20’de gösterilmektedir. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, serbest ve toplam fenolik madde miktarları arasında benzer bir eğilim bulunduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.20). Çimlendirilmiş amarant ikamesiyle üretilen örneklerin serbest ve toplam fenolik madde miktarları, çimlendirilmiş karabuğday ikamesiyle üretilen örneklere kıyasla, istatistiksel olarak önemli şekilde daha yüksek bulunmuştur. Aksine, çimlendirilmiş karabuğday ikamesiyle üretilen örneklerin bağlı fenolik madde miktarlarının ise daha yüksek olduğu dikkat çekmiştir (p<0.05). Hammadelere ait fenolik madde içerikleri incelendiğinde, çimlendirilmiş karabuğday unlarının serbest, bağlı ve toplam fenolik madde miktarlarının çimlendirilmiş amarant unlarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Fakat tarhana örneklerinin serbest ve toplam fenolik madde miktarlarının, hammadde sonuçları ile aynı eğilimde değişim göstermediği dikkat çekmektedir.

Çizelge 4.20. Tarhana örneklerinin fenolik içerik analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	SFM ⁴ (mg GAE/100 g)	BFM ⁵ (mg GAE/100 g)	TFM ⁶ (mg GAE/100 g)
<i>Çeşit</i> ²				
KB	12	1827.42±145.89 b	1209.41±81.71 a	3036.83±217.29 b
A	12	2077.83±244.58 a	994.91±62.52 b	3072.74±261.17 a
<i>Ön İşlem</i> ³				
D	8	1966.03±335.64 a	1089.22±135.03 b	3055.25±301.70 ab
US	8	1938.01±214.95 c	1104.41±142.46 ab	3042.42±265.26 b
Lp	8	1953.84±266.77 b	1112.85±140.08 a	3066.69±305.39 a
<i>Oran</i>				
0	6	1604.78±0.01 d	1022.85±6.75 d	2627.63±6.75 d
10	6	1934.92±152.51 c	1085.10±150.54 c	3020.02±64.15 c
20	6	2078.39±208.47 b	1119.60±160.64 b	3197.99±111.38 b
30	6	2192.41±214.19 a	1181.10±127.63 a	3373.51±132.62 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁴Serbest fenolik madde miktarı, ⁵Bağlı fenolik madde miktarı, ⁶Toplam fenolik madde miktarı.

Tahıllar ve yalancı tahıllarda uygulanan fermantasyon işleminin gıda matrisindeki fenolik bileşiklerin yapısını etkilediği bilinmektedir. Fermantasyon genellikle esterleşmiş ya da eterleşmiş formdaki fenolik bileşiklerin biyodönüşümünü sağlayarak serbest forma geçişine olanak tanımakta, böylece fenolik bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğini, biyoyararlılığını ve biyoerişilebilirliğini artırmaktadır. Fermantasyon sırasında gıda matrisinde bulunan fenolik bileşiklerin modifikasyon ile diğer konjugatlara, glikozitlere, monomerlere veya polimerlere dönüşebildiği de unutulmamalıdır (Paucar-Menacho ve ark., 2022). Fakat fermantasyon her zaman serbest fenolik madde miktarını artırıcı etki göstermemektedir. Fermantasyon ile meydana gelebilecek enzimatik ve termal bozunmalar ya da fiziksel ve kimyasal bağlanmalar serbest fenolik asitlerin konsantrasyonunda azalma meydana getirebilmektedir. Asidik koşullar altında gram pozitif bakteriler için toksik özellikte olan serbest fenolik asitlere karşı, bazı laktik asit bakteri türleri direnç göstermektedir. Bu dirence sahip laktik asit bakteri suşları, dekarboksilaz enzimi üretme yetenekleri ile fenolik asitleri farklı metabolitlere dönüştürerek aktivitelerinin azalmasına neden olmaktadır (Skrajda-Brdak ve ark., 2019).

Bununla birlikte mikrobiyal aktivitenin fenolik bileşikler üzerindeki etkisinin mikroorganizma ve substrat türüne bağlı olarak farklılık gösterebileceği de unutulmamalıdır. Bazı mikroorganizmalar fenolik bileşiklerin metabolizma ve/veya bozunma faaliyetlerinden sorumlu genlere sahip iken bazıları değildir. Bu nedenle

spontan olarak ya da çeşitli mikroorganizmalar tarafından yürütülen fermantasyon süreçlerinde mikroorganizmaların fenolik bileşikler üzerindeki faaliyetlerini tespit etmek zor olabilmektedir (Adebo ve Gabriela Medina-Meza, 2020).

Çimlendirilmiş karabuğday unlarının serbest fenolik madde miktarları amarant unlarından yüksek olmasına karşın (Çizelge 4.3), karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin serbest fenolik madde miktarları daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.20). Bu durumun, tarhana üretimindeki fermantasyon işlemi sırasında aktivite gösteren laktik asit bakterilerinin dekarboksilaz üretme yetenekleri ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Karabuğday ununda yüksek miktarda bulunan serbest fenolik bileşiklerin, fermantasyon sırasında enzimatik bozunmaya uğrayarak farklı metabolitlere dönüştüğü, amarant unundaki bağlı fenoliklerin ise serbest forma geçişinin sağlandığı, böylece amarant unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin serbest fenolik madde miktarının daha yüksek bulunduğu söylenebilir. Tarhana örneklerinin serbest fenolik madde miktarlarındaki değişim toplam fenolik madde miktarlarına da yansımıştır.

Sonuçlar ön işlem faktörü açısından değerlendirildiğinde, dezenfektan kullanılan örneklerin serbest fenolik madde miktarlarının diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli düzeyde daha yüksek, bağlı fenolik madde miktarlarının ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.20). En yüksek toplam fenolik madde miktarı değeri *L. plantarum* inokülasyonu ile üretilen örneklerde bulunurken, en düşük değer ultrasonla üretilen örneklerde bulunmuştur ($p < 0.05$). Fenolik madde içeriklerinde dikkat çeken bir diğer nokta, bütün değerler arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar bulunsa da, değerler arasındaki deskriptif farklılıkların oldukça düşük düzeyde olmasıdır.

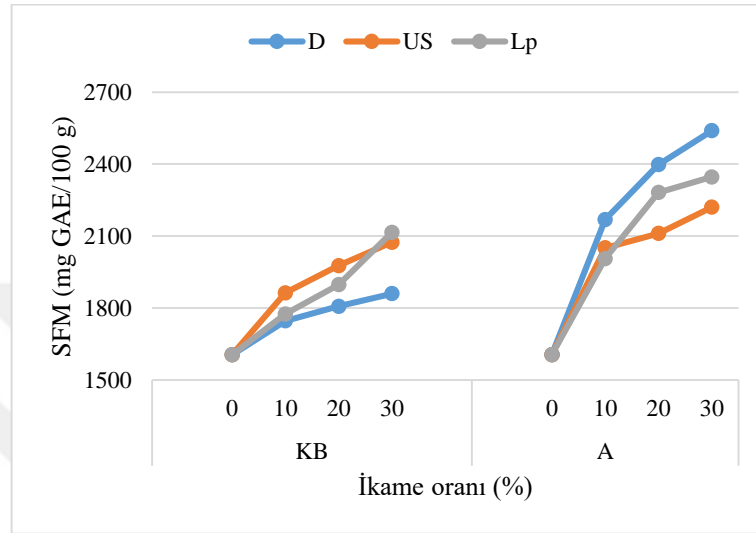
Tarhana üretiminde kullanılan hammaddelere ait fenolik bileşik analiz sonuçları incelendiğinde, ultrason ve *L. plantarum* inokülasyonu uygulamalarına sahip örneklerin serbest fenolik madde miktarlarının dezenfektan kullanılan örneklerden yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Tarhana örneklerinde ise hammadde sonuçları doğrultusunda beklenenin aksine, dezenfektan kullanılan örneklerin serbest fenolik madde içerikleri diğer örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Adebo ve ark. (2018) fermantasyon sürecinde mikroorganizmaların enzim faaliyetlerinin fenolik bileşiklerde depolimerizasyona neden olabileceğini bildirmişlerdir. Yine aynı çalışmada, fermantasyon sırasında fenolik bileşiklerin oksidasyon ve polimerizasyon reaksiyonlarıyla farklı bileşiklere bağlanabileceği ve/veya dönüşebileceği belirtilmiştir. Ayrıca fermantasyon sırasında gerçekleşen kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar sonucunda fenolik bileşiklerin bölünebileceği ya da ekstrakte edilebilirliklerinin

azalabileceği de not edilmiştir. Tüm bu değişimlerin ise fenolik bileşik içeriklerinde bir azalma olarak yansıdığı sonucuna varılmıştır (Adebo ve ark., 2018). Dolayısıyla hammaddeler ve tarhana örneklerinin serbest fenolik madde içerikleri arasındaki farklılığın muhtemel nedeninin, fermantasyon sürecinde gerçekleşen bozunma ve hidroliz reaksiyonları olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonu ile üretilen çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının serbest fenolik madde miktarları dezenfektan kullanılan unlara göre daha yüksek olduğu için (Çizelge 4.3), tarhana üretimindeki fermantasyon aşamasında gerçekleşen kimyasal ve enzimatik reaksiyonların US ve Lp örneklerinin serbest fenolik madde içerikleri üzerinde daha fazla etkili olduğu söylenebilir (Çizelge 4.20). Benzer etkilerin tarhana örneklerinin bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerine de yansıdığı görülmektedir.

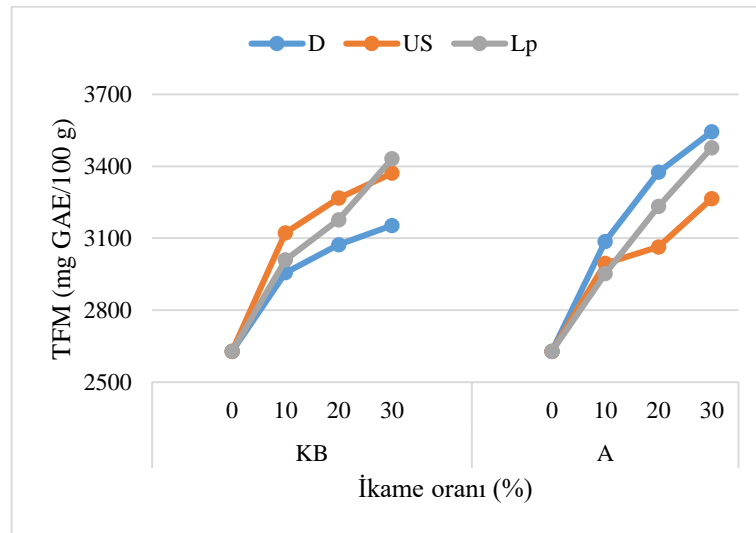
Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, örneklerin tüm fraksiyonlarının (serbest, bağlı, toplam) fenolik madde miktarları üzerinde, oran faktörünün oldukça önemli bir etkisinin olduğu açıkça görülmektedir. Tarhana formülasyonunda çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının ikame oranının artması, son ürünün serbest, bağlı ve toplam fenolik madde miktarlarının önemli düzeyde artmasına neden olmuştur (Çizelge 4.20). Bu artış, tüm ikame oranlarında istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Hammaddelerin fenolik madde içerikleri incelendiğinde, buğday ununun serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerinin çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarından istatistiksel olarak önemli derecede düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Dolayısıyla çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame oranı arttıkça tarhana örneklerinin fenolik madde miktarlarının da artması beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.20). Benzer şekilde, literatürde karabuğday unuyla ya da karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin toplam fenolik madde içeriklerinin buğday unu ile üretilen kontrol tarhana örneklerinden daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir (Çevik ve Ertaş, 2019; Karademir ve Yalçın, 2019; Tomar ve ark., 2020). Literatürde amarant unu, çimlendirilmiş karabuğday unu ya da çimlendirilmiş amarant unu ile üretilmiş tarhana örnekleri ile ilgili herhangi bir çalışmaya ise rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen sonuçların, hem çimlendirilmiş karabuğday ve amarantın tarhana örneğinde kullanımı hem de örneklerin serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerinin belirlenmesi açısından yapılan ilk çalışma olarak literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Tarhana örneklerinin serbest ve toplam fenolik madde miktarları üzerinde “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’te gösterilmektedir. Yukarıda açıklanan tüm etkiler ile ilişkili şekilde, interaksiyon grafiklerinde, ikame oranına bağlı olarak tarhana örneklerinin serbest ve toplam fenolik madde miktarlarındaki artış açıkça görülmektedir.



Şekil 4.12. Tarhana örneklerinin serbest fenolik madde miktarları üzerinde etkili “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonu



Şekil 4.13. Tarhana örneklerinin toplam fenolik madde miktarları üzerinde etkili “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonu

Literatürde kontrol tarhana örneğinin serbest, bağlı ve toplam fenolik madde miktarlarının sırasıyla; 122.49, 2938.00 ve 3060.49 mg GAE/100 g (Kılıcı ve Göçmen, 2014a) ile 122.49, 2612.01 ve 2734.50 mg GAE/100 g (Kılıcı ve Göçmen, 2014b) olduğu

bildirilmiştir. Değirmencioğlu ve ark. (2016) bir çalışmalarında kontrol tarhana örneğinin serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerinin sırasıyla 273.83, 1992.00 ve 2265.83 mg GAE/100 g olduğunu bildirmişlerdir. Ghafoor ve ark. (2021) ise kontrol tarhana örneğinin serbest ve bağlı fraksiyonlarının toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla 78.26 mg/l ve 43.68 mg/l olarak tespit etmişlerdir. Ovando-Martinez ve ark. (2014) bir çalışmalarında farklı yörelerden toplanan 15 farklı tarhana örneğinin ekstrakte edilebilir fenolik madde miktarlarının 2.24 ile 4.27 mg GAE/g arasında, hidrolize edilebilir fenolik madde miktarlarının ise 1.89 ile 3.36 mg GAE/g arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Çevik ve Ertaş (2019) bir çalışmalarında kontrol tarhana örneğinin toplam fenolik madde miktarını 70.50 mg GAE/g olarak, Aktaş ve Akın (2020) 125 mg/100 g olarak, Keskin ve ark. (2022) ise 2.01 mg GAE/g olarak bulmuşlardır. Bir diğer çalışmada, kontrol tarhana örneğinin %50 ve %80 metanollü ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarları sırasıyla 3.45 ve 2.92 mg GAE/g olarak bulunmuştur (Karademir ve Yalçın, 2019). Başka bir çalışmada kontrol tarhana örneğinin toplam fenolik madde miktarının 2260 mg GAE/kg olarak bulunduğu bildirilmiştir (Köten, 2021).

Literatürde bildirilen çalışmaların sonuçlarından da görüldüğü üzere, buğday unundan üretilen tarhana örneklerinin fenolik madde içerikleri arasında birçok farklılık bulunmaktadır. Tarhana; domates, soğan, biber, yoğurt ve salça gibi çok çeşitli hammadde bileşenlerinden üretilen bir ürün olduğu için kullanılan hammaddeler arasındaki farklılıkların ve uygulanan fermantasyon koşullarının son ürünlerin fenolik madde içerikleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu söylenebilir (Ovando-Martinez ve ark., 2014). Ayrıca değerler arasındaki farklılıkların bir diğer nedeninin ise fenolik madde analizinde kullanılan ekstraksiyon yöntemleri arasındaki fark olduğu düşünülmektedir (Scherer ve Godoy, 2014). Kontrol tarhana örneklerine ait fenolik madde içerikleri arasında bulunan varyasyonlara karşın, bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir (Kılıcı ve Göçmen, 2014a; 2014b; Değirmencioğlu ve ark., 2016).

Farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli tarhana örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.21'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.21. Tarhana örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Serbest antioksidan aktivite (DPPH)	Bağlı antioksidan aktivite (DPPH)	Serbest antioksidan aktivite (FRAP)	Bağlı antioksidan aktivite (FRAP)
			(mg TE/100 g)	(mg TE/100 g)	(mg TE/100 g)	(mg TE/100 g)
	Kontrol		48.53±0.41	186.80±0.15	54.54±0.45	88.15±3.38
D		10	49.29±0.20	191.89±0.92	143.48±3.64	119.78±3.31
		20	49.49±0.20	192.58±0.23	220.30±0.45	258.75±16.54
		30	50.20±0.10	195.57±1.84	265.76±1.36	315.00±13.24
KB	US	10	49.18±0.10	189.14±0.46	157.58±0.45	192.57±23.16
		20	49.80±0.10	190.06±0.46	251.21±1.36	298.46±3.31
		30	50.31±0.01	191.66±0.23	336.67±1.36	308.38±26.47
Lp		10	49.29±0.20	191.20±0.69	149.85±2.73	172.72±16.54
		20	50.20±0.10	192.35±0.46	240.76±5.45	252.13±3.31
		30	50.92±0.20	193.73±0.92	436.67±9.55	281.91±6.62
D		10	46.73±0.10	183.63±0.92	173.48±0.91	176.03±1.19
		20	50.82±0.10	188.91±1.61	373.94±0.45	209.12±3.18
		30	52.35±0.01	189.83±1.15	362.12±8.64	228.97±6.62
A	US	10	50.61±0.31	187.30±0.01	136.67±0.45	162.79±6.62
		20	51.94±0.20	187.53±0.23	178.48±2.27	169.41±6.62
		30	52.04±0.71	189.37±1.15	226.21±1.82	219.04±9.93
Lp		10	50.71±0.20	188.45±1.15	157.58±1.36	169.41±6.62
		20	51.63±0.10	189.37±0.69	269.39±1.36	205.81±3.31
		30	53.37±0.20	190.06±0.46	288.94±3.64	215.74±3.13

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Tarhana örneklerinin serbest antioksidan aktivite (DPPH) analiz sonuçları 48.53 ile 53.37 mg TE/100 g arasında, bağlı antioksidan aktivite (DPPH) analiz sonuçları ise 183.63 ile 195.57 mg TE/100 g arasında değişmektedir (Çizelge 4.21). Serbest ve bağlı antioksidan aktivitede (FRAP) en düşük değerler sırasıyla 54.54 ve 88.15 mg TE/100 g olarak kontrol örneğinde bulunmuştur. En yüksek serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerleri *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte 436.67 mg TE/100 g olarak, bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değeri ise dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte 315.00 mg TE/100 g olarak tespit edilmiştir.

Tarhana örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.22’de gösterilmektedir. Serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerleri üzerinde tüm faktörlerin ve tüm interaksiyonların p<0.01 düzeyinde önemli bir etkisinin bulunduğu görülmektedir. Bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri üzerinde ise “ön

işlem x oran” ve “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisi önemsiz bulunurken, diğer faktörler ve interaksiyonların etkilerinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Tarhana örneklerinden elde edilen serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde çeşit faktörü $p < 0.05$ düzeyinde, diğer tüm faktör ve interaksiyonlar ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli etkide bulunmuştur. Bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde de ön işlem faktörü ile “*ön işlem x oran*” interaksiyonunun etkisi önemsiz, “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisi $p < 0.05$ düzeyinde önemli ve diğer faktörler ile interaksiyonların etkileri ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Tarhana örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Serbest antioksidan aktivite (DPPH)		Bağlı antioksidan aktivite (DPPH)		Serbest antioksidan aktivite (FRAP)		Bağlı antioksidan aktivite (FRAP)	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	6.86	28.48**	13.64	6.33**	10781.66	252.87**	395.98	0.94ns
Çeşit (B)	1	11.08	91.93**	94.84	88.05**	104.78	4.92*	16381.78	78.22**
Oran (C)	3	64.90	179.52**	158.68	49.11**	487639.57	7624.65**	213992.81	340.61**
AxB	2	3.20	13.30**	16.42	7.62**	33008.47	774.17**	3943.25	9.41**
AxC	6	6.89	9.53**	16.29	2.52ns	16436.86	128.50**	2728.00	2.17ns
BxC	3	10.28	28.44**	33.97	10.51**	12717.17	198.84**	20118.45	32.02**
AxBxC	6	8.01	11.08**	14.39	2.23ns	28587.76	223.50**	4640.71	3.69*
Hata	24	38.87		13.64		1151.75		52.17	

¹* $p < 0.05$ düzeyinde önemli, ** $p < 0.01$ düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Tarhana örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.23'te özetlenmiştir. Tarhana örneklerinin antioksidan özelliklerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilmiş örneklerden elde edilen serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilmiş örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde daha yüksek bulunduğu görülmektedir (Çizelge 4.23). Bağlı antioksidan aktivite (DPPH) ile serbest ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinin ise çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilmiş örneklerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Hammadde sonuçları da göz önüne alındığında (Çizelge 4.3), çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip tarhana örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) ile serbest ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinin amarant unu ikameli örneklerden yüksek bulunması beklenen bir sonuç olup, verilerin uyum içerisinde olduğu söylenebilir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Tarhana örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

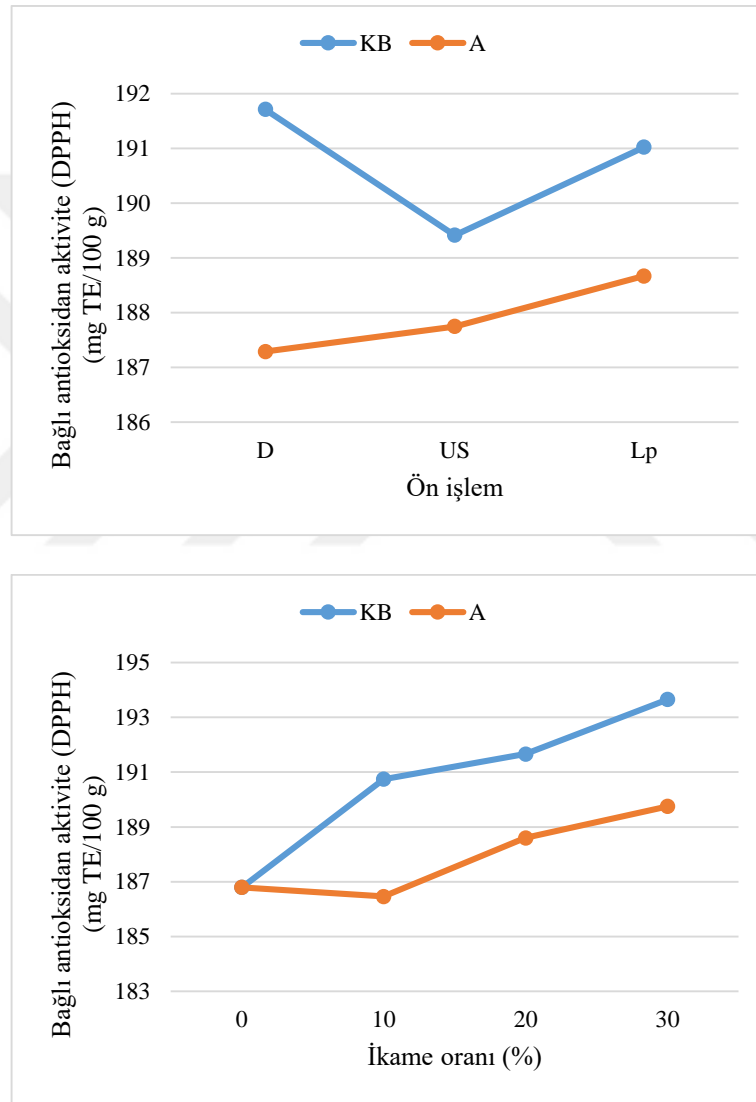
Faktör	n	Serbest antioksidan aktivite (DPPH) (mg TE/100 g)	Bağlı antioksidan aktivite (DPPH) (mg TE/100 g)	Serbest antioksidan aktivite (FRAP) (mg TE/100 g)	Bağlı antioksidan aktivite (FRAP) (mg TE/100 g)
<i>Çeşit</i> ²					
KB	12	49.52±0.20 b	190.71±0.55 a	197.16±2.31 a	205.34±10.22 a
A	12	50.48±0.26 a	187.90±0.65 b	194.20±1.86 b	168.40±4.78 b
<i>Ön İşlem</i> ³					
D	8	49.49±0.19 b	189.50±0.87 ab	206.02±2.05 a	185.49±6.36 a
US	8	50.12±0.28 a	188.58±0.35 b	174.49±1.08 b	190.87±10.36 a
Lp	8	50.40±0.23 a	189.84±0.58 a	206.53±3.13 a	184.25±5.79 a
<i>Oran</i>					
0	6	48.53±0.41 d	186.80±0.15 d	54.54±0.45 d	88.15±3.38 d
10	6	49.30±0.19 c	188.60±0.69 c	153.10±1.59 c	165.55±9.57 c
20	6	50.64±0.14 b	190.13±0.61 b	255.68±1.89 b	232.28±6.05 b
30	6	51.53±0.20 a	191.70±0.96 a	319.39±4.39 a	261.51±11.00 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Fakat hammadde sonuçlarından beklenenin aksine çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerleri amarant unu ikameli olan örneklerden daha düşük bulunmuş olup, bu sonucun muhtemel nedeninin fermantasyon işleminin çözünebilir formdaki antioksidan özelliklere sahip bileşikler üzerindeki etkisi olduğu söylenebilir (Çizelge 4.23). Benzer şekilde Shumoy ve ark. (2017), tef unuyla üretilen injera ekmeğinin serbest ve bağlı biyoaktif özellikleri üzerinde fermantasyonun etkisini araştırdıkları bir çalışmada, fermantasyonun ilk 24 saatinde örneklerin serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinde %26-%43 oranları arasında bir azalma olduğunu, örneklerin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin ise fermantasyonla önemli bir değişim göstermediğini tespit etmişlerdir. Gıdalarda bulunan ana fenolik bileşikler, toplam fenolik içerikle korelasyon içerisinde olup, antioksidan aktiviteyle de önemli ölçüde ilişkilidir (Que ve ark., 2006; Bei ve ark., 2017). Fakat antioksidan özellikteki bileşiklerin oksidasyona karşı farklı mekanizmalarla etki gösterdiği de unutulmamalıdır (Pellegrini ve ark., 2003; Bei ve ark., 2017). Literatürde bildirilen bu çalışmalardan yola çıkılarak, çimlendirilmiş karabuğday unundaki çözünebilir, serbest formdaki antioksidan özelliklere sahip bileşiklerin fermantasyondan negatif şekilde etkilendiği, dolayısıyla KB tarhana örneklerinin serbest antioksidan

aktivite (DPPH) değerlerinin düşük bulunduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca amarant unu ikameli örneklerin serbest antioksidan aktivite (DPPH) aktivitesinin, karabuğday unu ikameli örneklere benzer şekilde fermantasyondan etkilenmemesinin, örneklerde bulunan antioksidan özellikteki bileşiklerin çeşit ve kompozisyonundaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tarhana örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.14’te gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Tarhana örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri üzerindeki etkileri “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonları

Çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından değerlendirildiğinde, dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle üretilmiş örneklerin serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin

diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde daha düşük bulunduğu görölmektedir (Çizelge 4.23). Örneklerin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) ve serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerleri arasında benzer bir eğilim olduğu dikkat çekmekte olup, *L. plantarum* inokülasyonuyla çimlendirilerek elde edilen unların ikame edildiği örneklere ait değerler diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unların ikame edildiği örneklere ait değerler ise daha düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Buna karşın D ile US ve Lp örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz kabul edilebilmektedir. Ön işlem faktörü açısından, tüm örneklerin bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri arasındaki deskriptif farklılıkların ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

L. plantarum inokülasyonuyla çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği tarhana örneklerinden elde edilen serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin yüksek bulunmasının muhtemel nedeninin, inoküle edilen bakteri yükünün gerçekleştirdiği metabolizma faaliyetleri ve tarhana üretimindeki fermantasyon aşamasının antioksidan bileşiklerin biyoyararlılığını artırıcı ortak etkisi olduğu düşünülmektedir. Li ve ark. (2018) bir çalışmalarında *Lactobacillus plantarum* ATCC14917 ile fermente edilen elma sularında, fermantasyonun ardından örneklerin antioksidan aktivitesinin yaklaşık iki katına çıktığını tespit etmişlerdir. Antioksidan aktivitedeki bu artışın, fermantasyonla örneklerdeki antioksidan bileşiklerin alımının ve biyoyararlılığının artmasından kaynaklandığı hipotezi öne sürölmüştür. Fermantasyonla birlikte antioksidan bileşiklerin biyoyararlılığındaki artış ise bakteriyal metabolizma faaliyeti sırasında meydana gelen deglikozilasyon ve degallasyon aktiviteleri ile açıklanmıştır. Benzer şekilde, Lp örneklerinde tespit edilen yüksek serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin; enzim aktivitesi ve metabolizma faaliyeti sonucu yüksek hidroksil grubuna sahip serbest aglikonların oluşması ve/veya hidroksil gruplarındaki sterik engelin ortadan kalması sonucu oluştuğu yorumu yapılabilir (Li ve ark., 2018). Lp tarhana örneklerinin antioksidan özellikleri üzerinde gözlenen bu değişimlerin, hammaddelerin antioksidan analizlerine ait deskriptif veriler doğrultusunda beklenen sonuçlar olduğu söylenebilir (Çizelge 4.3).

US tarhana örneklerinin serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin dezenfektan kullanılan örnekten yüksek bulunmasının muhtemel nedeninin, ultrason uygulamasına sahip hammaddelerin, enzim aktivitesini arttırıcı ve bağlı formadaki antioksidan bileşiklerin serbest forma geçmesini teşvik edici bir etki göstermesi olduğu

söylenbilir. Hammadde sonuçları göz önüne alındığında ise bu etkinin fermantasyonla açığa çıktığı söylenbilir (Çizelge 4.3). Benzer şekilde literatürde, fermente buğday ve yulaf içeceğinin antioksidan özellikleri üzerinde ultrason ön işleminin pozitif bir etkisi olduğu bildirilmiştir (Herrera-Ponce ve ark., 2021). Ayrıca 3 dk uygulanan ultrason işleminin anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibisyon aktivitesini artırıcı etki gösteren peptit oluşumuna neden olduğu, 10 dk uygulanan ultrason işleminin ise serbest radikalleri inhibe edebildiği bildirilmiştir (Uluko ve ark., 2013; Herrera-Ponce ve ark., 2021). ACE inhibisyonu, kan basıncındaki azalmayı etkileyen temel mekanizmalardan biri olduğu ve antihipertansif aktivitenin bir göstergesi kabul edildiği için ultrason uygulamasının ACE inhibisyonu üzerindeki etkisi de önem arz etmektedir (Uluko ve ark., 2013).

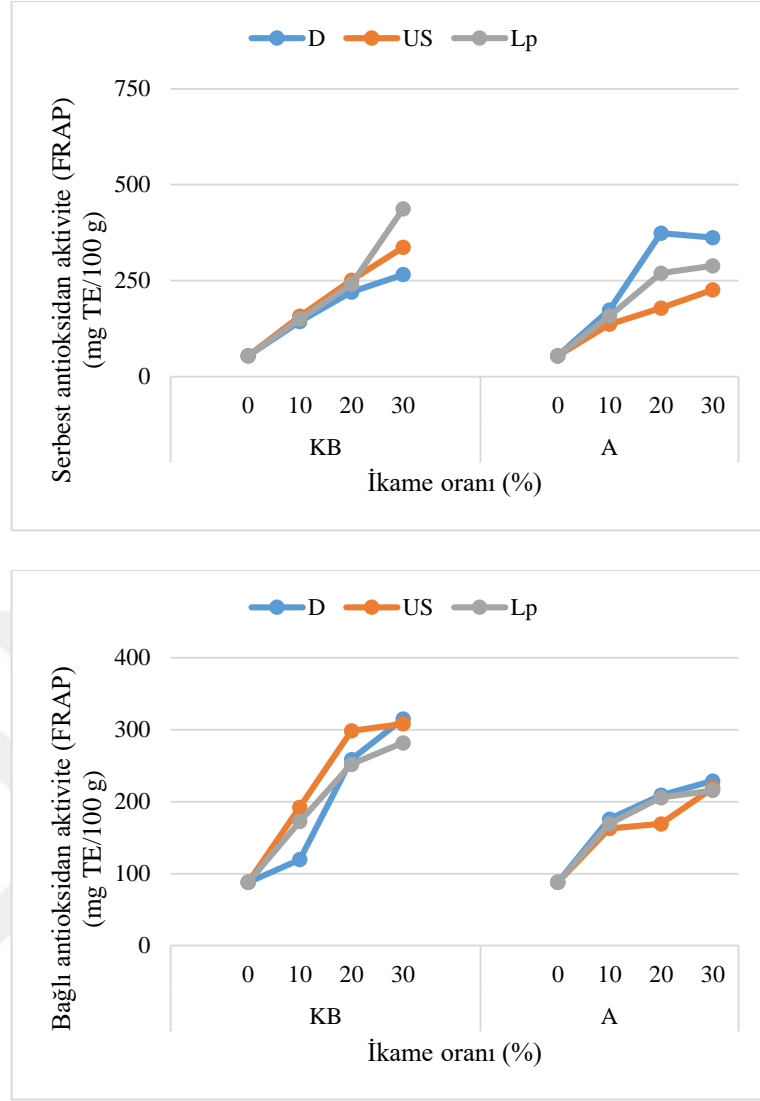
Lp tarhana örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) ve serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinin diğer örneklerden yüksek, US örneklerine ait değerlerin ise düşük bulunması hammaddelere ait veriler ışığında beklenen sonuçlardır (Çizelge 4.3). Bu çalışmaya benzer şekilde, Arjmand ve ark. (2023) bir çalışmalarında kinoa hamurunda farklı sürelerde uygulanan fermantasyon işlemiyle beraber, örneklerin antioksidan aktivite değerlerindeki değişimleri araştırmışlar, DPPH ve FRAP değerlerinin fermantasyonla birlikte artış gösterdiğini, fakat fermantasyon süresi uzadıkça antioksidan aktivitenin kısmen azalmaya başladığını bildirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada fermantasyonun 12. saatinden sonra gözlenen azalmanın nedeninin, fenolikler gibi antioksidan özellik gösteren bileşiklerde meydana geldiği düşünülen oksidasyon ve indirgenme reaksiyonları olduğu belirtilmiştir (Zhou ve ark., 2020; Arjmand ve ark., 2023). Dolayısıyla US tarhana örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) ve serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinin diğer örneklere göre düşük bulunmasının, antioksidan özellikteki bileşiklerde fermantasyon sırasında gerçekleşmiş olabilecek oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından da kaynaklandığı söylenbilir. Fermantasyon sırasında D ve Lp örneklerinin antioksidan bileşiklerinde aynı etkinin görülmemesinin nedeninin ise ultrason uygulaması ile örneklerdeki mevzu bahis bileşiklerin salınımının artması olduğu düşünülmektedir (Estivi ve ark., 2022a; Naumenko ve ark., 2022).

Literatürde fenolik bileşiklerin antioksidan aktivitelerinin azalmasının veya artmasının, yapılarındaki basit aglikonlara bağlı fonksiyonel grupların kimyasal yapılarından etkilendiği bildirilmiştir (Zhou ve ark., 2020). Bu bilgi ışığında, tarhana örneklerinin antioksidan aktivite değerlerinde görülen farklılıkların, fenolik bileşiklerin

fonksiyonel gruplarının kimyasal yapıları arasındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Tarhana örneklerinin serbest antioksidan aktivite DPPH ve FRAP değerleri karşılaştırıldığında, ön işlem faktörü açısından örneklerin antioksidan aktivite değerlerinin birbiriyle paralel şekilde değişmediği dikkat çekmektedir (Çizelge 4.23). Bu durumun en önemli sebebinin analiz yöntemleri ve antioksidan bileşiklerin kimyasal yapıları arasındaki farklılık olduğu düşünülmektedir. DPPH yönteminin prensibi, DPPH radikalinin antioksidanlar tarafından difenilpikrilhidrazile indirgenmesine dayanırken, FRAP yönteminin prensibi ferrik tripiridiltriazin (Fe (III)-TPTZ) kompleksinin antioksidanlar tarafından ferrik tripiridiltriazine (Fe (II)-TPTZ) indirgenmesine dayanmaktadır. Ayrıca DPPH metodunda hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidan bileşiklerin antioksidan aktivitesi belirlenebilirken, FRAP metodunda sadece hidrofilik antioksidan bileşiklerin aktivitesi belirlenebilmektedir. Dolayısıyla tarhana örneklerinin serbest antioksidan aktivite (DPPH ve FRAP) değerleri arasındaki farkın, örneklerin yapısındaki hidrofilik ve lipofilik antioksidan maddelerin miktar ve konsantrasyonundaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir (Szydłowska-Czerniak ve Łaszewska, 2015; Muhtadi ve Wiyono, 2021; Arjmand ve ark., 2023).

Tarhana örneklerinin antioksidan özellikleri oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, artan ikame oranıyla beraber örneklerin serbest ve bağlı antioksidan aktivite DPPH ve FRAP değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir artış meydana geldiği görülmektedir ($p < 0.05$). Hammaddelere ait antioksidan aktivite analiz sonuçları doğrultusunda, ikame oranındaki artışla beraber örneklerin antioksidan değerlerinin artması, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının antioksidan özelliklerinin buğday ununkinden yüksek olması nedeniyle beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.3, Çizelge 4.23). Tarhana örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.15’te gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Tarhana örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde Çevik ve Ertaş (2019) bir çalışmalarında, tarhana formülasyonunda %0’dan %40’a kadar olan karabuğday unu ikamesiyle örneklerin DPPH aktivitelerinin %73.17’den %85.56’ya çıktığını tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise kontrol yaş tarhana örneğinde 17.28 mg TE/g olan DPPH aktivite değerinin karabuğday unu ikamesiyle 139.70 mg TE/g’a kadar, kontrol kuru tarhana örneğinde 26.52 mg TE/g olan DPPH aktivite değerinin ise yine karabuğday unu ikamesiyle 161.82 mg TE/g’a kadar yükseldiği tespit edilmiştir (Tomar ve ark., 2020). Hur ve ark. (2014), bir çalışmalarında, fermantasyon sürecinde antioksidan kapasitede görülen değişimlerin; mikroorganizma türü, pH, sıcaklık, fermantasyon süresi ve substrat türü gibi çeşitli faktörlerden etkilendiğini bildirmiş olup, değerler arasındaki farklılıkların bu faktörlerden kaynaklandığı söylenebilir.

Kılıcı ve Göçmen (2014a; 2014b) bir çalışmalarında, kontrol tarhana örneğinin serbest antioksidan aktivite FRAP değerini 2.01 $\mu\text{mol TE/g}$ olarak, bağlı antioksidan aktivite FRAP değerlerini ise 2.90 $\mu\text{mol TE/g}$ olarak tespit etmişlerdir. Değirmencioğlu ve ark. (2016) kontrol tarhana örneğinin serbest, bağlı ve toplam DPPH antioksidan değerlerini sırasıyla 2.74, 126.80 ve 129.53 $\mu\text{mol TEAC/g}$ olarak tespit etmişlerdir. Tangüler ve Tatlısoy (2022) ise bir çalışmalarında kontrol tarhana örneğinin DPPH antioksidan aktivitesinin 1101 mg TE/kg bulunduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada, kontrol tarhana örneğinin serbest ve bağlı DPPH antioksidan değerleri sırasıyla %60.56 ve %79.96 olarak bulunmuştur (Ghafoor ve ark., 2021). Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir (Kılıcı ve Göçmen, 2014a; 2014b; Tangüler ve Tatlısoy, 2022).

4.2.5. Mineral madde analiz sonuçları

Tarhana proteinler ve vitaminler gibi besinsel bileşiklerin haricinde, kalsiyum, demir, çinko gibi mineraller açısından da zengin bir kaynak olarak görülmekte, bu nedenle çocuk ve yaşlıların beslenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Dağlıoğlu, 2000). Tarhanada ürünün mineral içeriği; kullanılan hammaddeler, fermantasyon süresi, kurutma metodu gibi faktörlerden etkilenmektedir (Tekgül ve ark., 2021). Antibesinsel bileşikler olarak özellikle tahıl ve tahıl ürünlerinde yaygın şekilde bulunan fitatlar, güçlü şelatlama kapasitesine sahip olup, demir, çinko, kalsiyum ve magnezyum gibi besinsel öneme sahip iki değerlikli minerallerle çözünmeyen kompleksler oluşturmaktadır. Filamentli mantarlar, mayalar, gram pozitif ve gram negatif bakteriler gibi çeşitli mikroorganizmalar fitaz aktiviteleri ile fitat hidrolizinde yer alarak, minerallerin biyoyararlılığının artırılmasını sağlamaktadır. Tarhana gibi fermente gıdaların fermantasyon sürecinde ise mikrobiyal faaliyetin de katkısıyla enzim aktiviteleri artmakta, fitik asit ve tanenler gibi antibesinsel madde miktarları azalmakta, böylece son üründe özellikle demir, çinko, kalsiyum ve magnezyum gibi iki değerlikli minerallerin biyoyararlılığı da artış göstermektedir (Hasan ve ark., 2014).

İnsan vücudunda metabolik faaliyetlerin sürdürülmesi ve optimum sağlık durumunun sağlanmasında görev alan mineral maddelerin vücuda alımlarındaki eksiklikler, hem bireysel hem de toplumsal sağlık açısından olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Mineral eksikliği sadece gıdalardaki mineral maddelerin eksikliğinden değil, aynı zamanda minerallerin biyoyararlılığının düşük olmasından da

kaynaklanmaktadır. Bu durumun en büyük sebebi, vücuda alınan minerallerin yalnızca çok düşük bir miktarının sindirimden sonra biyoyararlanabilir durumda bulunmasıdır (Affonfere ve ark., 2023).

Minerallerin biyoyararlılığı, gıdalarda bulunan eser elementlerin sindirimden sonra normal metabolik ve fizyolojik işlevler için kullanılan ya da vücutta depolanan oranı olarak tanımlanabilir. Biyoyararlılık, minerallerin tamamının vücutta kullanılabilir olmadığı bir işaretçisi olup; sindirim, çözünme, emilim, enzimatik dönüşüm, salgılama ve boşaltım gibi bir takım metabolik olayların da minerallerin kullanımında etkili olduğunun göstergesidir (Affonfere ve ark., 2023). Biyoyararlılık, minerallerin HCl ile ekstrakte edilebilen miktarının bir ölçüsüdür (Arora ve ark., 2003). Mineralleri ve proteinleri doğrudan veya dolaylı olarak bağlayarak çözünürlük, işlevsellik, sindirilebilirlik ve emilim özelliklerini değiştirme yeteneğinde olan fitik asit gibi antibesinsel maddeler ve polifenoller, minerallerle çözünmez kompleksler oluşturarak minerallerin vücuttaki biyolojik faaliyetlerde kullanımını kısıtlamaktadır (Arora ve ark., 2003; Bilgiçli ve ark., 2006a). Tahıl ve baklagillerde yapılan ısıtma, kabuk ayırma, çimlendirme ve filizlendirme gibi proseslerin, Ca, Fe ve P minerallerinin ekstrakte edilebilirliğini artırdığı bildirilmiştir (ElMaki ve ark., 2007). Bununla birlikte literatürde, fermantasyonun da gıdalardaki fitik asit içeriğini azaltan bir proses olduğu belirtilmiştir (Bilgiçli ve ark., 2006a). Ayrıca fermantasyon sırasında bitkilerdeki glukuronik ve poligalakturonik asitler, selüloz ve hemiselüloz gibi sindirilmeyen maddelerin miktarlarının azaldığı, böylece mineral ve eser elementlerin biyoyararlılığının arttığı bildirilmiştir (Sharma ve ark., 2020).

Tarhana örneklerinin mineral madde analizine ait sonuçlar Çizelge 4.24'te verilmiştir. Tarhana örneklerinin; Ca içerikleri 38.00 ile 58.34 mg/100 g, Mn içerikleri 1.28 ile 1.90 mg/100 g, Fe içerikleri 1.80 ile 2.87 mg/100 g, Cu içerikleri 0.14 ile 0.38 mg/100 g ve Zn içerikleri 0.72 ile 1.21 mg/100 g arasında değişim göstermiştir.

Tarhanaların Ca, Mn, Fe, Cu ve Zn içeriklerinde en yüksek değerlerin dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örneklerde, en düşük değerlerin ise ultrasonla çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği örneklerde bulunması dikkat çekmektedir (Çizelge 4.24). Örneklerin Se içerikleri 0.022 ile 0.052 mg/100 g arasında değişirken en yüksek değer kontrol örneğinde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.24. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
	Kontrol		38.76±1.63	1.66±0.01	2.16±0.01	0.17±0.01	0.78±0.01	0.052±0.012	568.48±0.66	67.12±0.27	543.47±0.61
	D	10	50.25±0.04	1.84±0.01	2.47±0.01	0.23±0.02	1.00±0.01	0.044±0.004	643.84±1.69	103.35±0.83	651.72±0.01
		20	53.74±0.57	1.82±0.01	2.63±0.01	0.24±0.01	1.14±0.01	0.040±0.001	595.02±0.48	119.12±0.37	635.15±0.07
		30	58.34±0.36	1.90±0.01	2.87±0.01	0.38±0.01	1.21±0.01	0.044±0.006	608.93±1.28	149.53±0.32	696.74±1.26
	KB	10	52.50±1.00	1.69±0.02	2.46±0.01	0.23±0.01	1.02±0.03	0.043±0.013	602.29±0.87	100.56±0.94	646.53±0.29
		20	51.88±0.46	1.69±0.02	2.47±0.01	0.23±0.02	1.03±0.01	0.036±0.004	594.60±0.18	127.38±0.63	671.35±0.12
		30	51.46±0.81	1.78±0.01	2.39±0.01	0.27±0.01	1.08±0.01	0.027±0.007	609.96±2.51	149.23±1.51	708.54±0.92
		10	45.57±0.05	1.64±0.01	2.19±0.01	0.22±0.01	0.90±0.01	0.027±0.003	656.56±0.71	111.45±0.83	706.62±1.47
		20	49.58±0.24	1.69±0.01	2.42±0.01	0.22±0.01	1.01±0.02	0.034±0.014	644.52±2.27	132.17±0.01	700.93±1.31
		30	52.51±0.86	1.70±0.01	2.53±0.01	0.24±0.01	1.09±0.02	0.022±0.002	632.87±1.10	157.42±0.53	744.85±1.97
		10	46.04±0.48	1.43±0.01	2.46±0.02	0.16±0.01	0.84±0.02	0.028±0.002	615.57±0.39	109.18±1.56	627.09±0.06
		20	50.66±1.14	1.56±0.01	2.39±0.01	0.17±0.01	0.87±0.01	0.030±0.001	613.47±0.51	141.42±0.80	652.85±0.71
		30	49.27±0.51	1.58±0.01	2.25±0.02	0.17±0.01	0.89±0.01	0.023±0.003	556.43±1.29	155.33±0.79	602.63±1.28
		10	38.00±0.44	1.28±0.01	1.80±0.01	0.14±0.01	0.72±0.01	0.023±0.013	513.93±1.71	87.68±1.06	518.57±0.21
		20	44.46±0.20	1.37±0.01	2.26±0.01	0.17±0.01	0.96±0.01	0.029±0.009	541.73±0.72	92.64±0.29	537.88±0.66
		30	50.58±0.73	1.44±0.01	2.51±0.02	0.19±0.01	1.13±0.03	0.024±0.004	562.85±2.64	103.77±0.65	566.76±0.55
		10	40.72±1.38	1.32±0.01	2.19±0.02	0.16±0.01	0.89±0.04	0.025±0.005	514.94±0.29	116.42±0.43	542.55±0.43
		20	45.73±0.25	1.34±0.02	2.19±0.01	0.19±0.01	0.89±0.03	0.029±0.009	550.65±0.73	149.21±0.53	595.53±0.08
		30	50.39±0.87	1.49±0.02	2.37±0.02	0.19±0.01	0.98±0.02	0.028±0.002	567.68±1.56	133.28±0.65	620.89±0.11

¹Sonuçlar iki tekrerrün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri.

³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

En düşük Na içeriği 513.93 mg/100 g olarak ultrasonla çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği örnekte bulunurken, en yüksek Na içeriği 656.56 mg/100 g olarak *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğdayın %10 oranında ikame edildiği örnekte bulunmuştur (Çizelge 4.24). En düşük Mg içeriğinin kontrol örneğinde (67.12 mg/100 g), en düşük K içeriğinin ise (518.57 mg/100 g) ultrasonla çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği örnekte olduğu görülmüştür. En yüksek Mg ve K içerikleri ise *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğdayın %30 oranında ikame edildiği örnekte, sırasıyla 157.42 ve 744.85 mg/100 g olarak tespit edilmiştir.

Tarhana örneklerinin mineral madde miktarlarına ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.25 ve 4.26'da özetlenmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre tarhana örneklerinin Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K içerikleri üzerinde tüm faktörlerin ve tüm interaksiyonların $p < 0.01$ düzeyinde önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin Se içeriklerinde ise oran faktörünün etkisinin $p < 0.01$ düzeyinde, çeşit faktörünün etkisinin ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunduğu tespit edilmiştir. Tarhana örneklerinin Se içeriklerinde, ön işlem faktörü ve tüm interaksiyonların etkileri ise önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$).

Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.27'de verilmektedir. Mineral madde analiz sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin tüm mineral madde içeriklerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$).

Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarına ait mineral madde analiz sonuçları incelendiğinde, elde edilen bu sonucun aksine, çimlendirilmiş amarant ununun Cu ve K hariç diğer tüm mineral madde içeriklerinin daha yüksek bulunduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.4). Hammadde ve tarhana örneklerinin mineral madde içerikleri arasındaki bu zıt eğilimin tarhana üretimindeki fermantasyon aşamasında gerçekleşen kimyasal değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde fermantasyonun; minerallerle kompleks oluşturan fitik asit içeriğinde azalmaya neden olduğu ve minerallerin ekstrakte edilebilirliği ile kullanılabilirliğini artırdığı bildirilmiştir (Adebiyi ve ark., 2017; Ilowefah ve ark., 2018).

Çizelge 4.25. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Ca		Mn		Fe		Cu	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	80.16	36.87**	0.14	495.66**	0.24	592.05**	0.01	15.112**
Çeşit (B)	1	208.00	191.33**	0.70	4945.83**	0.34	1695.66**	0.04	441.00**
Oran (C)	3	1201.92	368.54**	0.13	314.78**	0.77	1292.28**	0.03	106.14**
AxB	2	17.92	8.24**	0.01	13.32**	0.03	75.58**	0.01	31.40**
AxC	6	37.70	5.78**	0.05	58.08**	0.14	118.74**	0.01	7.45**
BxC	3	94.02	28.83**	0.24	573.89**	0.11	188.66**	0.02	64.84**
AxBxC	6	98.18	15.05**	0.01	15.54**	0.54	454.36**	0.01	20.31**
Hata	24	67.51		378.37		454.71		51.99	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.26. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları²

VK	SD	Zn		Se		Na		Mg		K	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.01	8.75**	0.001	1.63ns	5642.27	2017.59**	2778.14	1325.08**	9785.00	4948.43**
Çeşit (B)	1	0.14	381.86**	0.001	6.07*	25329.02	18114.56**	313.19	298.76**	67152.45	67920.17**
Oran (C)	3	0.54	483.56**	0.004	16.95**	4310.21	1027.51**	37707.36	11990.05**	85455.24	28810.73**
AxB	2	0.04	52.48**	0.001	1.70ns	7110.66	2542.66**	2141.94	1021.63**	14741.92	7455.23**
AxC	6	0.01	6.67**	0.001	0.40ns	8422.36	1003.90**	1405.35	223.43**	6187.28	1043.00**
BxC	3	0.05	44.18**	0.001	1.00ns	11437.44	2726.57**	1052.72	334.74**	25742.54	8678.95**
AxBxC	6	0.10	43.47**	0.001	0.63ns	5955.96	709.92**	1395.00	221.79**	9825.79	1656.35**
Hata	24	100.08		3.82		2033.74		1859.92		9225.05	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.27. Tarhana örneklerinin mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
<i>Çeşit²</i>										
KB	12	48.51±5.01 a	1.73±0.08 a	2.41±0.19 a	0.23±0.05 a	0.98±0.12 a	0.039±0.012 a	607.83±26.40 a	112.63±26.14 a	649.40±53.12 a
A	12	44.35±4.74 b	1.48±0.12 b	2.24±0.19 b	0.17±0.02 b	0.88±0.11 b	0.033±0.011 b	561.89±32.69 b	107.52±27.45 b	574.60±42.90 b
<i>Ön İşlem³</i>										
D	8	48.23±6.47 a	1.68±0.15 a	2.42±0.23 a	0.21±0.07 a	0.94±0.15 a	0.039±0.012 a	596.28±27.91 a	114.02±32.18 b	619.14±50.33 b
US	8	45.80±6.19 b	1.57±0.17 b	2.28±0.22 b	0.20±0.04 b	0.94±0.15 a	0.036±0.015 a	570.29±30.13 c	99.44±26.36 c	592.07±67.57 c
Lp	8	44.26±5.14 b	1.56±0.15 b	2.27±0.14 b	0.19±0.03 b	0.92±0.10 b	0.033±0.014 a	588.02±47.20 b	116.77±31.97 a	624.79±77.28 a
<i>Oran</i>										
0	6	38.76±1.63 d	1.66±0.01 a	2.16±0.01 d	0.17±0.01 c	0.78±0.01 d	0.052±0.012 a	568.48±0.66 c	67.12±0.27 d	543.47±0.61 d
10	6	45.51±5.07 c	1.53±0.20 d	2.26±0.24 c	0.19±0.04 b	0.90±0.10 c	0.033±0.012 b	591.19±57.08 a	104.77±9.29 c	615.51±65.10 c
20	6	49.34±3.78 b	1.58±0.20 c	2.39±0.21 b	0.20±0.04 b	0.99±0.15 b	0.032±0.012 b	590.00±54.93 ab	126.99±23.48 b	632.28±96.69 b
30	6	52.09±3.05 a	1.64±0.16 b	2.49±0.20 a	0.24±0.07 a	1.06±0.11 a	0.028±0.009 b	589.79±28.80 b	141.43±18.55 a	656.73±63.73 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Ayrıca farklı çalışmalarda kullanılan aynı cins tahıl örneğinde, fermantasyonla birlikte kül ve mineral içeriklerinde artış ve azalmaların tespit edilebildiği, bu durumun ise fermantasyon aşamasındaki mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerinin metal-fitat komplekslerini hidrolize etme yetenekleri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Nnam ve Obiakor, 2003). Dolayısıyla bu çalışmada hammadde ve tarhana örneklerinin mineral madde içerikleri arasında tespit edilen zıt eğilimin ve çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin mineral madde içeriklerinin yüksek bulunmasının; fermantasyondaki mikrobiyal metabolik faaliyetler sonucu meydana gelen kuru madde kaybı, fitat komplekslerinin yıkımı ve minerallerin ekstrakte edilebilirliğinin artmasından kaynaklandığı yorumu yapılabilir (Adebo ve ark., 2022). Fermantasyon sırasında mikroorganizmaların metal-fitat komplekslerini hidrolize etme yetenekleri kullanılan hammadde çeşidine göre değişebilmekle beraber, çimlendirilmiş karabuğday unu kullanılan örneklerde daha etkin bir hidroliz gerçekleştiği yorumu yapılabilir.

Analiz sonuçlarında dikkat çeken bir diğer husus, KB tarhana örneklerinin fitik asit içeriklerinin de yüksek olmasıdır. Dolayısıyla, mineral madde içerikleri ve erişilebilirliklerinde görülen değişimlerin, sadece tek bir antibesinsel bileşenin minerallerle oluşturduğu kompleksten kaynaklandığını söylemek yanlıştır. Bu konuda literatürde, bitkisel ürünlerdeki mineral madde içerikleri ve biyoerişilebilirliklerinin belirlenmesinde, farklı antibesinsel bileşiklerin birlikte nasıl bir etkiye sahip olduğunun araştırılması önerilmektedir (Raes ve ark., 2014). Çimlendirilmiş karabuğday unlarının daha düşük mineral içeriklerine, KB tarhana örneklerinin ise daha yüksek fitik asit içeriklerine sahip olmasına karşın, KB tarhana örneklerinin mineral madde içeriklerinin A tarhana örneklerinden yüksek bulunması, mineraller ile fenolik bileşikler ve lif gibi diğer antibesinsel özellikteki bileşiklerin hücresel lokalizasyonu ve etkileşim mekanizmaları arasındaki farklılıktan kaynaklanıyor olabilir (Raes ve ark., 2014; Mota ve ark., 2016).

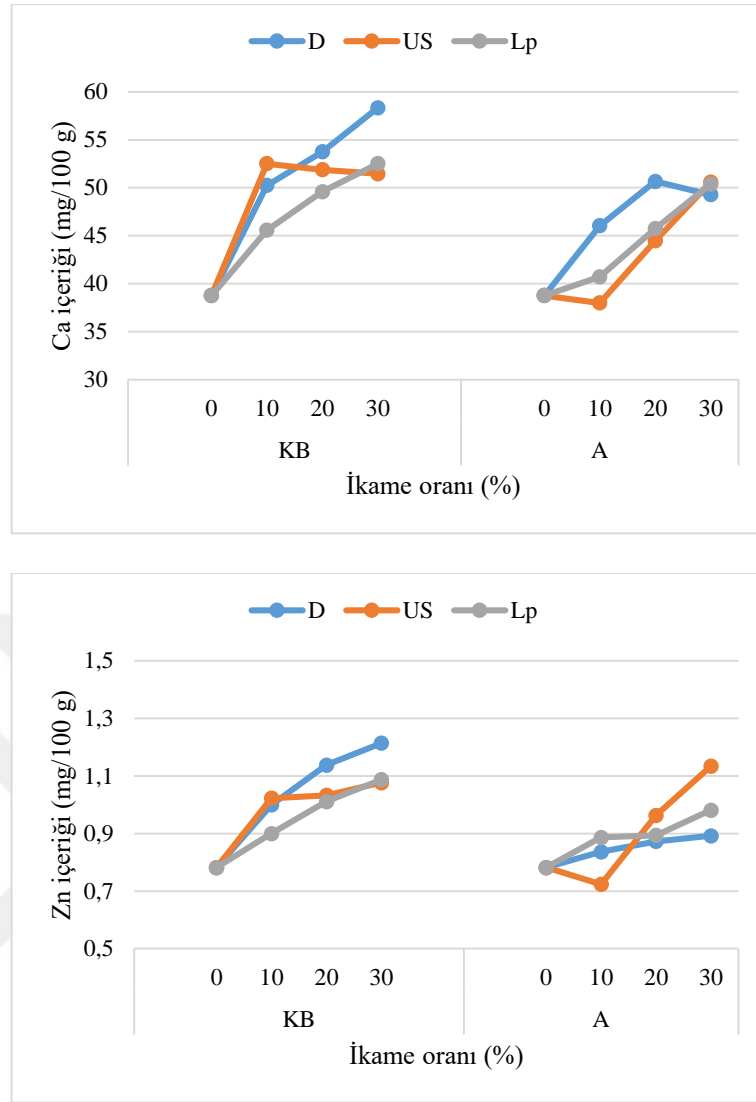
Ön işlem faktörü açısından, dezenfektan ön işlemlerin kullanıldığı tarhana örneklerinin Ca, Mn, Fe ve Cu içeriklerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek bulunduğu ($p < 0.05$), bu mineral madde içerikleri açısından US ve Lp örneklerinin arasında ise istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmadığı ($p > 0.05$) tespit edilmiştir (Çizelge 4.27). Lp tarhana örneklerinin Zn içeriklerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük olduğu bulunmuştur ($p < 0.05$). Örneklerin Se içerikleri üzerinde ön işlem faktörünün istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı dikkat çekmektedir ($p > 0.05$). En yüksek Na içerikleri dezenfektan kullanılan

örneklerde tespit edilirken, en düşük içerikler ultrason uygulanan örneklerde bulunmuştur. Benzer şekilde, ultrason uygulanan örneklerin Mg ve K içerikleri de diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde düşük bulunmuştur ($p < 0.05$). Buna karşın *L. plantarum* inokülasyonu yapılan örneklerin Mg ve K içeriklerinin ise diğer örneklere göre istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$).

Tarhana örneklerinde, hammadde sonuçlarının aksine (Çizelge 4.4), US ve Lp örneklerinin mineral madde içeriklerinin genel olarak daha düşük olduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.27). Ultrason ve bakteriyel inokülasyon uygulanmış hammaddelerin kullanıldığı örneklerin mineral madde içeriklerinin daha düşük bulunmasının temel nedeninin, fermantasyonda mikroorganizmalar tarafından yürütülen fizyolojik ve metabolik aktiviteler olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde literatürde; fasulye, börülce, Afrika yam fasulyesi gibi bazı baklagillerde fermantasyonla birlikte mineral madde içeriklerinin azaldığı bildirilmiştir. Bahsedilen bu çalışmada, mineral madde içeriklerinde görülen azalmanın, mikroorganizmaların mineralleri metabolizma faaliyetleri için kullanmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Adebo ve ark., 2022). US ve Lp örneklerinde mineral madde içeriklerindeki azalmanın daha fazla olmasının nedeninin (Çizelge 4.27), uygulanan ön işlemlerin metabolizma faaliyetlerinde kullanılacak mineral madde miktarlarını artırıcı etki göstermesi olduğu söylenebilir. Hammaddelere ait sonuçlar bu hipotezi destekler niteliktedir (Çizelge 4.4).

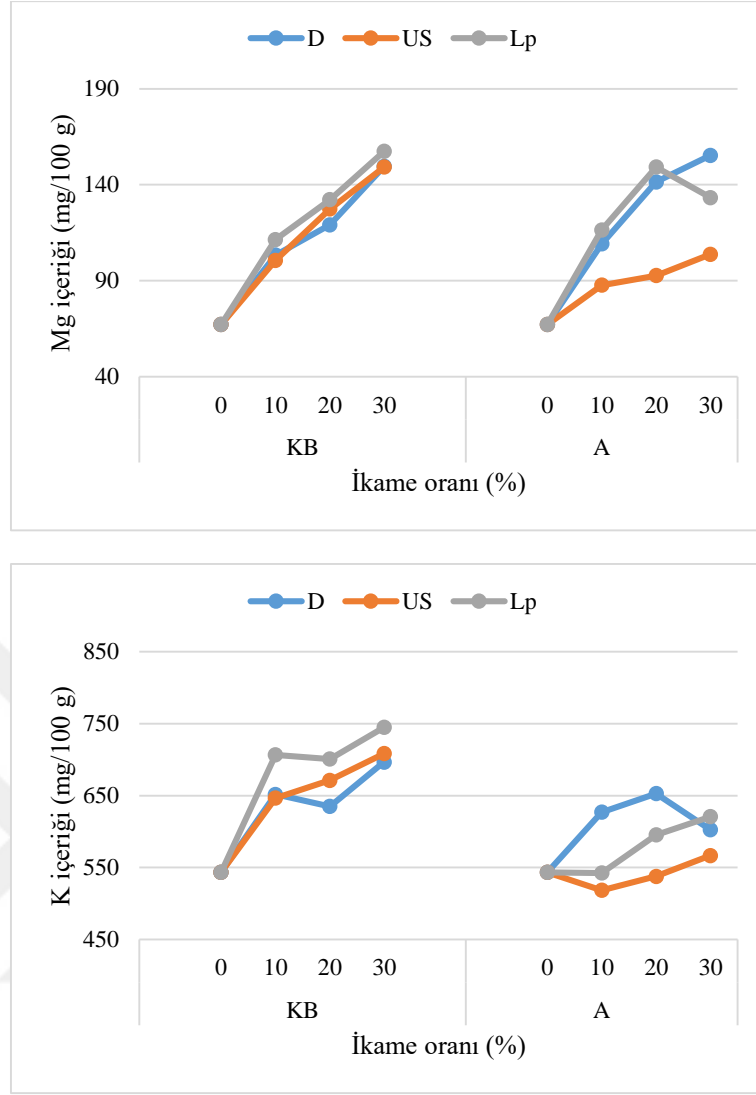
Mineral madde analizi sonuçları oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, ikame oranındaki artışla beraber örneklerin Ca, Fe, Cu, Zn, Mg ve K minerallerinin çözünebilirliklerinin de istatistiksel olarak önemli şekilde arttığı dikkat çekmektedir (Çizelge 4.27). Kontrol örneğinin Mn ve Se içerikleri diğer örneklerden önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Buna karşın, % 10, 20 ve 30 ikame oranına sahip örneklerin Se içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). Kontrol örneğinin Na içeriğinin ise diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede düşük olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Tarhana örneklerinin Ca ve Zn içerikleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.16’da gösterilmektedir. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesinin, tarhana örneklerinin Ca ve Zn içeriklerini geliştirici etkileri grafiklerde açıkça görülmektedir.



Şekil 4.16. Tarhana örneklerinin Ca ve Zn içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu

Tarhana örneklerinin Mg ve K içerikleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonunun etkileri Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle birlikte, tarhana örneklerinin Mg ve K çözünebilirliklerinde tespit edilen artış grafiklere doğrudan yansımıştır.



Şekil 4.17. Tarhana örneklerinin Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “*ön işlem x çeşit x oran*” etkileşimi

Çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikameli tarhana örneklerinin Ca, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K içeriklerinin yüksek bulunması, hammadde analizleri doğrultusunda beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.4). Benzer şekilde Bilgiçli (2009a) tarhana örneklerinde karabuğday ikamesiyle birlikte örneklerin K, Mg, P, Fe ve Zn çözünürlüklerinin arttığını tespit etmiştir. Çevik ve Ertuş (2019) karabuğday unu ikamesiyle birlikte tarhana örneklerinin Ca, Fe, K, Mg, P ve Zn minerallerinin çözünürlüklerinin arttığını bildirmişlerdir. Literatürde amarant unu ikamesiyle üretilmiş tarhana örneklerinin mineral madde içeriklerine ait herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olup, amarant unu ikameli erişte örneklerinin Ca, K, Mg, Mn, Fe ve Zn içeriklerinin kontrol erişte örneğinden (Öncel ve Demir, 2019), amarant unu ikameli gevrek örneklerinin Ca, Fe ve Mg içeriklerinin de kontrol gevrek örneğinden (Cankurtaran Kömürcü, 2023) daha

yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen sonuçların hem literatürle hem de hammadde sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Aktaş ve ark. (2015) bir çalışmalarında kontrol tarhana örneğinin Ca, Mg, K, P ve Zn içeriklerinin sırasıyla 34.69, 61.32, 388, 153.69 ve 0.99 mg/100 g olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada ise kontrol tarhana örneğinin Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Mo, Pb, Se, Co, Cd ve Cr içerikleri sırasıyla 139.00, 35.18, 339.24, 35.57, 0.94, 0.37, 0.03, 0.40, 0.36, 1.19 ve 1.09 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Temiz ve Tarakçı, 2017). Tekgül ve ark. (2021) ise %100 buğday unundan üretilmiş tarhananın Ca, Mg, Na ve K içeriklerinin sırasıyla 119.2, 25.7, 2.18 ve 363.2 mg/100 g olduğunu tespit ederken, Fe, Zn, Cu ve Mn içeriklerinin sırasıyla 1.78, 7.2, 355.4 ve 13.3 ppm bulunduğunu bildirmişlerdir. Tuluk ve Ertaş (2019) ise karabuğday unuyla üretilen tarhana örneklerinin Ca, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn içeriklerinin sırasıyla 41.68, 0.35, 622.70, 128.52, 0.94, 396.98 ve 1.23 mg/100 g bulunduğunu bildirmişlerdir. Literatürde bildirilen çalışmaların sonuçlarında da görüldüğü üzere tarhana örneğinin mineral içerikleri arasında varyasyonlar bulunsa da, bu çalışmadan elde edilen sonuçların genel olarak literatürle uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde analiz sonuçları Çizelge 4.28'de özetlenmektedir. Örneklerin ekstrakte edilebilir Ca içerikleri 36.69 ile 50.37 mg/100 g arasında, Mn içerikleri 1.27 ile 1.54 mg/100 g arasında, Fe içerikleri 1.48 ile 2.28 mg/100 g arasında, Cu içerikleri 0.13 ile 0.20 mg/100 g arasında ve Zn içerikleri 0.55 ile 0.97 mg/100 g arasında değişim göstermiştir. En düşük ekstrakte edilebilir Ca ve Zn içerikleri kontrol örneğinde bulunmuştur. Örneklerin ekstrakte edilebilir Se içerikleri incelendiğinde ise en düşük değer 0.001 mg/100 g, en yüksek değer ise 0.014 mg/100 g olduğu dikkat çekmektedir. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir Na içeriklerinin ise 433.51 ile 609.06 mg/100 g arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük ekstrakte edilebilir Mg ve K içerikleri kontrol örneğinde sırasıyla 48.82 ve 363.73 mg/100 g olarak bulunurken, en yüksek değerler *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneklerinde sırasıyla 120.96 ve 551.22 mg/100 g olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.28. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait sonuçları¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
	Kontrol		36.69±0.01	1.28±0.01	1.80±0.01	0.14±0.01	0.55±0.01	0.010±0.001	475.18±0.36	48.82±0.30	363.73±0.23
		10	39.86±1.01	1.27±0.02	1.66±0.01	0.16±0.01	0.71±0.01	0.006±0.004	568.74±1.79	79.76±0.64	462.35±0.40
	D	20	42.88±0.73	1.34±0.01	1.55±0.01	0.16±0.01	0.76±0.02	0.005±0.005	591.31±0.57	89.92±0.41	480.82±1.87
		30	46.10±0.54	1.38±0.01	1.48±0.01	0.20±0.01	0.76±0.01	0.001±0.001	603.06±0.61	109.02±0.41	502.31±0.36
		10	38.27±0.38	1.33±0.01	1.81±0.01	0.14±0.01	0.84±0.02	0.001±0.001	509.45±1.20	77.29±0.68	455.69±0.71
KB	US	20	40.51±0.36	1.34±0.01	1.78±0.01	0.17±0.01	0.79±0.01	0.001±0.001	570.36±1.71	85.28±0.93	485.59±0.07
		30	44.87±0.11	1.46±0.01	1.95±0.01	0.18±0.02	0.95±0.01	0.002±0.002	581.09±0.76	111.88±1.53	520.57±0.01
		10	44.51±0.25	1.43±0.01	2.07±0.02	0.18±0.01	0.86±0.01	0.006±0.004	496.61±2.47	81.47±1.12	454.81±0.22
	Lp	20	48.74±0.39	1.53±0.01	1.95±0.01	0.19±0.02	0.94±0.02	0.003±0.003	562.46±0.20	86.40±0.88	491.71±0.86
		30	50.37±1.02	1.54±0.01	1.96±0.01	0.19±0.01	0.97±0.01	0.003±0.003	589.02±0.87	120.96±1.61	551.22±1.57
		10	41.24±0.50	1.35±0.01	1.99±0.01	0.13±0.01	0.79±0.02	0.001±0.001	515.17±0.79	79.93±1.28	451.04±0.02
	D	20	44.44±0.21	1.41±0.01	1.92±0.02	0.14±0.01	0.79±0.02	0.002±0.002	529.48±0.70	92.01±0.24	457.21±0.76
		30	45.16±0.82	1.41±0.01	2.03±0.02	0.15±0.01	0.81±0.01	0.001±0.001	556.10±1.10	116.08±0.27	469.59±1.26
		10	36.69±0.06	1.28±0.01	1.77±0.01	0.13±0.01	0.62±0.01	0.001±0.001	433.51±1.15	70.14±0.01	420.90±0.06
A	US	20	43.79±0.64	1.27±0.01	1.98±0.01	0.15±0.01	0.70±0.01	0.010±0.001	475.96±0.30	91.01±0.69	422.36±0.75
		30	46.88±0.63	1.34±0.01	2.19±0.01	0.16±0.01	0.81±0.01	0.014±0.004	521.29±0.55	93.10±0.70	447.79±0.94
		10	39.37±0.75	1.29±0.01	1.83±0.02	0.14±0.01	0.68±0.02	0.003±0.003	457.36±0.30	78.63±0.33	433.57±1.92
	Lp	20	43.72±0.94	1.33±0.01	2.03±0.02	0.16±0.01	0.71±0.01	0.014±0.004	494.15±0.73	82.92±0.28	450.81±0.67
		30	46.11±0.01	1.36±0.01	2.28±0.02	0.17±0.01	0.81±0.01	0.005±0.005	496.89±2.11	116.62±0.94	487.22±2.22

¹Sonuçlar iki tekrerrün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri.

³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.29 ve 4.30'da gösterilmiştir. Örneklerin HCl ile ekstrakte edilebilir Mn, Fe, Zn, Na, Mg ve K içerikleri üzerinde tüm faktörlerin ve interaksiyonlarının etkisinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Ekstrakte edilebilir Ca içerikleri üzerinde “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisi $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ca içerikleri üzerinde diğer faktör ve interaksiyonların etkilerinin ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunduğu görülmektedir. Örneklerin ekstrakte edilebilir Cu içerikleri üzerinde çeşit ve oran faktörlerinin etkisinin $p < 0.01$ düzeyinde, ön işlem faktörü ile “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkilerinin ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu, diğer interaksiyonların etkisinin ise önemsiz olduğu ($p > 0.05$) tespit edilmiştir. Ekstrakte edilebilir Se içeriklerine etki eden en önemli etkenin oran faktörü olduğu görülmüştür ($p < 0.01$). “*Ön işlem x çeşit*” interaksiyonunun ekstrakte edilebilir Se içerikleri üzerindeki etkisi $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunurken, diğer faktör ve interaksiyonların ekstrakte edilebilir Se içerikleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkide bulunmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Çizelge 4.31'de özetlenmektedir. Ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerin ekstrakte edilebilir Ca, Mn, Cu, Zn, Na, Mg ve K içeriklerinin çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$). Çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin ekstrakte edilebilir Fe içerikleri ise çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Örneklerin ekstrakte edilebilir Se içerikleri arasında ise istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$).

Çizelge 4.29. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerine ait varyans analizi sonuçları 1¹

VK	SD	Ca		Mn		Fe		Cu	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	60.32	58.78**	0.03	120.34**	0.28	397.97**	0.01	5.51*
Çeşit (B)	1	6.29	12.26**	0.03	218.68**	0.27	791.10**	0.01	30.12**
Oran (C)	3	685.81	445.51**	0.12	324.36**	0.20	195.02**	0.01	27.82**
AxB	2	50.04	48.76**	0.06	252.28**	0.17	239.54**	0.01	0.95ns
AxC	6	32.00	10.39**	0.02	28.39**	0.22	105.87**	0.01	0.99ns
BxC	3	6.54	4.25*	0.01	35.46**	0.28	270.46**	0.01	3.36*
AxBxC	6	29.26	9.50**	0.02	30.49**	0.10	47.62**	0.01	0.61ns
Hata	24	70.78		100.46		182.70		6.33	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.30. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerine ait varyans analizi sonuçları 2¹

VK	SD	Zn		Se		Na		Mg		K	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.02	29.79**	0.01	3.00ns	12133.56	3571.12**	242.55	220.10**	1720.23	573.48**
Çeşit (B)	1	0.06	216.16**	0.01	2.78ns	29223.10	17201.73**	38.65	70.42**	11077.16	7385.69**
Oran (C)	3	0.58	653.21**	0.01	6.63**	50902.43	9987.65**	24114.23	14647.57**	115502.18	25670.36**
AxB	2	0.08	130.64**	0.01	4.11*	576.15	169.57**	113.41	103.34**	1338.07	446.08**
AxC	6	0.03	17.17**	0.01	1.52ns	6367.41	624.68**	481.84	146.34**	2811.09	312.38**
BxC	3	0.02	25.14**	0.01	1.89ns	10261.19	2013.36**	85.70	52.05**	5451.79	1211.66**
AxBxC	6	0.04	20.79**	0.01	1.44ns	1785.40	175.16**	292.04	88.69**	615.57	68.40**
Hata	24	117.22		2.56		2728.85		1927.25		3848.34	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.31. Tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
<i>Çeşit</i> ²										
KB	12	42.18±4.28 a	1.37±0.09 a	1.80±0.18 b	0.16±0.02 a	0.77±0.12 a	0.004±0.004 a	541.47±42.21 a	82.37±19.67 a	458.02±47.28 a
A	12	41.48±3.58 b	1.32±0.05 b	1.95±0.16 a	0.14±0.02 b	0.70±0.09 b	0.007±0.006 a	492.12±34.62 b	80.57±19.19 b	427.64±32.01 b
<i>Ön İşlem</i> ³										
D	8	41.63±3.48 b	1.34±0.06 b	1.78±0.19 c	0.15±0.02 b	0.72±0.10 b	0.004±0.004 a	539.28±45.86 a	83.04±23.08 a	443.85±48.56 b
US	8	40.55±3.87 c	1.32±0.06 c	1.88±0.14 b	0.15±0.02 b	0.73±0.14 b	0.006±0.005 a	505.25±47.55 b	78.29±20.52 b	435.04±51.23 c
Lp	8	43.28±4.93 a	1.38±0.10 a	1.96±0.15 a	0.16±0.02 a	0.76±0.15 a	0.008±0.005 a	505.85±42.82 b	83.08±24.87 a	449.60±59.75 a
<i>Oran</i>										
0	6	36.69±0.01 d	1.28±0.01 d	1.80±0.01 c	0.14±0.01 c	0.56±0.01 d	0.010±0.001 a	475.18±0.36 d	48.82±0.30 d	363.73±0.23 d
10	6	39.99±2.36 c	1.32±0.05 c	1.86±0.17 b	0.15±0.02 bc	0.75±0.09 c	0.002±0.001 b	496.81±38.27 c	77.87±13.12 c	446.39±39.00 c
20	6	44.01±2.26 b	1.37±0.07 b	1.87±0.21 b	0.16±0.02 b	0.78±0.10 b	0.006±0.002 ab	537.29±36.22 b	87.92±20.31 b	464.75±50.90 b
30	6	46.58±1.93 a	1.41±0.07 a	1.98±0.26 a	0.18±0.02 a	0.85±0.08 a	0.004±0.001 b	557.90±37.90 a	111.28±9.02 a	496.45±33.67 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri.

Benzer şekilde Ikeda ve ark. (2005) bir çalışmalarında, *in vitro* enzimatik sindirime tabi tutulan pişmiş karabuğday örneğinde, sindirimle birlikte örneklerdeki K, Cu ve Mn minerallerinin çözünebilirliklerinin sırasıyla yaklaşık olarak %70, 60 ve 45 oranlarında artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada minerallerin vücuttaki intestinal süreçteki çözünebilirliklerinin, minerallerin biyoyararlılığı ile yakından ilişkili olduğu belirtilerek, bunların günlük diyetteki mineral madde alımına olan katkısına ve önemine dikkat çekilmiştir. Yine bu çalışmanın sonuçlarına benzer şekilde Galan ve ark. (2013), ekstrüde atıştırılmalıklarda, amarant ikamesiyle birlikte örneklerin diyaliz edilebilir Fe ve Zn içeriklerinin arttığını, bu artışın amaranttaki Fe ve Zn minerallerinin biyoyararlılıklarının yüksek olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ek olarak, tarhana örnekleri ile hammaddelerin ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri arasındaki farklılıkların, ikame edilen yalancı tahılların endojen fitaz aktiviteleri ile fermantasyon sırasındaki ekzojen enzim aktivilerine katkıları arasındaki farklılıktan kaynaklandığı da söylenebilir (Castro-Alba ve ark., 2019).

Çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından değerlendirildiğinde, *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin ekstrakte edilebilir Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Mg ve K içeriklerinin diğer örneklerden daha yüksek bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.31). D ve Lp örneklerinin Mg içerikleri ise birbirinden istatistiksel olarak önemli derecede farklı bulunmamıştır ($p > 0.05$). Buna karşın, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir Ca, Mn ve K içerikleri ile dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının kullanıldığı örneklerin Fe içeriklerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde düşük olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). D ve US örneklerinin ekstrakte edilebilir Cu ve Zn içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). Örneklerin ekstrakte edilebilir Se içeriklerinde ise uygulanan çimlendirme ön işlemlerinin istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmadığı dikkat çekmektedir ($p > 0.05$). D tarhana örneklerinin Na içerikleri diğer örneklerden istatistiksel olarak yüksek bulunurken ($p < 0.05$), US ve Lp örneklerinin Na içerikleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$).

Örneklerin ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri üzerinde, *L. plantarum* inokülasyonunun genel olarak pozitif bir etki gösterdiği dikkat çekmektedir. Castro-Alba ve ark. (2019) bir çalışmalarında, yalancı tahıl unlarının mineral erişilebilirliği ve tahmini biyoyararlılığının artırılmasında, spontane ve *L. plantarum* starter kültürü kullanılan

fermantasyonun etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, her koşulda fermentasyonla birlikte fitaz aktivitesine bağlı olarak örneklerin mineral biyoyararlılığının arttığı tespit edilmiştir. Fakat *L. plantarum* starter kültürü kullanılan örneklerin mineral biyoyararlılığının, spontane şekilde fermente edilen örneklerden daha yüksek bulunduğu dikkat çekmiştir. Fermentasyon sırasında, pH değerlerindeki değişimlerin bitkisel endojen ve mikrobiyal ekzojen fitaz aktivitelerini etkilediği belirtilerek, spontane şekilde fermente edilen örneklerdeki fitat degradasyonunun sadece endojen fitaz aktivitesinden kaynaklandığı öne sürülmüştür. Buna karşın, starter kültür kullanılarak fermente edilen yalancı tahıl unlarında hem bitkisel endojen hem de mikrobiyal ekzojen fitaz aktivitesinin etkili olduğu, bu nedenle *L. plantarum* kullanılan örneklerin mineral erişilebilirlik değerleri ile tahmini biyoyararlılığının daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla, *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilen yalancı tahıl unlarının ikame edildiği tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral içeriklerinin genel olarak yüksek bulunmasının, hem yalancı tahılların bünyesinde bulunan hem de *L. plantarum* inokülasyonu ile sağlanan endojen ve ekzojen fitaz enzim aktivitesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Fermentasyon işleminin genel olarak, pH değerlerindeki değişimlerle birlikte fitaz aktivitesini etkileyen, böylece fitatların parçalanmasını ve minerallerin biyoyararlılığını artıran bir proses olduğu unutulmamalıdır (Castro-Alba ve ark., 2019). Fermentasyon sürecindeki asitlik artışı da minerallerin çözünürlüğünü, dolayısıyla biyoyararlılığını artırıcı etki göstermektedir (Lopez ve ark., 2000). Fermentasyonda maya kullanımının fazla, pH değerlerinin düşük ve fermentasyon süresinin uzun olması, fitik asitin daha etkin bir şekilde bozunmasını sağlayarak minerallerin bulunabilirliğini artırmaktadır (Bilgiçli ve ark., 2006a). Ayrıca literatürde, çimlendirme ve fermentasyon proseslerinin kombine edilmesi durumunda minerallerin çözünürlüğünü artırıcı ve biyoyararlılığını geliştirici etkilerinin, mevzu bahis işlemlerin tek tek uygulanmasından daha etkili olduğu belirtilmiştir (Layla ve ark., 2023). Dolayısıyla tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri ile hammaddeler arasındaki farklılıkların, uygulanan ön işlemlerin pH, asitlik ve çimlenme durumunda meydana getirdiği farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

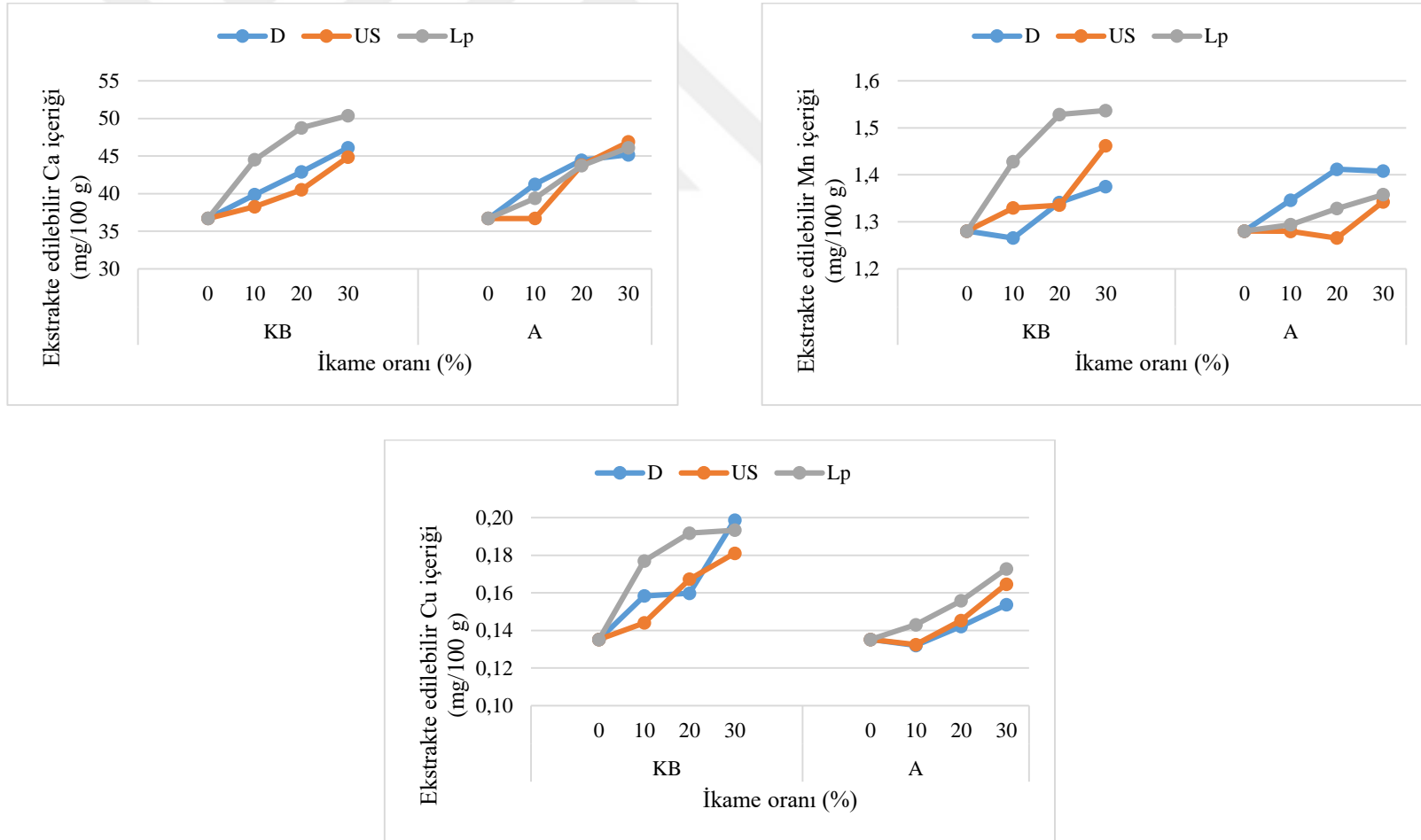
Tarhana örneklerinde, Se hariç diğer tüm HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde çözünürlüklerinin, ikame oranındaki artışla beraber istatistiksel olarak önemli şekilde arttığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.31). Kontrol örneğinin ekstrakte edilebilir Se içeriği diğer ikame oranına sahip örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunurken ($p < 0.05$), diğer ikame oranlarına sahip örneklerin Se

içeriklerinde bir dalgalanma olduğu dikkat çekmektedir. Buna karşın, %10, 20 ve 30 ikame oranına sahip örneklerin ekstrakte edilebilir Se içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemli bulunmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Hammaddelere ait ekstrakte edilebilir mineral madde içerikleri de göz önüne alındığında (Çizelge 4.5), ikame oranındaki artışla beraber tarhana örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde çözünürlüklerinin artması beklenen bir sonuçtur.

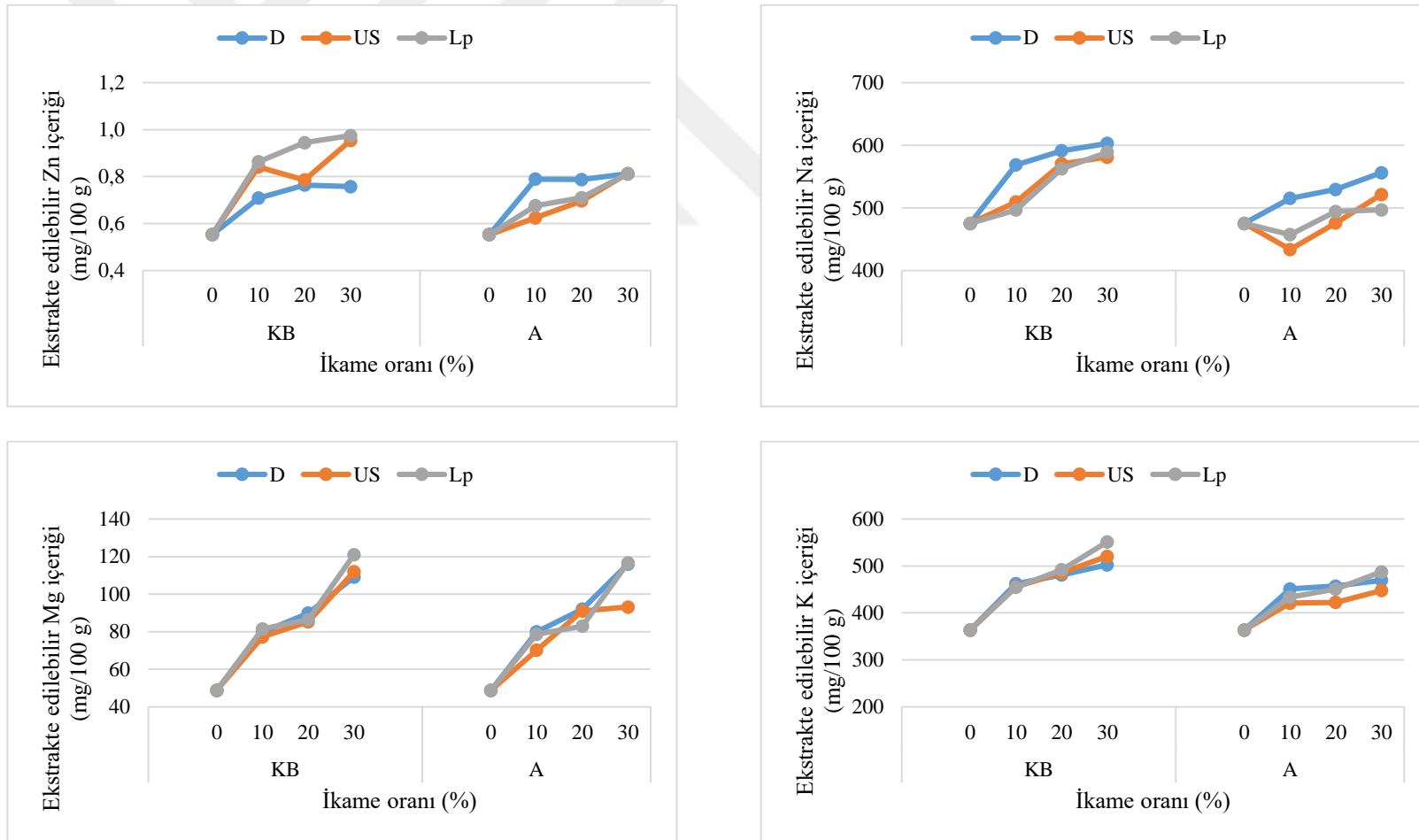
Tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Ca, Mn ve Cu içerikleri üzerinde “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.18’de gösterilmektedir. Tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Zn, Na, Mg ve K içerikleri üzerinde “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.19’da gösterilmektedir.

Biyoyararlılık; gıdaların mekanik olarak parçalanmasına, enzimatik hidrolizine ve besin maddelerinin sindirim kanalında emilebilirliğine bağlı bir kavram olduğu için, besin maddelerinin biyoyararlılıklarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; besin maddelerinin bulunduğu matriks tipi, kimyasal bağlanma şekli, diğer gıdalar ve bunların bileşenlerinin emilimi artırma veya engellemedeki etkileşimleri, emilim sonrası metabolizasyon ve konakçının sağlık, genetik, yaş ve yaşam tarzı durumu olarak sıralanabilir (Tharifikhan ve ark., 2021). Nkhata ve ark. (2018), çimlendirme işleminin tahıl ve baklagillerdeki endojen fitaz aktivitesini önemli derecede artırdığını, böylece mineralleri bağlayan fitat komplekslerinin parçalanarak minerallerin bulunabilirliğini ve biyoyararlılığını artırdığını bildirmişlerdir. Fitatların yanı sıra; saponinler, tanenler, lektinler, enzim inhibitörleri ve polifenoller gibi birçok antibesinsel faktörler de metal şelatlama ve enzim inhibisyon aktiviteleriyle, minerallerle çözünmeyen tuzlar oluşturmakta ve biyoyararlılıklarında önemli azalmalara neden olmaktadır (Tharifikhan ve ark., 2021). Literatürde bu konuda yapılmış birçok çalışma bulunmakta olup çimlendirmeye; soya fasulyesi (Dong ve Saneoka, 2020), sorgum (Keyata ve ark., 2021), millet (Tharifikhan ve ark., 2021), keten tohumu (Vincenzo Pimenta ve ark., 2021) ve chia tohumunda (Salgado ve ark., 2022) minerallerin biyoyararlılığının artması, bu konudaki yalnızca birkaç örnektir. Thakur ve ark. (2021) bir çalışmalarında karabuğday, amarant ve kinoaya uygulanan çimlendirme işlemiyle, örneklerdeki fitik asit ve tanenlerin parçalanarak, minerallerin bulunabilirliğinin arttığını bildirmişlerdir.

Dolayısıyla bu çalışmada, tarhana örneklerindeki çimlendirilmiş yalancı tahıl oranının artmasıyla örneklerin ekstrakte edilebilir mineral içeriklerinin artmasının, fitaz aktivitesi ve fitatların parçalanmasındaki artışla doğru orantılı olarak artmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.18. Tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Ca, Mn ve Cu içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu



Şekil 4.19. Tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Zn, Na, Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu

Bilgiçli ve ark. (2006a) bir çalışmalarında kontrol tarhana örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Ca miktarlarının %79.1-%80.2 arasında, Mg miktarlarının %85.2-%86.4 arasında, Zn miktarlarının %66.7-%73.9 arasında, K miktarlarının ise %90.7-%92.6 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ertop ve ark. (2019) ise farklı bakteri ve mayalarla fermente edilen dokuz farklı yaş tarhana örneğinin mineral sindirilebilirlik değerlerinin %67.22 ile %88.88 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Başka bir çalışmada ise karabuğday, esmer pirinç, kırmızı mercimek, fasulye, mısır ve nohut unundan üretilen tarhana örneklerinin *in vitro* mineral sindirilebilirlik değerlerinin sırasıyla %71.49, 73.83, 68.63, 58.62, 78.26 ve 69.44 olarak bulunduğu bildirilmiştir (Atasoy ve Hendek Ertop, 2021). Tarhana örneğine benzer şekilde, Ganguly ve ark. (2022) bir çalışmalarında, kompozit süt-tahıl substratı örneğinin HCl ile ekstrakte edilebilir Ca, Fe, Mg ve Zn miktarlarının fermantasyon işleminden sonra sırasıyla %32, 25, 64 ve 17'den %73, 50, 83 ve 65'e yükseldiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, literatürde bildirilen tüm bu çalışmalarla benzerlik gösterdiği söylenebilir.

4.2.6. Sindirilebilirlik analiz sonuçları

Tarhana üretimi en genel haliyle; hammaddelerin karıştırılarak hamur haline getirilmesi, elde edilen tarhana hamurunun fermente edilmesi, kurutulması ve öğütülmesi olarak gerçekleştirilir. Fermantasyondaki laktik asit bakterileri ve maya faaliyeti tarhanaya asidik ve ekşi bir tat kazandırmaktadır. Bunun yanında düşük pH (3.8–4.2) ve nem (%6–9) değerleri, üretim sırasında patojen mikroorganizma gelişimini engellemektedir (Herken ve Çon, 2014). Laktik asit bakterileri ve maya faaliyetleri tarhanada ayrıca; protein, karbonhidrat ve lipidlerin sindirim ve hidrolizine olanak tanımakta, böylece ürünün sindirilebilirlik özellikleri gelişmektedir (Bilgiçli ve ark., 2006a). Proteinler, mineraller, organik asitler, serbest aminoasitler, vitaminler gibi pek çok besin bileşenince zengin olması ve bu besin maddelerinin gelişmiş sindirilebilirlik özellikleriyle tarhana, insan sağlığı açısından değerli bir gıda olarak görülmektedir (Atasoy ve Hendek Ertop, 2021).

Tarhana örneklerinin bazı sindirilebilirlik analizlerine ait sonuçlar Çizelge 4.32'de özetlenmektedir. Analiz sonuçlarına göre örneklerin GS değerlerinin %88.84 ile %91.98 arasında, KSO değerlerinin ise %60.71 ile %82.46 arasında değişim gösterdiği

görülmüştür. Tarhana örneklerinde, en düşük sindirilebilir nişasta içeriği kontrol örneğinde %52.71 olarak tespit edilirken, en yüksek sindirilebilir nişasta içeriği ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte %72.56 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.32. Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	GS ⁴ (%)	KSO ⁵ (%)	Sindirilebilir nişasta (%)
Kontrol		0	91.93±0.01	60.71±3.76	52.71±0.30
		10	91.81±0.01	69.86±2.28	55.19±0.16
	D	20	91.42±0.01	73.99±2.27	60.41±0.19
KB		30	88.84±0.04	76.40±2.34	61.89±0.08
		10	91.21±0.01	71.44±2.74	61.55±0.54
		20	90.70±0.01	75.55±0.46	67.28±0.64
	US	30	90.68±0.01	80.58±1.05	72.56±0.96
		10	91.68±0.01	70.20±2.31	58.18±0.32
		20	90.93±0.01	73.07±0.01	64.11±0.01
A	Lp	30	90.58±0.01	79.16±0.44	65.44±0.27
		10	91.14±0.01	68.69±2.34	53.57±2.64
		20	90.68±0.01	73.42±1.04	56.42±1.52
	D	30	89.90±0.01	77.00±0.74	59.11±0.71
		10	91.98±0.01	76.47±2.35	52.97±2.93
		20	91.73±0.01	78.63±2.42	55.45±0.70
US	30	90.32±0.01	81.12±0.35	61.27±4.62	
	10	91.06±0.01	75.24±0.47	53.08±2.86	
	20	90.25±0.01	79.34±0.18	56.31±0.80	
Lp	30	89.74±0.01	82.46±0.64	59.81±0.59	

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ⁴D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁵US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁶Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁷GS: Gastrik sindirilebilirlik, ⁸KSO:Kül sindirilebilirlik oranı.

Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.33'te gösterilmektedir. Tarhana örneklerinin GS değerleri üzerinde tüm faktör ve interaksiyonların $p<0.01$ düzeyinde önemli bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Örneklerin KSO değerleri üzerinde oran faktörünün etkisinin $p<0.01$ düzeyinde, ön işlem ve çeşit faktörlerinin etkilerinin ise $p<0.05$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. KSO değerleri üzerinde tüm interaksiyonların etkilerinin ise önemsiz bulunduğu görülmüştür ($p>0.05$). Varyans analizi sonucunda, tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri üzerinde “ön işlem x oran” ile “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonlarının etkilerinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$). Örneklerin sindirilebilir nişasta içerikleri

üzerinde diğer tüm faktör ve interaksiyonların etkilerinin ise $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.33. Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	GS ²		KSO ³		Sindirilebilir nişasta	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	1.14	2440.75**	84.85	4.52*	75.57	8.45**
Çeşit (B)	1	0.09	386.28**	40.83	4.35*	286.36	64.01**
Oran (C)	3	24.59	35135.11**	2358.93	83.71**	787.24	58.66**
AxB	2	1.62	3471.46**	31.56	1.68ns	68.42	7.65**
AxC	6	2.44	1745.36**	32.13	0.57ns	44.21	1.65ns
BxC	3	0.05	78.07**	17.91	0.64ns	106.99	7.97**
AxBxC	6	3.70	2639.29**	22.45	0.40ns	24.24	0.90ns
Hata	24	6006.61		11.72		12.98	

¹* $p<0.05$ düzeyinde önemli. ** $p<0.01$ düzeyinde önemli. ns: önemsiz. ²GS: Gastrik sindirilebilirlik, ³KSO:Kül sindirilebilirlik oranı.

Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.34'te verilmektedir.

Çizelge 4.34. Tarhana örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	GS ⁴ (%)	KSO ⁵ (%)	Sindirilebilir nişasta (%)
<i>Çeşit</i> ²				
KB	12	91.14±0.85 a	71.03±7.15 b	60.39±0.34 a
A	12	91.05±0.82 b	72.87±8.14 a	55.51±1.52 b
<i>Ön İşlem</i> ³				
D	8	90.96±1.03 c	70.10±6.55 b	56.50±0.74 b
US	8	91.31±0.63 a	73.15±8.12 a	59.56±1.37 a
Lp	8	91.02±0.75 b	72.61±8.03 ab	57.79±0.68 ab
<i>Oran</i>				
0	6	91.94±0.01 a	60.70±3.76 d	52.71±0.30 d
10	6	91.48±0.36 b	71.98±3.62 c	55.76±1.57 c
20	6	90.95±0.49 c	75.67±2.87 b	60.00±0.64 b
30	6	90.01±0.62 d	79.45±2.46 a	63.34±1.20 a

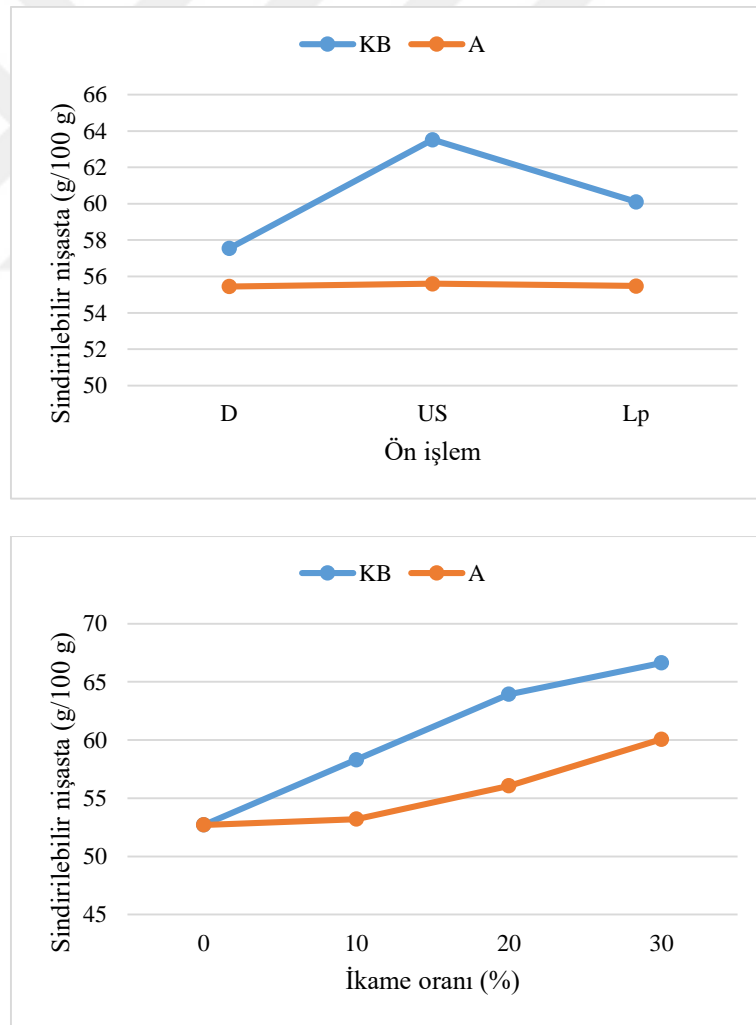
¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁴GS: Gastrik sindirilebilirlik, ⁵KSO:Kül sindirilebilirlik oranı.

Test sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, KB örneklerinin GS değerlerinin, A örneklerinin ise KSO değerlerinin istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek olduğu görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.34). Tarhana örneklerinin dirençli

ve toplam nişasta içeriklerine benzer şekilde (Çizelge 4.16), çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesi ile üretilen tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri de, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$).

Hammaddelere ait sindirilebilirlik analiz sonuçlarında, çimlendirilmiş yalancı tahıllara ait GS değerleri arasındaki deskriptif farklılıkların önemsiz bulunduğu, KSO değerlerinin ise birbirine oldukça benzer olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6). Benzer şekilde, tarhana örneklerinin GS ve KSO değerleri arasındaki farklılıkların ise oldukça küçük olduğu dikkat çekmektedir. Tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerinin ise hammadde sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu söylenebilir (Çizelge 4.6).

Tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri üzerinde “*ön işlem x çeşit*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.20’de gösterilmektedir.



Şekil 4.20. Tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri üzerinde etkili “*ön işlem x çeşit*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonları

Grafiklerde, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örnekler yüksek bulunduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.20). Örnekler arasındaki bu farklılık, hammadde olarak kullanılan çimlendirilmiş karabuğday ve amarantın sindirilebilir nişasta içerikleri arasındaki farklılığa atfedilebilir. Benzer şekilde, literatürde yer alan çalışmalarda da karabuğdayın daha yüksek sindirilebilir nişasta içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Cornejo ve ark., 2019; Molska ve ark., 2022).

Çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından değerlendirildiğinde, US örneklerinin GS ve KSO değerlerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önem arz edecek şekilde daha yüksek, D örneklerinin GS ve KSO değerlerinin ise daha düşük olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.34). Ek olarak, US ve Lp örneklerinin KSO değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu söylenebilir ($p>0.05$). Sindirilebilir nişasta değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından incelendiğinde ise sonuçların toplam nişasta içeriklerine benzer bir eğilimde değişim gösterdiği dikkat çekmektedir. D örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri diğer örneklerden düşük bulunurken, ultrason uygulamasına sahip örneklerin sindirilebilir nişasta içerikleri ise diğer örneklerden yüksek bulunmuştur.

Hammaddelere ait GS sonuçlarında, uygulanan ön işlemler açısından örnekler arasında istatistiksel bir farklılık bulunmasa da deskriptif olarak US örneklerine ait değerlerin daha yüksek D örneklerine ait değerlerin ise daha düşük olduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.6). Hammadde ve tarhana örneklerinin GS değerleri arasındaki bu istatistiksel farklılığın, üründe uygulanan fermantasyon işleminden kaynaklandığı söylenebilir. Literatürde, fermantasyonun protein sindirilebilirliğini etkili bir şekilde artırdığı bildirilmiştir (Bilgiçli ve Türker, 2004; Ogodo ve ark., 2017). Tarhana örneklerinin hammaddelerden oldukça yüksek olan GS değerleri bu hipotezi kanıtlar nitelikte olup, uygulanan ön işlemlere göre protein yapısında gerçekleşen yapısal değişikliklerin, tarhana örneklerinin GS değerlerine istatistiksel olarak önemli farklılıklar şeklinde yansıdığı söylenebilir.

Bu çalışmadan elde edilen GS sonuçlarına benzer şekilde literatürde, ultrason uygulamasının filizlendirilmiş gıdaların (Liu ve ark., 2021), sorgum filizlerinin (Hassan ve ark., 2020) ve hayvansal kaynaklı proteinlerin (Bhat ve ark., 2022), protein sindirilebilirlik değerlerini artırıcı etki gösterdiği bildirilmiştir. Protein sindirilebilirliğindeki artışın, ultrasonikasyonun proteinlerin mikro yapısal özelliklerini

değiştirerek, sindirim enzimleri ve aktif bölgeler arasındaki etkileşimleri kolaylaştırması sonucu meydana geldiği öne sürülmüştür (Bhat ve ark., 2022). Bunun yanı sıra ultrason uygulamasının, tahıl ve baklagil tohumlarındaki sınırlayıcı aminoasitler olan GABA, lisin ve metiyonin içeriklerini artırıcı, alerjik protein, tripsin inhibitörü gibi antibesinsel ve sindirilemeyen proteinleri ise azaltıcı etki gösterdiği bildirilmiştir (Liu ve ark., 2021). Ultrason uygulamasının sağladığı tüm bu pozitif etkilerin yanında, işlem yoğunluğunun artmasıyla ultrasonikasyonun protein sindirilebilirliği üzerinde olumsuz bir etki gösterebileceği de belirtilerek, süreç optimizasyonunun önemine de dikkat çekilmiştir (Bhat ve ark., 2022).

L. plantarum inokülasyonunun tarhana örneklerinin GS değerleri üzerindeki pozitif etkisi ise mikrobiyal yükün protein sindirilebilirliğinden sorumlu olabilecek proteolitik enzimleri üretme yeteneğine atfedilebilir. İnokülasyon ile meydana gelen enzim aktivitesi ve protein parçalanmasının, fermantasyon sürecindeki düşük pH koşullarının da etkisiyle yüksek protein sindirilebilirlik değerlerinin elde edilmesine neden olduğu söylenebilir (Ogodo ve ark., 2017).

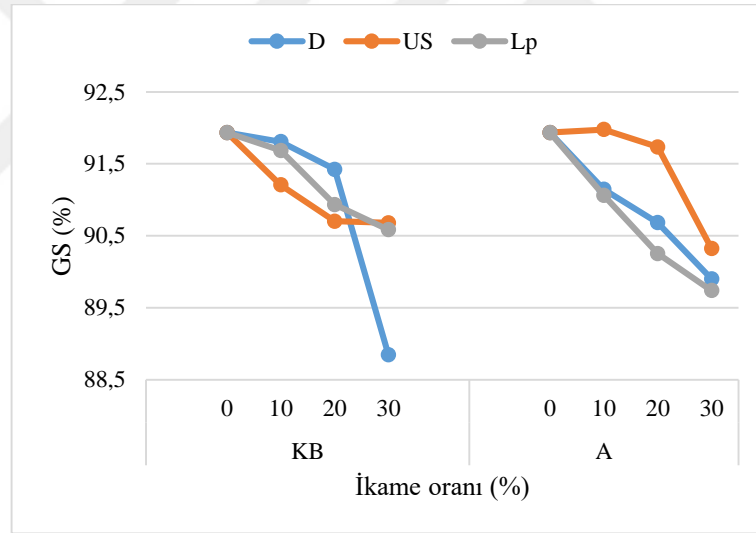
Tarhana örneklerinde, ultrason ve bakteriyel inokülasyon işlemlerinin KSO ve sindirilebilir nişasta değerleri üzerindeki pozitif etkisinin, hammadde sonuçlarıyla uyumlu olduğu söylenebilir (Çizelge 4.6). Fitik asit minerallerle kompleks oluşturarak minerallerin biyoyararlılığını düşüren antibesinsel bir maddedir. Fitik asiti degrade edici özelliğiyle bilinen fitaz enzimi ise laktik asit bakterilerinin en önemli metabolitlerinden birisi olarak sayılabilmektedir (Ertop ve ark., 2019). Ön işlem faktörü açısından, tarhana örneklerinin fitik asit içerikleri arasındaki fark her ne kadar önemsiz bulunmuş olsa da (Çizelge 4.16), Lp örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral içeriklerinin genel olarak diğer örneklerden yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.31). Dolayısıyla, *L. plantarum* inokülasyonunun hammaddelerde fitaz enziminin miktar ve aktivitesini, minerallerin ekstrakte edilebilirliğini ve KSO değerlerini artırdığı, bunun da tarhana örneklerine ait sonuçlara doğrudan yansıdığı söylenebilir.

Suresh ve ark. (2021) pirinç kepeğinde ultrason uygulamasının etkilerini araştırdıkları bir çalışmada, ultrason işlemiyle örneklerde fitaz enzim üretiminin artarak fitik asit içeriklerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Lp örneklerine benzer şekilde, ultrason uygulamasına tabi tutulmuş hammaddelerde artan fitaz enzim aktivitesiyle beraber KSO değerlerinin artış gösterdiği, bunun da doğrudan tarhana örneklerinin analiz sonuçlarına yansıdığı söylenebilir.

US ve Lp örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerinin yüksek bulunması ise muhtemelen, uygulanan bu işlemlerin örneklerdeki enzim aktivitelerini artırarak nişasta hidrolizini hızlandırmasından kaynaklanmaktadır (Kaur ve Gill, 2019; Xia ve ark., 2020; Liu ve ark., 2021; Estivi ve ark., 2022a).

Oran faktörü açısından, ikame oranındaki artışla beraber tarhana örneklerinin GS değerleri istatistiksel olarak önemli şekilde azalma gösterirken, KSO değerleri önemli derecede artmıştır ($p<0.05$) (Çizelge 4.34). Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, ikame oranındaki artışla beraber tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerinin de istatistiksel olarak önemli derecede arttığı görülmektedir ($p<0.05$).

Tarhana örneklerinin GS değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.21’de gösterilmektedir. İkame oranındaki artışla beraber tarhana örneklerinin GS değerlerinin önemli şekilde azaldığı interaksiyon grafiğinde de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.21. Tarhana örneklerinin GS değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu

Hammaddelerin, özellikle çimlendirilmiş karabuğday unlarının, GS değerleri göz önüne alındığında (Çizelge 4.6), bu azalmanın beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir. GS değerlerindeki bu azalma, hammaddelerin proteaz içerikleri arasındaki farklılıklara atfedilebilmekle beraber, gelecek çalışmalarda hammadde ve tarhana örneklerinin enzim içeriklerinin araştırılması önerilmektedir (Bilgiçli ve ark., 2006a; 2006b). Literatürde protein sindirilebilirliğinin çeşitli antibesinsel madde içeriklerinden etkilendiği, fermantasyonun ise antibesinsel faktörleri azaltarak protein sindirilebilirliği üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Herken ve Çon, 2014). Dolayısıyla, tarhana

örneklerinin GS değerlerinin hammaddelerden oldukça yüksek bulunması üretimdeki fermantasyon aşamasına atfedilebilmektedir. İkame oranıyla birlikte her ne kadar GS değerlerinde bir azalma görülse de protein biyoyararlılığı açısından oldukça üstün özelliklere sahip bir son ürün elde edildiği söylenebilmektedir.

Hammadde sonuçları göz önüne alındığında, ikame oranına bağlı olarak, tarhana örneklerinin KSO ve sindirilebilir nişasta değerlerindeki değişimlerin beklenen sonuçlar olduğu söylenebilir (Çizelge 4.6). Benzer şekilde Bilgiçli ve Türker (2004), tarhanalarda artan oranlarda malt ikamesi ile örneklerin KSO değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir. Yine benzer şekilde, Atasoy ve Hendek Ertop (2021) karabuğday tarhanasının kül sindirilebilirliğinin fasulye, mısır ve nohut tarhanalarından, toplam mineral sindirilebilirliklerinin ise kırmızı mercimek, fasulye, mısır ve nohut tarhanalarından yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Amiloz ve amilopektinin moleküler ağırlığı, nişastanın granüler yapısındaki fiziksel organizasyonu, amilopektin moleküllerinin oluşturduğu kümelerin zincir uzunluğu dağılımı gibi nişasta sindirilebilirliğinde önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla tarhananın *in vitro* nişasta sindirilebilirliği, amiloz ve amilopektin içeriğine ve moleküler kütlelerine bağlı olarak değişim gösterebilir (Şimşek ve ark., 2014). Bu çalışmada, ikame oranındaki artışla beraber sindirilebilir nişasta içeriğinde görülen artışın, ikame edilen hammaddelerin amiloz ve amilopektin moleküllerinin yapısal özellikleri arasındaki farklılıktan kaynaklanıyor olabileceği söylenebilir. Literatürde ayrıca, fermantasyonun nişastanın sindirim enzimlerine daha kolay ulaşmasını sağlayarak, nişasta sindirilebilirliğini artırıcı etkisine dikkat çekilmiştir (Ogodo ve ark., 2017). Bu bilgi ışığında, sindirilebilir nişasta içeriğinde görülen artışın bir diğer nedeninin ise ikame edilen çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının fermantasyon sürecinde sindirim enzimleriyle etkileşiminin daha fazla olduğu söylenebilir.

Bilgiçli ve Türker (2004) buğday ununun sindirilebilir protein içeriğini %7.85 olarak tespit ettikleri bir çalışmalarında, üç tekerrürlü kontrol tarhana örneğinin sindirilebilir protein içeriklerini %13.374, %14.643 ve %14.636 olarak bulmuşlardır. Bahsedilen bu çalışmada buğday unu ve kontrol tarhana örneklerinin protein içeriklerinin ise sırasıyla %11.59, %15.019, %15.980 ve %16.012 olduğu bildirilmiştir. Bilgiçli ve ark. (2006a) bir çalışmalarında buğday ununun *in vitro* protein sindirilebilirlik değerini %72.18, kontrol tarhana örneğinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerini ise %91.86 olarak tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise buğday ununun *in vitro* protein sindirilebilirlik değeri %67.7 olarak bulunurken, üç tekerrürlü olarak üretilen kontrol

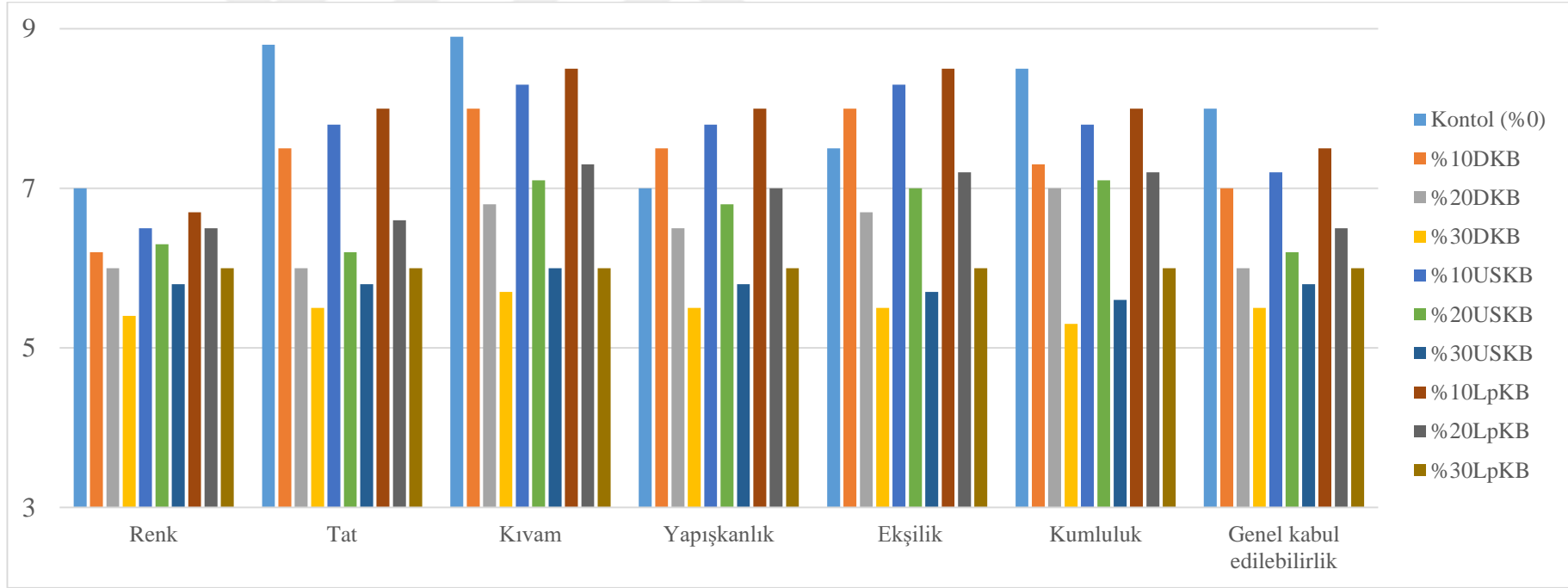
tarhana hamurunun *in vitro* protein sindirilebilirliklerinin %70.0 ile %72.5 arasında değişim gösterdiği görülmüştür. Yine bahsedilen bu çalışmada üç tekerrürlü tarhana örneklerinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerlerinin ise %87.8 ile %94.8 arasında değiştığı tespit edilmiştir (Bilgiçli ve ark., 2006b).

Bilgiçli ve Türker (2004) bir çalışmalarında üç tekerrürlü olarak üretilen kontrol tarhana hamurlarının sindirilebilir kül içeriklerini %1.146, %1.198 ve %1.171 olarak, kül sindirilebilirlik oranlarını ise %64.047, %66.227 ve %65.392 olarak tespit etmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada üç tekerrürlü olarak üretilen kontrol tarhana örneklerinin sindirilebilir kül içerikleri %1.428, %1.581 ve %1.588 olarak bulunurken, kül sindirilebilirlik oranlarının %80.064, %81.406 ve %81.053 olarak bulunduğu bildirilmiştir. Atasoy ve Hendek Ertop (2021) bir çalışmalarında, karabuğday ununun sindirilebilir kül içeriği ve kül sindirilebilirlik oranını 1.49 g/100 g ve %66.73 olarak, karabuğday unundan üretilen tarhana örneğine ait bu değerleri ise sırasıyla 3.29 g/100 g ve %71.49 olarak tespit etmişlerdir. Şahin ve Ertop (2023), tarhana ikameli çöreklerin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırdıkları bir çalışmalarında, siyez içerikli tarhanaların ikame edilmesi ile üretilen 6 farklı çöreğin kül sindirilebilirlik oranlarının %60.72 ile %70.94 arasında, buğday içerikli tarhanaların ikame edilmesi ile üretilen 6 farklı çöreğin kül sindirilebilirlik oranlarının ise %56.58 ile %64.38 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Tüm bu çalışmaların sonuçları doğrultusunda, bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu yorumu yapılabilir.

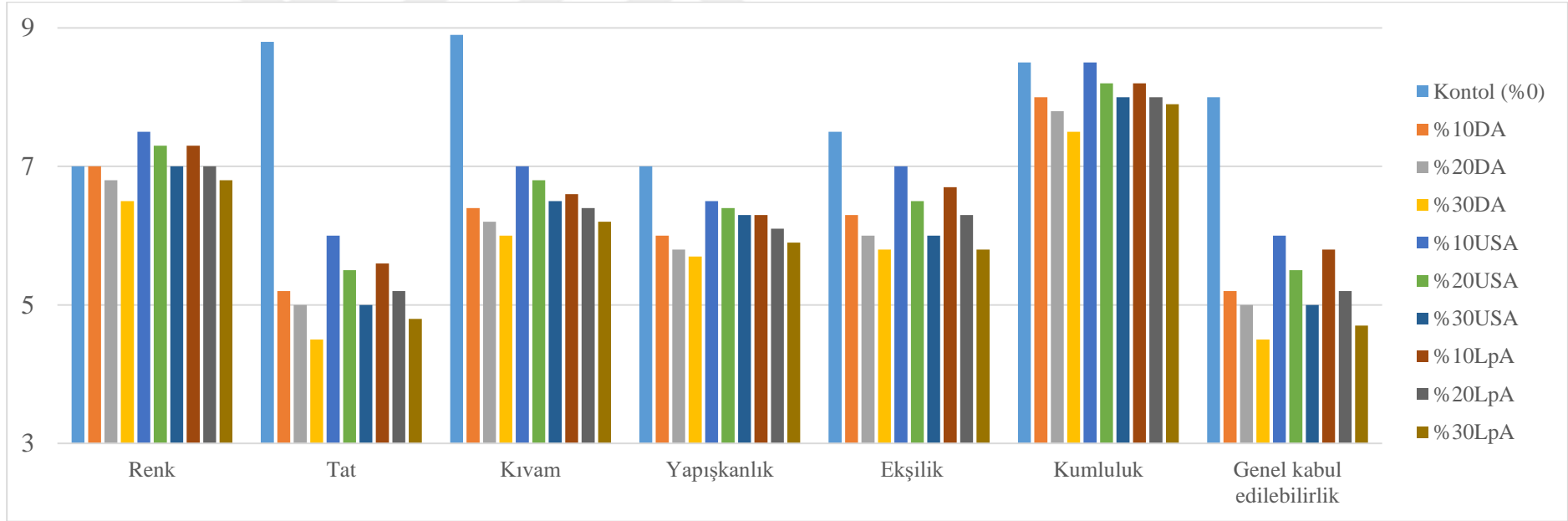
Literatürde çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli tarhana üretimine dair herhangi bir çalışmaya rastlanmaması bu çalışmanın orjinalliğini ortaya koymakta olup, bu çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda örneklerin nişasta ve enzim içeriklerinin gelecek çalışmalarda daha detaylı incelenmesi araştırmaya değer görülmektedir.

4.2.7. Duyusal analiz sonuçları

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip tarhana örneklerine ait duyusal analiz sonuçları Şekil 4.22’de, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin duyusal analiz sonuçları ise Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin duysal analiz sonuçları



Şekil 4.23. Çimlendirilmiş amarant unu ikameli tarhana örneklerinin duyu analizi sonuçları

Renk puanları değerlendirildiğinde, en yüksek renk puanının kontrol örneğine ait olduğu görülmüştür (Şekil 4.22; 4.23). Bununla birlikte çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerin renklerinin çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilenlere göre daha çok beğeni kazandığı görülmektedir. US ve Lp örneklerinin renk puanları, D örneklerinden yüksek bulunmuştur. İkame oranındaki artışla beraber tarhana örneklerinin duysal renk puanlarında bir azalma tespit edilmiştir.

Şekillerde, en yüksek tat puanına sahip örneğin kontrol örneği olduğu ve KB örneklerinin tat puanlarının A örneklerinden yüksek bulunduğu görülmektedir (Şekil 4.22; 4.23). D örneklerinin tat puanları US ve Lp örneklerinden düşük bulunmuştur. İkame oranındaki artışın tat puanları üzerindeki olumsuz etkisi şekillerde açıkça görülmektedir. Bununla beraber tüm örneklerin tat puanları duysal olarak kabul edilebilir bulunmuştur.

Tat parametresine benzer şekilde, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip örnekler ile US ve Lp tarhana örneklerinin kıvam puanları diğer örneklerden yüksek bulunmuştur (Şekil 4.22; 4.23). İkame oranındaki artış, kıvam puanlarında bir azalmaya neden olurken, %10 ve %20 oranlarında çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip örneklerin kıvam puanlarının kontrol örneğinden yüksek bulunduğu görülmüştür.

Tarhana örneklerinde yapışkanlık puanları açısından yapılan değerlendirmede, çimlendirilmiş karabuğday unu kullanımının örneklerin yapışkanlığını olumlu yönde etkilediği görülmüştür (Şekil 4.22; 4.23). Yapışkanlık açısından da en çok beğeni kazanan örnek kontrol örneği olmuştur. Çimlendirme ön işlemi olarak dezenfektan kullanımı ve yüksek oranlarda (>%20) çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu kullanımı yapışkanlık değerlerini olumsuz etkilemiştir.

Ekşilik puanları değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle, örneklerin ekşiliğinin azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.22; 4.23). İkame oranları arttıkça örneklerin ekşilik puanlarının azaldığı, %30 ikame oranlarında ise örneklerin duysal olarak kabul edilebilirliğinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

En iyi kumluluk özellikleri, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerde tespit edilmiştir (Şekil 4.22; 4.23). US ve Lp örneklerinin kumluluk puanları D örneklerinden yüksek bulunurken, puanlar arasındaki farkın oldukça düşük olduğu görülmüştür. %10 ve %20 çimlendirilmiş amarant unu ikamesine sahip örnekler ile kontrol örneğinin kumluluk puanları oldukça yakın bulunurken, ikame oranındaki artış kumluluk puanlarının azalmasına neden olmuştur.

Genel kabul edilebilirlik açısından en beğenilen tarhananın, kontrol örneği olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.22; 4.23). Kontrolde sonra en çok beğeni kazanan örnekler

çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örnekler olurken, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin genel beğeni puanlarının oldukça düşük bulunması dikkat çekmiştir. Uygulanan çimlendirme ön işlemleri, tarhanaların genel kabul edilebilirlik değerleri üzerinde önemli bir etkide bulunmamıştır. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının ikame oranlarındaki artış, örneklerin genel kabul edilebilirlik puanlarında azalmaya neden olmuştur. Tüm ikame oranlarında, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örnekler duyusal olarak kabul edilebilir (>6 puan) bulunurken, %20 ve %30 oranında çimlendirilmiş amarant unu ikamesinin örneklerin kabul edilebilirliğini olumsuz etkilediği görülmüştür.

Bilgiçli (2009a) bir çalışmada, glutensiz tarhana üretiminde karabuğday unu kullanımının örneklerin tat, ekşilik ve kumluluk puanlarını artırdığını bildirmiştir. Bahsedilen bu çalışmada, ekşiliğin artmasının temel nedeninin, karabuğday ununun tarhananın fermantasyon hızı ve asitliğini artırıcı etkisi olduğu belirtilmiştir. %40 oranında karabuğday unu ikamesiyle üretilen örnekler, genel kabul edilebilirlik açısından en beğenilen örnekler olmuştur.

Bilgiçli (2009b) başka bir çalışmada ise karabuğday unu ikameli tarhanalarda, %80'den yüksek oranlarda renk, %40'tan yüksek oranlarda aroma ve %60'tan yüksek oranlarda koheziflik, kumluluk ve genel kabul edilebilirlik değerlerinin olumsuz etkilendiğini tespit etmiştir. Bahsedilen bu çalışmada, ikame oranındaki artışla tarhanaların ekşilik değerlerinin arttığı, kıvam değerlerinin ise azaldığı belirtilmiştir. Çevik ve Ertaş (2019) ise bir çalışmalarında, tarhanalarda duyusal olarak kabul edilebilir örneklerin üretimi için en yüksek karabuğday unu ikame oranının %20 olması gerektiğini, %30 ve %40 oranlarında karabuğday unu ikamesine sahip örneklerin renklerinin oldukça koyu, tat ve kokularının ise kabul edilemez düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. Literatürde bildirilen bu sonuçlar ve bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıkların, uygulanan çimlendirme gibi işlemler ve kullanılan hammaddeler arasındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

4.3. Ekmek Örneklerine Ait Analiz Sonuçları

Farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant ununun farklı oranlarda ikamesi ile üretilen ekmek örneklerine ait analiz sonuçları aşağıda başlıklar halinde özetlenmektedir.

4.3.1. Renk analizi sonuçları

Ekmekte son ürün rengi tüketici tercihinde önemli rol oynayan bir parametredir. Ekmek iç dokusunun L^* değerinin yüksek olması ekmek içi renginin açık olduğunun bir göstergesi olup, kullanılan unun randımanı hakkında da bilgi vermektedir (Demir ve Olcay, 2020). Ekmekte kabuk rengi ise önemli bir kalite parametresi olarak görülmekte ve kabuk renginin oluşumunda birçok kompleks biyokimyasal reaksiyon rol oynamaktadır. Bu reaksiyonlardan en önemlileri karamelizasyon ve Maillard reaksiyonudur. Ekmek üretiminde en son basamak olan pişirme sırasında meydana gelen bu reaksiyonlar, amino ve karbonil grupları içeren bileşiklerin etkileşimi sonucu meydana gelmekte ve renkli bileşiklerin oluşumuna neden olmaktadır. Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon ekmek yüzeyinde kırmızı-esmer parlak renk oluşumunu, dekstrinler ise ekmek yüzeyinin parlak olmasını sağlamaktadır (Castro ve ark., 2017; Demir ve Olcay, 2020).

Farklı ön işlemlerle çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle üretilmiş ekmek örneklerinin renk değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.35'te özetlenmektedir. Ekmek örneklerinin kabuklarının L^* değerleri 33.03 ile 54.30 arasında, a^* değerleri 9.24 ile 12.06 arasında, b^* değerleri ise 12.00 ile 30.45 arasında değişim göstermektedir. Ekmek örneklerinin kabuk kısımlarındaki en yüksek L^* ve b^* değerleri kontrol örneğinde tespit edilirken, en düşük değerlerin dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği ekmek örneklerinde bulunduğu görülmüştür. Ekmek örneklerinin iç dokularına ait L^* değerlerinin 50.12 ile 74.40 arasında, a^* değerlerinin ise -4.98 ile 1.03 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. İç dokulara ait en yüksek L^* ve en düşük a^* değerleri kontrol örneğinde bulunurken, en düşük L^* ve en yüksek a^* değerlerinin ultrasonla çimlendirilmiş karabuğdayın %30 oranında ikame edildiği örnekte bulunduğu görülmüştür. Ekmek örneklerinin iç dokularının b^* değerlerinin ise 14.26 ile 27.29 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.35).

Çizelge 4.35. Ekmek örneklerinin renk analizi sonuçları¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Kabuk Rengi			İç Renk		
			<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
	Kontrol		54.30±0.45	9.92±0.02	30.45±0.44	74.40±0.02	-4.98±0.03	18.96±0.39
	D	10	47.01±0.34	9.54±0.34	23.78±0.65	62.94±1.00	-2.06±0.04	15.30±0.21
		20	44.89±1.02	9.24±0.53	20.61±0.80	56.62±0.47	-0.44±0.02	14.77±0.34
		30	42.62±0.20	9.28±0.24	18.85±0.02	51.42±0.79	0.91±0.16	14.77±0.67
KB	US	10	47.31±0.24	9.49±0.04	24.13±0.04	63.47±0.57	-1.94±0.14	16.12±0.01
		20	41.47±0.08	9.39±0.05	20.16±0.45	52.71±0.41	0.23±0.05	14.49±0.01
		30	39.96±0.10	9.87±0.13	17.84±0.15	50.12±0.34	1.03±0.09	14.26±0.07
	Lp	10	46.68±0.11	9.62±0.01	21.50±0.31	62.60±0.92	-1.75±0.14	15.51±0.11
		20	41.53±0.11	9.44±0.19	18.49±0.06	57.01±0.20	-0.42±0.04	15.43±0.08
		30	38.64±0.01	9.42±0.24	17.88±0.01	51.74±0.36	0.85±0.04	14.79±0.16
A	D	10	41.35±0.07	10.55±0.01	21.42±0.11	69.53±0.89	-3.54±0.06	23.79±0.09
		20	35.59±0.10	10.94±0.01	15.57±0.24	64.77±0.06	-2.28±0.04	26.05±0.01
		30	33.03±0.67	10.42±0.20	12.00±0.40	61.74±0.04	-1.37±0.07	26.89±0.03
	US	10	46.03±0.60	10.42±0.04	24.66±0.90	69.41±0.24	-3.68±0.02	23.77±0.11
		20	38.79±1.88	11.13±0.01	17.30±2.40	64.39±0.21	-2.30±0.09	25.67±0.12
		30	36.59±0.14	12.06±0.15	15.78±0.18	62.70±0.33	-1.33±0.13	27.29±0.26
	Lp	10	42.86±0.25	10.03±0.21	20.66±0.09	71.54±0.65	-3.51±0.05	23.66±0.04
		20	37.50±1.43	10.76±0.69	17.26±1.74	65.23±0.58	-2.11±0.06	25.31±0.04
		30	35.48±0.43	11.45±0.07	15.41±0.44	62.26±0.36	-0.97±0.12	26.35±0.11

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.36 ve 4.37’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.36. Ekmek örneklerinin kabuk kısmının renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	L*		a*		b*	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	7.58	4.97*	0.76	3.87*	11.16	5.17*
Çeşit (B)	1	153.19	200.85**	12.97	132.20**	44.78	41.46**
Oran (C)	3	1956.82	855.20**	1.91	6.50**	1423.54	439.42**
AxB	2	41.12	26.95**	0.18	0.95ns	15.98	7.40**
AxC	6	10.26	2.24ns	1.91	3.24*	16.95	2.62*
BxC	3	57.34	25.06**	6.01	20.41**	28.53	8.81**
AxBxC	6	19.75	4.32**	0.78	1.33ns	9.60	1.48ns
Hata	24	122.75		10.44		59.84	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.37. Ekmek örneklerinin iç dokularının renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	L*		a*		b*	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	7.21	8.66**	0.11	5.08*	0.05	0.20ns
Çeşit (B)	1	573.28	1377.38**	25.45	2273.04**	726.03	5819.64**
Oran (C)	3	2196.51	1759.14**	157.94	4702.42**	20.96	56.00**
AxB	2	3.28	3.94*	0.25	11.25**	0.87	3.49*
AxC	6	10.20	4.08**	0.24	3.58*	0.75	1.01ns
BxC	3	214.93	172.13**	8.87	264.19**	268.46	717.29**
AxBxC	6	12.96	5.19**	0.37	5.52**	1.82	2.44ns
Hata	24	302.29		719.26		340.47	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Varyans analizi sonuçlarına göre ekmek kabuklarının L* değerleri üzerinde “ön işlem x oran” interaksiyonunun etkisinin önemsiz, ön işlem faktörünün etkisinin ise p<0.05 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.36). Diğer faktör ve interaksiyonların etkisinin p<0.01 düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Ekmek kabuklarının a* değeri üzerinde “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonlarının etkileri önemsiz ve ön işlem faktörünün etkisinin p<0.05 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Renk b* değerleri üzerinde ise yine “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkisi önemsiz, “ön işlem x oran” interaksiyonunun ve ön işlem faktörünün etkisinin ise p<0.05 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Ekmek kabuklarının a* ve b* değerleri üzerinde diğer faktör ve interaksiyonların etkilerinin ise p<0.01 düzeyinde önemli bulunduğu tespit edilmiştir.

Ekmek örneklerinin iç dokularına ait L* değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit” interaksiyonunun p<0.05 düzeyinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (Çizelge

4.37). İç dokulara ait a^* renk değeri üzerinde ön işlem faktörü ve “ön işlem x oran” interaksiyonunun $p < 0.05$ düzeyinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Renk b^* değeri üzerinde ise ön işlem faktörü ile “ön işlem x oran” ve “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonlarının etkilerinin önemsiz, “ön işlem x çeşit” interaksiyonunun etkisinin ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Ekmek içi renk değerleri üzerinde diğer faktör ve interaksiyonların etkilerinin ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur.

Ekmek örneklerinin renk değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.38’de özetlenmektedir. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerin kabuk fraksiyonlarının L^* ve b^* değerlerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin iç dokularının ise L^* ve b^* değerlerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek bulunduğu görülmüştür (Çizelge 4.38). Renk a^* değerlerinde ise kabuk fraksiyonunda, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklere ait değerler yüksek bulunurken, iç dokularda çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklere ait değerler daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$).

Ekmek örneklerinin kabuk ve iç dokularının renk değerleri arasında tespit edilen farklılıkların en önemli nedeninin, ikame maddesi olarak kullanılan karabuğday ve amarantın renk değerleri ve kimyasal bileşimleri arasındaki farklılık olduğu söylenebilir (Çizelge 4.1). Bununla beraber çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin kabuklarının, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen örneklerden daha koyu ve daha kırmızı olmasının muhtemel nedeni (Çizelge 4.38), Maillard reaksiyonuna katılan bileşiklerin miktarının daha fazla olmasıdır. Hammadde sonuçları da bu hipotezi desteklemektedir. Benzer şekilde, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin iç dokularının daha açık renkte ve daha sarımsı olması da hammaddelerin renk değerleri doğrultusunda beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.1).

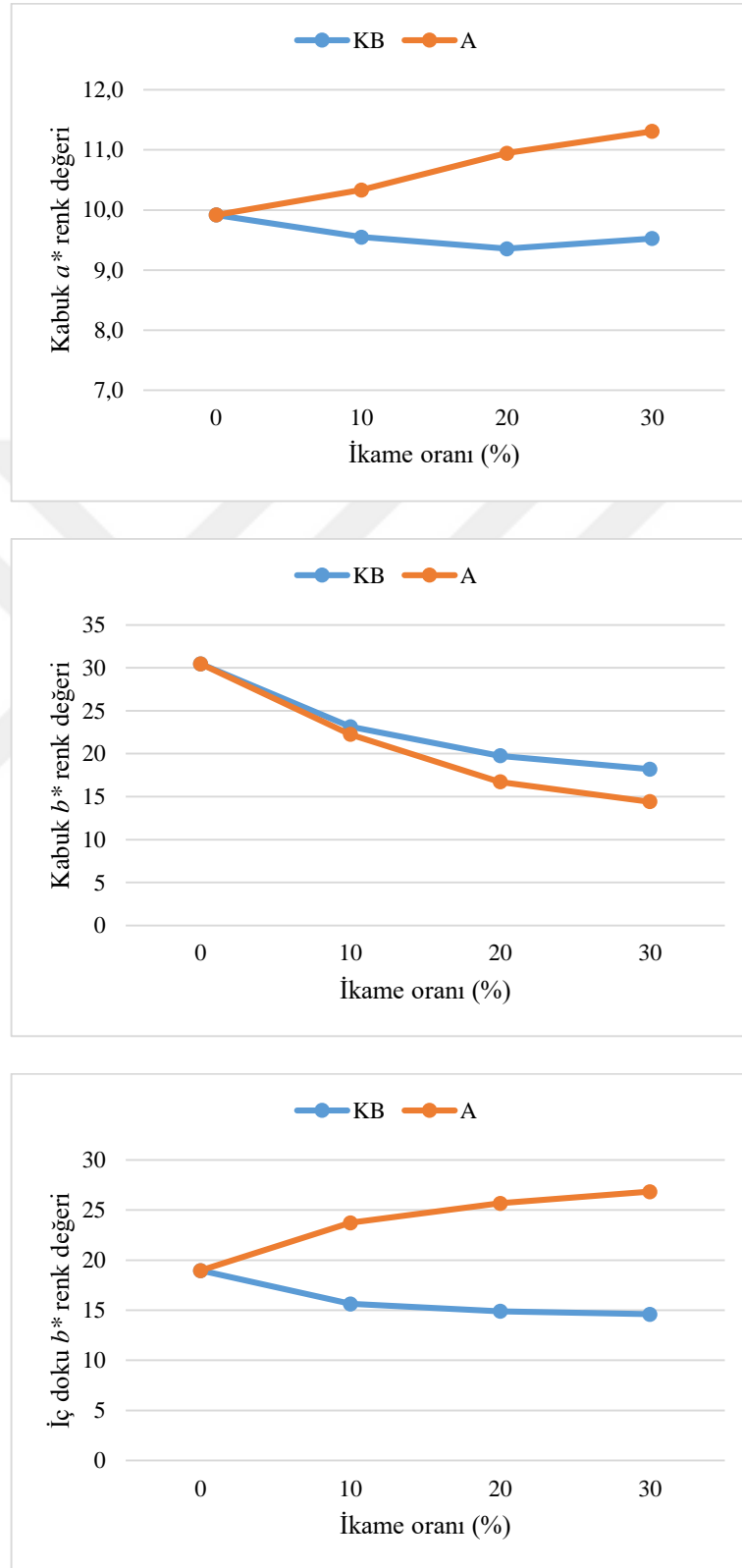
Çizelge 4.38. Ekmek örneklerinin renk değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Kabuk Rengi			İç Renk		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
<i>Çeşit²</i>							
KB	12	46.08±0.30 a	9.59±0.15 b	22.88±0.32 a	60.99±0.42 b	-1.54±0.07 a	16.03±0.23 b
A	12	42.51±0.58 b	10.63±0.12 a	20.95±0.65 b	67.90±0.28 a	-3.00±0.06 b	23.80±0.16 a
<i>Ön İşlem³</i>							
D	8	44.14±0.41 ab	9.97±0.17 b	21.64±0.39 b	64.48±0.41 ab	-2.34±0.06 b	19.94±0.27 a
US	8	44.84±0.49 a	10.28±0.06 a	22.59±0.62 a	63.95±0.26 b	-2.24±0.07 a	19.94±0.17 a
Lp	8	43.91±0.41 b	10.07±0.18 ab	21.51±0.44 b	64.90±0.39 a	-2.23±0.06 a	19.87±0.16 a
<i>Oran</i>							
0	6	54.30±0.45 a	9.92±0.02 b	30.45±0.44 a	74.40±0.02 a	-4.98±0.03 d	18.96±0.39 d
10	6	45.21±0.27 b	9.94±0.11 b	22.69±0.35 b	66.58±0.71 b	-2.74±0.07 c	19.69±0.10 c
20	6	39.96±0.77 c	10.15±0.24 ab	18.23±0.95 c	60.12±0.32 c	-1.22±0.05 b	20.29±0.10 b
30	6	37.72±0.26 d	10.42±0.17 a	16.29±0.20 d	56.66±0.37 d	-0.14±0.10 a	20.72±0.22 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin kabuk a^* ve b^* ile iç dokularının b^* renk değerleri üzerinde “*çesit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.24’te gösterilmektedir.



Şekil 4.24. Ekmek örneklerinin kabuk a^* ve b^* ile iç dokularının b^* renk değerleri üzerinde etkili “*çesit x oran*” interaksiyonu

İnteraksiyon grafiklerinden de açıkça görüldüğü üzere, çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmek örneklerinin kabuk fraksiyonlarının a^* renk değerleri ve iç dokularının b^* renk değerleri, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örnekler yüksek bulunmuştur (Şekil 4.24). Bununla birlikte, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip örneklerin kabuk fraksiyonlarının b^* renk değerlerinin daha yüksek bulunduğu dikkat çekmektedir.

Ekmek örneklerinin iç dokularının renk değerlerine benzer şekilde, Bejosano ve Corke (1998) çığ ve pişmiş makarna örneklerinin renk değerlerinde amarant ve karabuğday protein izolatu ikamesiyle birlikte benzer değişimler tespit etmişlerdir. Yamsaengsung ve ark. (2012) amarant unu ile üretilen glutensiz bisküvi örneklerinin a^* ve b^* değerlerinin karabuğday unu ile üretilenlerden yüksek, L^* değerinin ise düşük bulunduğunu bildirmişlerdir. Rosa ve ark. (2015) karabuğday unundan üretilmiş makarna örneklerine amarant unu ikame edilmesiyle beraber, örneklerin L^* ve b^* değerlerinde istatistiksel olarak önemli şekilde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir. Estivi ve ark. (2022b) %50 amarant unu ikame edilen bisküvi örneklerinin L^* , a^* ve b^* değerlerinin %50 karabuğday unu ikame edilen örneklerden yüksek bulunduğunu, tüm renk parametrelerinde en yüksek değerlerin ise kontrol örneğinde bulunduğunu tespit etmişlerdir. Dolayısıyla ekmek örneklerinin renk analizi sonuçlarının, literatürde bildirilen çalışmalara benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Ekmek örneklerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından değerlendirildiğinde, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin kabuklarının L^* , a^* ve b^* değerlerinin, diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde daha yüksek bulunduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.38). Ekmek kabuklarında, D ve Lp örneklerinin b^* değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

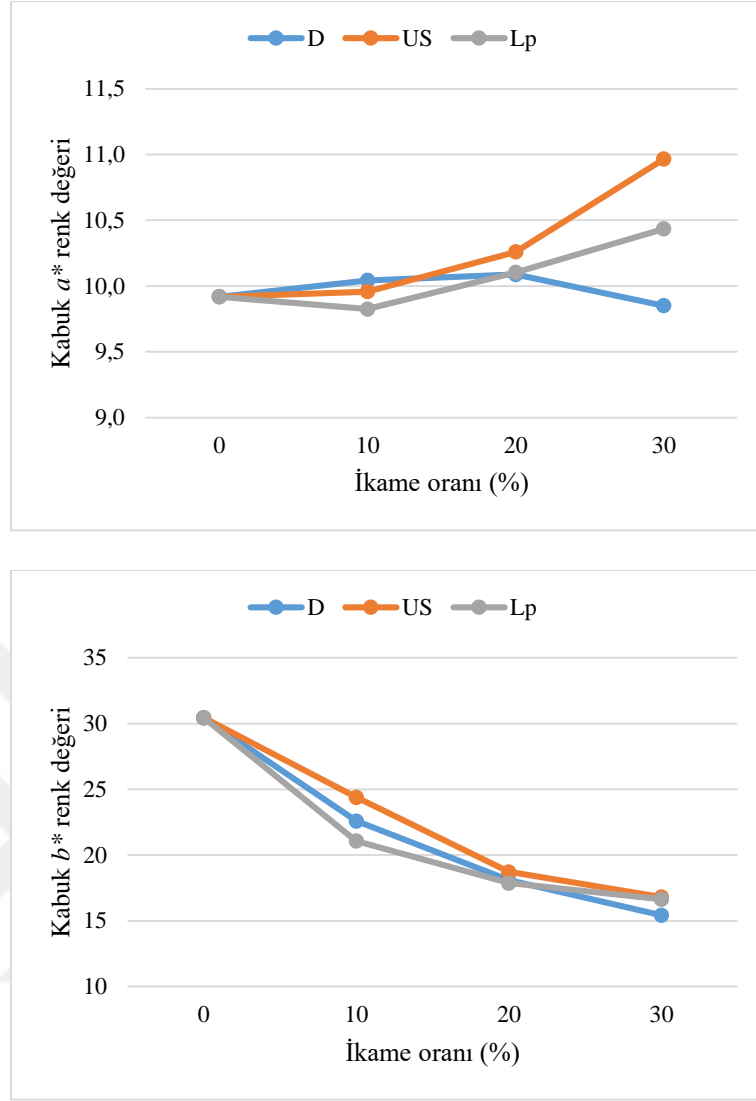
Zhang ve ark. (2022) bir çalışmalarında ultrason destekli fermantasyonun, tatlı patates pulpu ilaveli buharda pişirilmiş ekmek örneğinin kalite özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bahsedilen bu çalışmada, uygulanan farklı ultrason güç yoğunluklarının ekmek örneklerinin L^* değerlerini artırıcı etki gösterdiği bildirilmiştir. Ekmeklerin a^* ve b^* değerlerinin ise düşük güç yoğunluğundaki ultrason işlemine tabi tutulduğunda azaldığı, güç yoğunluğu artırıldığında ise a^* ve b^* değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Renk değerlerinde gözlenen bu değişiklikler muhtemelen, uygulanan ultrason işleminin örneklerdeki polifenoloksidaz (PPO) enzimi üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır (Wang ve ark., 2021). Literatürde ultrason uygulaması sırasında

meydana gelen kavitasyon, manyetostriksiyon ve mekanik titreşimlerin, PPO aktivitesinin azalmasına neden olabilecek konformasyon değişikliklerine ya da protein denatürasyonuna neden olduğu bildirilmiştir (Ji ve ark., 2022b). Ayrıca ultrason uygulamasının; homojenleştirme etkisiyle ürün renginin iyileştirilmesinde rol oynadığı (Nasiri ve ark., 2011) ve şişmiş nişasta granüllerinin parçalanmasına katkıda bulunarak nişastanın berraklığını ve patates nişastasından üretilen hamurun parlaklığını da artırdığı (Sujka ve Jamroz, 2013; Jalali ve ark., 2020) bildirilmiştir. Literatürde yer alan tüm bu bilgilerin, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin renk değerlerinin yüksek bulunması sonucunu ve öne sürülen hipotezi destekler nitelikte olduğu söylenebilir.

Ekmek örneklerinin iç dokularında ise *L. plantarum* inokülasyonu yapılan örneklerin L^* değerlerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.38). Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının kullanıldığı örneklerin iç dokularının a^* değerlerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak daha düşük bulunduğu tespit edilirken ($p < 0.05$), ultrason uygulanan ve *L. plantarum* inokülasyonu yapılan örneklere ait a^* değerleri arasındaki farkın ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu bulunmuştur ($p > 0.05$). Ekmek örneklerinin iç dokularının b^* değerleri üzerinde ise uygulanan ön işlemlerin istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür ($p > 0.05$).

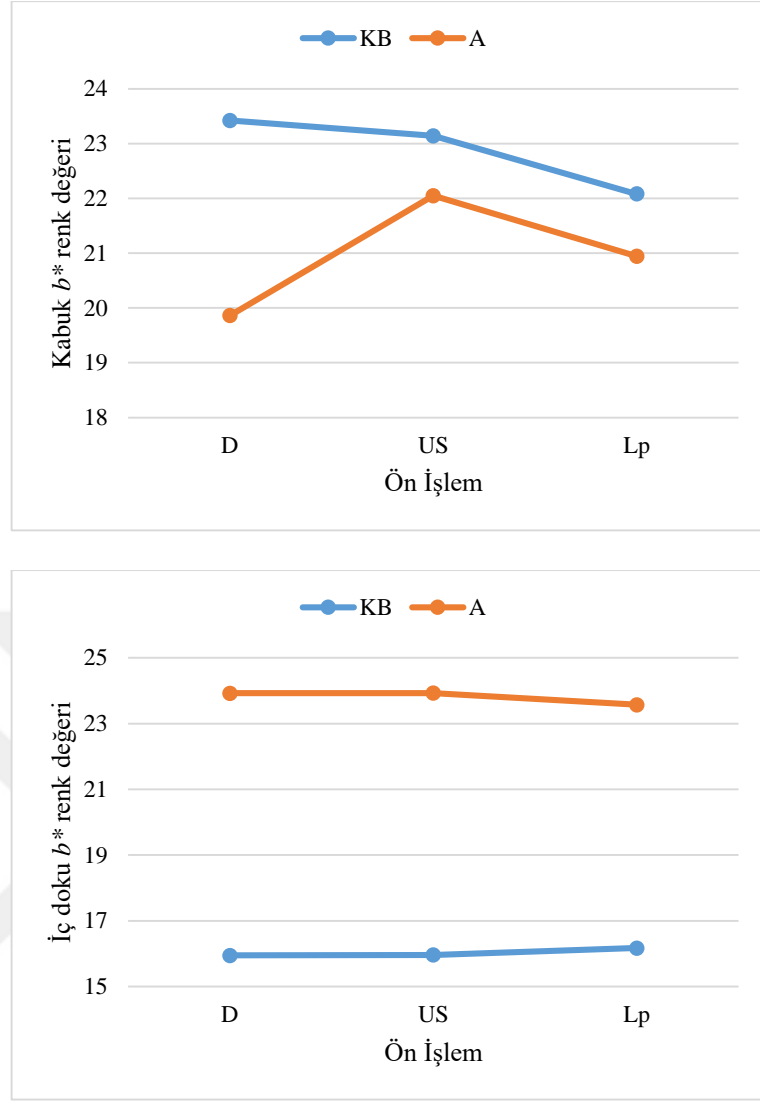
Ön işlem faktörü açısından, ekmek örneklerinin iç dokularının renk değerlerindeki değişimlerin, tarhana örnekleri ile benzerlik gösterdiği söylenebilir. Dolayısıyla, yine tarhana örneklerine benzer şekilde, *Lactobacillus plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin L^* ve a^* değerlerinin diğer örneklerden yüksek bulunmasının muhtemel nedeninin, *L. plantarum*'un renk pigmentlerinin çözünürlüğünü artırması ve fermantasyon ortamındaki asitliğin pigmentleri koruyucu etkisi olduğu söylenebilir (Ulyarti ve ark., 2021).

Ekmek örneklerinin kabuk kısımlarının a^* ve b^* renk değerleri üzerinde “ön işlem x oran” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.25'te gösterilmektedir. Grafiklerde, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli örneklerin a^* ve b^* renk değerlerinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. US örneklerinde elde edilen yüksek değerler, ultrason uygulamasının homojenleştirme etkisine ve/veya PPO enzim aktivitesini azaltmasına atfedilebilir (Nasiri ve ark., 2011; Ji ve ark., 2022a).



Şekil 4.25. Ekmek örneklerinin kabuk a^* ve b^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” interaksyonu

Ekmek örneklerinin kabuk ve iç dokularının b^* renk değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit” interaksyonlarının etkileri Şekil 4.26’da gösterilmektedir. İnteraksiyon grafiklerinde en dikkat çeken değişimin, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant unu ikamesine sahip örneklerin kabuk b^* renk değerlerinin diğer örneklerden oldukça yüksek bulunması olduğu söylenebilir. Bu sonuç, ultrasonun ürünlerde renk değerlerini geliştirici etkisine atfedilebilir (Zhang ve ark., 2022). Hem çimlendirilmiş karabuğday hem de amarant unu ikameli örneklerin iç dokularının b^* renk değerlerinde ise uygulanan çimlendirme ön işlemlerinin deskriptif olarak dahi çok az değişime neden olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. Ekmek örneklerinin kabuk ve iç b* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit” interaksyonu

Ekmek örneklerinin renk değerlerinde gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına oran faktörü çerçevesinde bakıldığında, ekmek kabuklarının L^* ve b^* değerleri ile iç dokularının L^* değerlerinin ikame oranındaki artışla beraber istatistiksel olarak önemli şekilde azaldığı görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.38). İkame oranı arttıkça ekmek kabuklarının a^* değerleri de istatistiksel olarak önemli şekilde artmaktadır ($p < 0.05$). Buna karşın, %0, 10 ve 20 ikame oranlarına sahip örneklerin a^* değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz kabul edilebileceği de dikkat çekmektedir ($p > 0.05$). Ekmek örneklerinin iç dokularına ait a^* ve b^* değerlerinin ise ikame oranındaki artışla beraber istatistiksel olarak önemli derecede arttığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Ekmek örneklerinin renk değerleri, ikame edilen yalancı tahıl unlarının pigment içerikleri nedeniyle beklenen doğrultuda değişim göstermiştir. Benzer şekilde literatürde

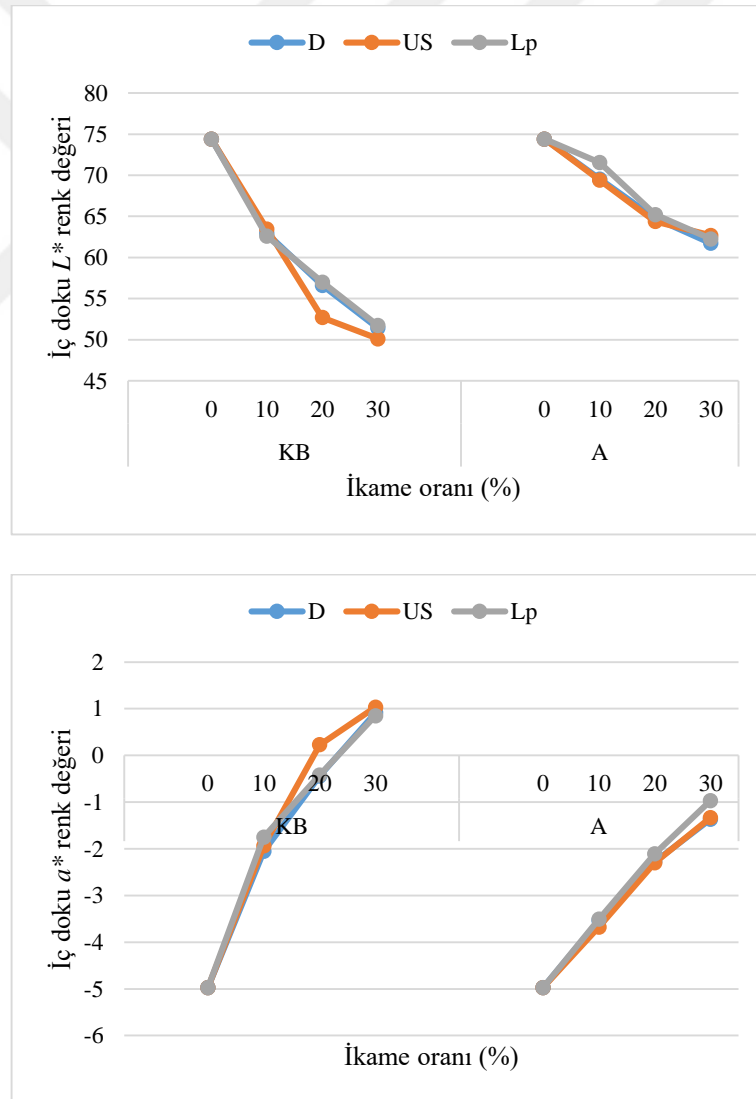
de karabuğday unu ikamesiyle birlikte genel olarak farklı ekmek çeşitlerinin parlaklık ve sarılık değerlerinin azaldığı, kırmızılık değerlerinin ise arttığı bildirilmiştir (Yıldız ve Bilgiçli, 2012; Wronkowska ve ark., 2013; Selimović ve ark., 2014; Coronel ve ark., 2021; Brites ve ark., 2022a; Coțovanu ve Mironeasa, 2022; Biduski ve ark., 2024). Yine benzer şekilde birçok çalışmada, amarant unu ikamesiyle üretilen farklı çeşit ekmeklerin hem kabuk kısımlarında hem de iç dokularında artan ikame oranıyla beraber genel olarak L^* ve b^* değerlerinin azaldığı, a^* değerinin ise arttığı tespit edilmiştir (Nasir ve ark., 2020; Coțovanu ve Mironeasa, 2021; Piga ve ark., 2021; Ersus ve ark., 2023; Mospah ve ark., 2023).

Horstmann ve ark. (2019) bir çalışmalarında glutensiz ekmek formülasyonunda çimlendirilmiş amarant unu kullanımıyla beraber örneklerin L^* değerinin azaldığını, a^* ve b^* değerlerinin ise arttığını tespit etmişlerdir. Chauhan ve ark. (2015) çimlendirilmiş amarant unu ile üretilen bisküvi örneklerinin L^* değerlerinin buğday unuyla üretilen örneklerden daha düşük, a^* ve b^* değerlerinin ise daha yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde Kim ve ark. (2017) pirinç keki (Seolgitteok) örneğinde %20 oranında çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle beraber örneklerin L^* değerinin azaldığını, a^* ve b^* değerlerinin ise arttığını bildirmişlerdir. Bhinder ve ark. (2022), farklı sürelerde çimlendirilmiş karabuğday ununun farklı oranlarda glutensiz muffin kek formülasyonunda kullanımının ürün özelliklerine etkisini inceledikleri bir çalışmalarında, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesinin genel olarak, pirinç unuyla üretilen kontrol örneğine kıyasla, örneklerde L^* , a^* ve b^* değerlerinin düşmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir. Literatürde bildirilen tüm bu çalışmalardan yola çıkılarak, renk değerlerindeki değişimlerin kullanılan hammaddeler ve hammaddelere uygulanan işlemler arasındaki farklılıklar ile ürün formülasyonu ve üretim yöntemleri arasındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir. Fakat yine de bu çalışmadan elde edilen verilerin literatür ile uyum içerisinde olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Bununla birlikte, hammadde sonuçları doğrultusunda, artan ikame oranıyla birlikte ekmek kabuklarının b^* renk değerlerinin de artması beklenmektedir (Çizelge 4.1). Fakat yüksek ikame oranlarında ekmeklerin sarılık değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.38). Bu farklılığın, hammaddelerin aminoasit içerikleri arasındaki farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Shen ve ark. (2019), aminoasitlerin ekmekte Maillard reaksiyon ürünleri oluşumuna katkısını araştırdıkları bir çalışmalarında, aminoasit ilavesinin ekmeklerin b^* renk değerlerinde bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, aminoasit ilave oranı arttıkça

ekmeklerin b^* değerleri de azalmıştır. Dolayısıyla, çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının b^* değerleri buğday unundan yüksek olmasına rağmen, ekmek örneklerinde ikame oranı arttıkça kabuk b^* renk değerlerinin azalmasının, çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının aminoasit içeriklerinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Yüksek aminoasit içerikleri, ekmek kabuklarında Maillard reaksiyonunu tetikleyerek son ürünlerin sarılık değerlerinin azalmasına neden olmuş olabilir.

Ekmek örneklerinin iç dokularının L^* ile a^* renk değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.27’de gösterilmektedir. Grafiklerde, kullanılan hammadde çeşidi ve uygulanan ön işlemlerden bağımsız olarak, ikame oranındaki artışla birlikte ekmek örneklerinin iç dokularının L^* renk değerlerinin önemli şekilde azaldığı, a^* renk değerlerinin ise önemli şekilde arttığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.27. Ekmek örneklerinin iç dokularının L^* ve a^* renk değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonları

Coşovanu ve ark. (2021) bir çalışmalarında kontrol buğday ekmeğinin kabuk ve i dokusuna ait L^* , a^* ve b^* değelerini sırasıyla 67.36, 0.78, 32.27 ve 72.30, -4.48, 19.02 olarak tespit etmişlerdir. Yaver ve Bilgiçli (2021a) kontrol buğday ekmeğinin kabuk kısmına ait L^* , a^* ve b^* değelerinin 59.46, 9.42 ve 30.29 bulunduğunu, i dokuya ait L^* , a^* ve b^* değelerinin ise 71.82, -1.58 ve 14.32 olarak bulunduğunu rapor etmişlerdir. Başka bir çalışmada %100 buğday unundan üretilen kontrol ekmek örneğinin L^* , a^* ve b^* değerlerinin örneklerin kabuk kısmında 64.61, 0.82 ve 12.75 olarak, i dokusunda ise 68.64, 7.61 ve 22.64 olarak bulunduğu bildirilmiştir (Monteiro ve ark., 2021a). Benzer şekilde Hussein ve ark. (2022) bir çalışmalarında buğday unundan üretilen kontrol tava ekmeğinin kabuk kısmının L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 52.07, 14.81 ve 30.72 olarak, i dokunun L^* , a^* ve b^* değelerini ise yine sırasıyla 72.58, 1.48 ve 19.89 olarak tespit etmişlerdir. Dolayısıyla, veriler arasındaki deskriptif farklılıklara karşın, bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir (Coşovanu ve ark., 2021; Yaver ve Bilgiçli, 2021a).

4.3.2. Fiziksel analiz sonuçları

Ekmekte rn kalitesi; boyut, spesifik hacim, şekil, simetri, renk gibi dış faktörler ile kabuk kalınlığı, gözenek büyüklüğü ve sayısı, tekstür gibi i faktörlerin bütününden etkilenmektedir. Kalite zellikleri; fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duysal analizler ile ölçülmekle beraber, tüketicisi açısından ilk değerlendirilecek kriter fiziksel özelliklerdir (Monteiro ve ark., 2021b). Buğday unu kimyasal içeriği ve teknolojik yeterliliği nedeniyle ekmek üretiminde en çok kullanılan un çeşididir. Üründe iyi hacim ve tekstür özellikleri sağlayacak un kullanımı istenmekte olup, son zamanlarda fırıncılık endüstrisinin en çok karşılaştığı problem ise iyi kalitedeki hammadde teminidir. Ekmek kalitesinde, kullanılan hammaddenin protein ve gluten içeriği kadar bunların kalitesi de önem arz eder (Rzylo ve ark., 2011).

Ekmek işgal ettiği boşluk olarak da tanımlanabilecek hacim, ekmekte en dikkat çekici kalite kriteridir. Ekmek rneklerinin hacim ve ağırlık ilişkisinin ideal olması istenmekte, bu bağlamda çok büyük veya yetersiz hacim üründe düşük kaliteyi yansıtmakta ve son üründe optimum hacim özellikleri istenmektedir (Bircan ve ark., 2017). Ekmek formülasyonunda kullanılan hammaddeler ve su miktarı son ürün ağırlığını etkilemektedir. Bu nedenle farklı ağırlık değerlerine sahip ekmek örneklerinin kıyaslanmasında birim ağırlık başına düşen hacim, bir başka deyişle spesifik hacim değeri

kullanılmaktadır (Gül ve ark., 2021). Spesifik hacim ekmek formülasyonunun teknolojik kalite kriterlerine uygunluğunun bir ölçüsüdür (Monteiro ve ark., 2021b). Ekmeklerde spesifik hacim, ürünün gaz tutma kapasitesini ve uygun gözenek oluşumunu yansıtan bir parametre olduğu için, son üründe spesifik hacim değerinin yüksek olması arzu edilmektedir (Elgeti ve ark., 2014).

Ekmek örneklerinin fiziksel özelliklerine ait analiz sonuçları Çizelge 4.39'da gösterilmektedir. Örneklerin ağırlıkları 141.83 ile 149.81 g arasında değişim göstermiştir. Örnekler arasındaki en düşük hacim ve spesifik hacim değerleri ultrasonla çimlendirilmiş amarantın %30 oranında ikame edildiği örnekte 240 ml ve 1.66 ml/g olarak tespit edilmiştir. En yüksek hacim ve spesifik hacim değerleri ise ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğdayın %10 oranında ikame edildiği örnekte sırasıyla 615 ml ve 4.27 ml/g olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.39. Ekmek örneklerinin fiziksel analiz sonuçları¹

Çeşit	Ön İşlem	Oran	Ağırlık (g)	Hacim (ml)	Spesifik Hacim (ml/g)
	Kontrol		144.40±0.35	590.00±20.00	4.08±0.15
	D	10	146.90±0.39	577.50±22.50	3.93±0.16
		20	147.99±0.10	440.00±10.00	2.97±0.07
		30	149.81±0.49	345.00±5.00	2.30±0.03
KB	US	10	144.19±0.15	615.00±5.00	4.27±0.04
		20	145.70±0.53	377.50±2.50	2.59±0.01
		30	148.45±0.07	342.50±2.50	2.31±0.02
	Lp	10	146.86±0.86	570.00±0.01	3.88±0.02
		20	147.15±0.25	470.00±0.01	3.19±0.01
		30	148.28±0.02	360.00±0.01	2.43±0.01
A	D	10	144.44±0.20	385.00±5.00	2.67±0.03
		20	143.73±0.08	295.00±5.00	2.05±0.04
		30	145.08±0.52	245.00±5.00	1.69±0.04
	US	10	142.55±0.65	365.00±5.00	2.56±0.05
		20	141.83±0.24	305.00±5.00	2.15±0.03
		30	144.81±0.02	240.00±10.00	1.66±0.07
	Lp	10	143.32±0.08	415.00±5.00	2.90±0.04
		20	143.29±0.19	310.00±10.00	2.16±0.07
		30	143.51±0.02	265.00±5.00	1.85±0.03

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin fiziksel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.40'ta, Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.41'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.40. Ekmek örneklerinin fiziksel analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Ağırlık		Hacim		Spesifik Hacim	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	13.54	26.80**	2778.13	6.01**	0.12	4.85*
Çeşit (B)	1	89.49	354.32**	134938.02	584.26**	5.60	466.41**
Oran (C)	3	36.75	48.50**	598630.73	863.99**	29.55	821.00**
AxB	2	1.25	2.47ns	94.79	0.20ns	0.01	0.27ns
AxC	6	11.88	7.84**	3292.71	2.38ns	0.16	2.24ns
BxC	3	35.48	46.82**	61068.23	88.14**	2.67	74.10**
AxBxC	6	1.50	0.99ns	8892.71	6.42**	0.45	6.31**
Hata	24	31.38		146.36		134.18	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.41. Ekmek örneklerinin fiziksel analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

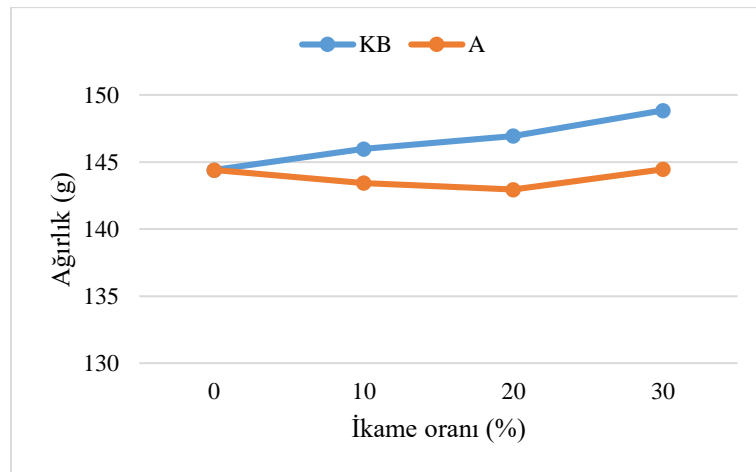
Faktör	n	Ağırlık (g)	Hacim (ml)	Spesifik Hacim (ml/g)
<i>Çeşit</i> ²				
KB	12	146.54±0.32 a	488.96±8.96 a	3.34±0.07 a
A	12	143.81±0.25 b	382.92±9.58 b	2.66±0.07 b
<i>Ön İşlem</i> ³				
D	8	145.84±0.31 a	433.44±11.56 ab	2.97±0.08 b
US	8	144.54±0.29 c	428.12±8.75 b	2.96±0.06 b
Lp	8	145.15±0.26 b	446.25±7.50 a	3.07±0.06 a
<i>Oran</i>				
0	6	144.40±0.35 b	590.00±20.00 a	4.08±0.15 a
10	6	144.71±0.39 b	487.92±7.08 b	3.37±0.06 b
20	6	144.95±0.23 b	366.25±5.42 c	2.52±0.04 c
30	6	146.66±0.19 a	299.58±4.58 d	2.04±0.03 d

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:L. *plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken (p>0.05), diğer faktör ve interaksiyonların etkisinin p<0.01 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.40). Hacim ve spesifik hacim değerleri üzerinde ise “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x oran” interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0.05). Spesifik hacim değerlerinde ön işlem faktörünün p<0.05 düzeyinde önemli bir etki gösterdiği görülmüştür. Hacim ve spesifik hacim değerleri üzerinde bahsi geçen faktör ve interaksiyonlar haricindeki tüm etkenler istatistiksel olarak p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin ağırlık, hacim ve spesifik hacim değerlerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek bulunduğu görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.41). Ekmek ağırlığı, pişirme sırasında hamurdan difüze olan nem miktarından, hamurda tutulan karbondioksit oranı ve formülasyonda kullanılan hammaddelerin lif içeriğinden etkilenmektedir. Diyet lifler yüksek su bağlama kapasitesine sahip makromoleküller olduğu için formülasyondaki lif miktarı arttıkça, ekmek ağırlığı da artış göstermektedir (Olubunmi ve ark., 2015). Çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin ağırlık değerlerinin çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilenlere kıyasla yüksek bulunmasının, çimlendirilmiş karabuğday ununun çözünür diyet lif içeriğinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Thakur ve ark. (2021) bir çalışmalarında ham karabuğday ve amarantın lif içeriklerinin sırasıyla %7.55 ve %3.83 olduğunu bildirmişlerdir. Yine aynı çalışmada 24, 48 ve 72 saat çimlendirilen karabuğdayın lif içeriklerinin %9.92, %10.92 ve %12.92 olduğu, amarantın lif içeriklerinin ise %4.43, %5.35 ve %6.69 olarak tespit edildiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin ağırlıklarının yüksek diyet lif içerikleri nedeniyle daha yüksek bulunduğu hipotezini destekler niteliktedir.

Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Çimlendirme ön işlemlerinden ve ikame oranlarından bağımsız olarak, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip ekmek örneklerinin ağırlık değerlerinin daha yüksek olduğu grafikte de görülmektedir.



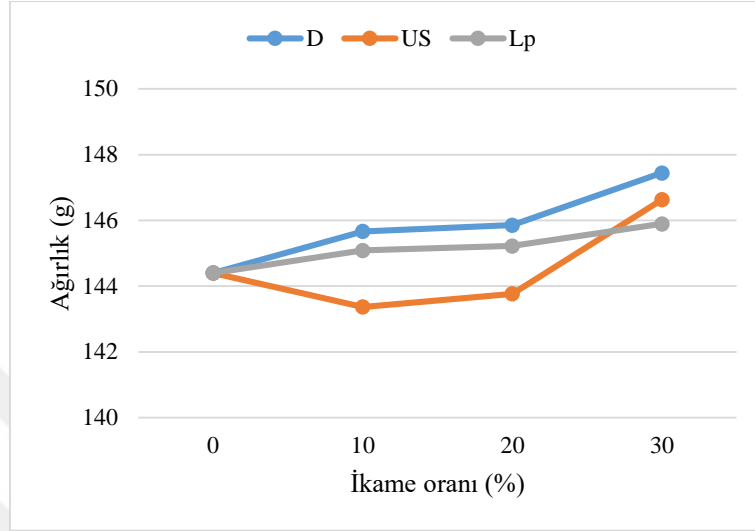
Şekil 4.28. Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde etkili “*çeşit x oran*” interaksiyonu

Literatürde amarant ve karabuğdayın α -amilaz aktivitelerinin sırasıyla 0.06-0.22 CU/g ve 0.03-0.10 CU/g arasında, zedelenmiş nişasta içeriklerinin ise %3.10-3.95 ve %0.94-%1.43 arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (De Bock ve ark., 2021). Ayrıca çimlendirmeye birlikte α -amilaz aktivitesinin, dolayısıyla kompleks karbonhidratların basit şekerlere parçalanma oranının da arttığı belirtilmiştir (Thakur ve ark., 2021). Ertugay (2010), ekmeğin kabarmasını sağlayan CO₂ gazının, mayaların zedelenmiş nişastayı ve amilolitik aktivite sonucu meydana gelen basit şekerleri fermente etmesi sonucu açığa çıktığını bildirmiştir. Bahsedilen bu çalışmada, fazla amilolitik aktivitenin ise ekmeğin düşük hacimli, küçük gözenekli, yapışkan iç doku ve cıvık hamur yapısına sahip, sıkı ve sert olmasına neden olduğu belirtilmiştir. Literatürde bildirilen tüm bu çalışmalar doğrultusunda, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin hacminin, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilenlere kıyasla daha düşük bulunması, çimlendirilmiş amaranttaki amilolitik aktivitenin yüksek olmasına atfedilebilir. Ekmek örneklerinin duyuşsal özellikleri de bu hipotezi destekler niteliktedir.

Ön işlem faktörü açısından, dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin ağırlık değerlerinin diğer örneklerden daha yüksek, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin ağırlıklarının ise istatistiksel olarak daha düşük bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.41). Hacim değerlerinde ise Lp örneklerine ait değerler diğer örneklerden daha yüksek, US örneklerine ait değerler ise daha düşük bulunmuştur. *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının kullanıldığı örneklerin spesifik hacim değerleri diğer ön işlemlerin uygulandığı örneklere kıyasla istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). D ve US örneklerinin spesifik hacim değerleri arasındaki deskriptif farklılıklar ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$).

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Woo ve ark. (2020) ekmek formülasyonunda *Lactobacillus plantarum* hücre ekstraktı kullanımıyla beraber örneklerin hacim değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde bir başka çalışmada, laktik asit bakterilerinin sahip olduğu amilolitik aktivitenin, ekmek üretiminde mayalar için gerekli enerji kaynaklarının kullanılabilirliğini arttırdığı, proteolitik enzimlerin ise ekmeğin lezzet ve dokusunun oluşumunda doğrudan rol oynadığı bildirilmiştir (Bartkiene ve ark., 2017). Literatürde ayrıca, polisakkaritler gibi bazı *Lactobacillus* metabolitlerinin de ekmeğin spesifik hacim değeri üzerinde olumlu etkilerinin bulunduğu bilgisi yer almaktadır (Brandt ve ark., 2003; Zhao ve ark., 2020).

Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde “ön işlem x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.29’da gösterilmektedir. D örneklerinin ağırlık değerlerinin diğer örneklerden önemli derecede daha yüksek, US örneklerinin ağırlıklarının ise daha düşük olduğu interaksiyon grafiğine de doğrudan yansımıştır.



Şekil 4.29. Ekmek örneklerinin ağırlık değerleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” interaksiyonu

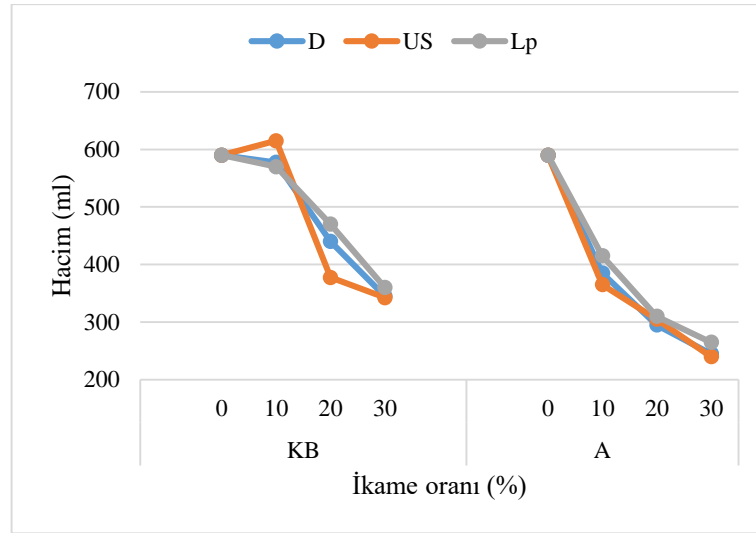
Çoklu karşılaştırma testi sonuçları oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, ikame oranındaki artışla beraber örneklerin ağırlıklarının da istatistiksel olarak önemli derecede arttığı görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.41). Fakat %0, 10 ve 20 oranına sahip örneklerin ağırlık değerleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Ekmek örneklerinin hacim ve spesifik hacim değerlerinin, ikame artışıyla beraber istatistiksel olarak önemli şekilde azaldığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Benzer şekilde Badamshina ve ark. (2023), ekmeklerde %20, 30 ve 40 oranlarındaki karabuğday filizi unu ikamesiyle birlikte örneklerin spesifik hacim değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada ise buharda pişirilen ekmeklerde, %4 ve %8 oranında karabuğday filizi unu ikamesiyle örneklerin hacimlerinin kontrol buğday ekmeğine kıyasla yüksek bulunduğu, fakat ikame oranı %12’ye çıkarıldığında hacim değerlerinin azaldığı bildirilmiştir (Xu ve ark., 2014). Guardianelli ve ark. (2022b), ekmeklerde %25 oranına kadar olan çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle birlikte örneklerin spesifik hacim değerlerinde görülen azalmanın, örnek formülasyonlarındaki gluten içeriğinin azalması ve lif içeriğinin artması sonucu meydana geldiğini bildirmişlerdir. Horstmann ve ark. (2019) bir çalışmalarında, lif ve protein içeriklerinin ekmeklerin spesifik hacim değerleri üzerinde anahtar rol oynadığını

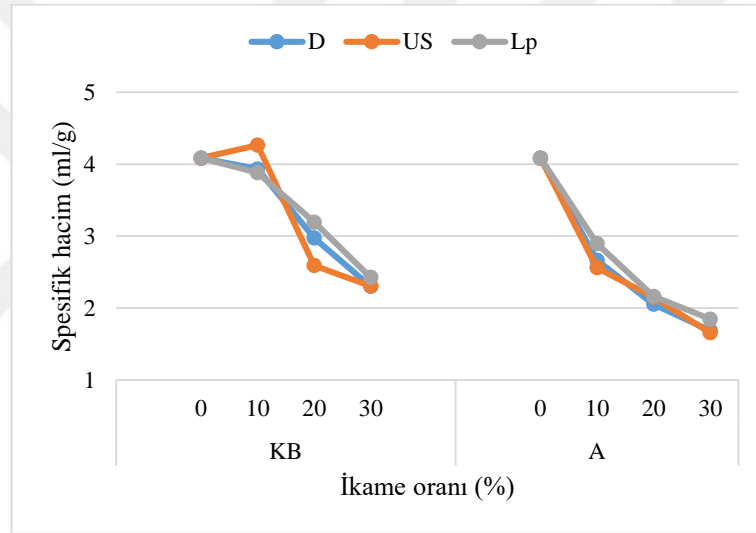
belirterek, yüksek lif içeriğinin hamurda yüksek hidrasyon özellikleri ve viskozite değerleri elde edilmesine neden olduğunu, bu durumun da fermantasyon sırasında gaz hücrelerinin genişlemelerini sınırlandırarak ekmeklerin hacminin daha düşük olmasına sebebiyet verdiğini bildirmişlerdir. Bhinder ve ark. (2022) ise 24, 48 ve 72 saat çimlendirilerek elde edilmiş amarant ununun %20 ve %40 oranlarında glutensiz muffin formülasyonuna ikame edilmesiyle birlikte örneklerin spesifik hacim değerlerinin %100 pirinç unuyla üretilen kontrol örneğine kıyasla arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada 96 saat çimlendirilerek elde edilen amarant ununun muffinlere %20 ve %40 oranında ikame edilmesiyle beraber örneklerin spesifik hacimlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Spesifik hacim değerinde tespit edilen bu azalmanın, artan amilolitik enzim aktivitesiyle beraber nişasta içeriğinin azalması, indirgen şeker içeriğinin artması ve bu durumun hamur viskozitesini artırmasından kaynaklandığı rapor edilmiştir. Bir başka çalışmada, ekmek hacminde görülen azalmanın, ekmek formülasyonundaki gluten ağında görülen seyrelmedeye atfedilebileceği, çünkü bu seyrelmenin fermantasyon sırasında oluşan CO₂ gazının tutulmasını sınırlandırdığı ve gluten mukavemetini azalttığı bildirilmiştir (Olubunmi ve ark., 2015).

Literatürde bildirilen çalışmaların sonuçlarından görüldüğü üzere, ürünlerin spesifik hacim değerleri üzerinde; kullanılan hammaddelerin cinsi, hamur formülasyonunda kullanılan ana bileşenin gluten içerip içermemesi, ikame maddelerine uygulanan çimlendirme koşulları ve ikame oranları gibi pek çok faktör etkilidir. Literatürde atfedilen tüm çalışmalar doğrultusunda, ekmek formülasyonunda çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikame oranı arttıkça örneklerin ağırlıklarının artıp, hacim ve spesifik hacim değerlerinin azalmasının nedeninin, formülasyondaki gluten içeriğinin azalması, diyet lif içeriğinin dolayısıyla hamurun su tutma kapasitesi ile viskozitesinin artması ve hamurun daha az gaz tutma özelliği göstermesi olduğu sonucuna varılabilir.

Ekmek örneklerinin hacim ve spesifik hacim değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonunun etkileri Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de gösterilmektedir. Artan ikame oranıyla beraber, ekmek örneklerinin hacim ve spesifik hacim değerlerinde tespit edilen önemli azalma, interaksyon grafiklerine de açıkça yansımıştır.



Şekil 4.30. Ekmek örneklerinin hacim değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu



Şekil 4.31. Ekmek örneklerinin spesifik hacim değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu

Tebben ve ark. (2020) bir çalışmalarında kontrol ekmek örneğinin ağırlık, hacim ve spesifik hacim değerlerini sırasıyla 152.98 g, 660 cm³ ve 4.31 cm³/g olarak tespit etmişlerdir. Yaver ve Bilgiçli (2021b) ise iki farklı kontrol ekmek örneğinin ağırlık, hacim ve spesifik hacim değerlerinin yine sırasıyla 156.80 g, 462.90 ml, 2.94 ml/g ve 145.76 g, 622.61 ml, 4.27 ml/g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Literatürde yer alan bazı diğer çalışmalarda ise kontrol tam buğday ekmek örneğinin spesifik hacminin 4.23 ml/g (Lin ve ark., 2020), kontrol tost ekmeğinin spesifik hacminin 5.38 cm³/g (Sadeghzadeh Benam ve ark., 2021) ve ilkel tam buğday unu ekmeğinin spesifik hacminin ise 3.184 l/kg (Parenti ve ark., 2020) olarak bulunduğunu bildirilmiştir. Ni ve ark. (2020) bir çalışmalarında kontrol ekmeğinin spesifik hacim, yoğunluk ve ağırlık kaybı değerlerini

4.11 ml/g, 0.24 g/ml ve %13.79 olarak tespit ederken, Sahagun ve ark. (2020) glutensiz kontrol ekmeğinin spesifik hacim ve ağırlık kaybı değerlerini 5.53 ml/g ve %22.95 olarak tespit etmişlerdir. Deskriptif farklılıklara karşın, bu çalışmadan elde edilen verilerin literatürle uyumlu olduğu söylenebilir.

4.3.3. Tekstür analiz sonuçları

Tüketici tercihinde çok büyük rol alan tekstürel özellikler, ekmekteki başlıca kalite kriterlerinden birisi olarak görülebilir. Ekmekteki en önemli tekstürel özelliklerin sertlik, elastikiyet, koheziflik ve yapışkanlık olduğu söylenebilir. Sertlik, ekmek örneklerinin ısırılması için gereken kuvvet miktarı ya da örneğin azı dişleri arasına sıkıştırılması için gereken maksimum kuvvet olarak tanımlanmaktadır (Carson ve Sun, 2001; Chandra ve Shamasundar, 2015). Elastikiyet, ekmek örneğinin kısmi olarak sıkıştırılmasından sonra orijinal boyutuna dönme derecesidir. Elastikiyet, tekstür profil analizinde (TPA) viskoelastik ve yapışkan katı yapıya sahip örneklerin yayılma derecesinin bir ölçüsü olarak görülebilir. Elastikiyet ve esneklik, örneğin ilk sıkıştırmaya tabi tutulması ve daha sonra orijinal şeklini geri kazanmasına izin verilmesi ile alakalı ölçütlerdir. Fakat bu süreçte, elastikiyet örneğin eski haline dönme yüzdesini temsil ederken, esneklik ise örneğin eski haline dönme hızının göstergesidir. Koheziflik, çiğneme sırasında ekmek kütesinin bir arada kalma derecesi olarak tanımlanmaktadır ve ekmek kalitesinin ön görülmesinde iyi bir parametre olarak kabul edilmektedir (Armero ve Collar, 1997; Carson ve Sun, 2001). Düşük sertlik ve yüksek koheziflik özelliklerine sahip yarı katı gıdalar için önemli bir özellik olan sakızimsılık, sertlik ve koheziflik özelliklerinin ortak etkisini temsil eden bir tekstürel parametredir. Çiğnenebilirlik ise genellikle katı gıdaların tekstürünü temsil eden bir özellik olup, bir gıdayı çiğnemek için gereken enerjinin bir ölçüsüdür. Çiğnenebilirlik, sakızimsılık ve elastikiyet özelliklerinin ya da sertlik, koheziflik ve elastikiyet özelliklerinin ortak etkisini temsil etmektedir (Chandra ve Shamasundar, 2015).

Ekmekte depolama sırasında gerçekleşen bazı fiziksel ve kimyasal değişiklikler, ekmeğin hem raf ömrünü hem de kalitesini olumsuz etkilemekte ve genellikle bayatlama olarak bilinmektedir. Bayatlama genellikle su kaybı, sertlik artışı ve doku sıkılaşması (ağ şeklinde plastikleşme) şeklinde gözlemlenir. Ekmek bileşimindeki nişastanın moleküler yapısındaki değişiklikler, modifikasyon derecesine bağlı olarak nişastanın fizikokimyasal özelliklerini ve bayatlamının derecesini etkileyebilmekle beraber, bayatlama

mekanizması üzerindeki en etkili iki faktörün nişasta retrogradasyonu ve su migrasyonu olduğu söylenebilir (Ding ve ark., 2019; Corrado ve ark., 2023).

Buğday unundaki nişastanın yapısı %20-30 oranında amiloz ve %70-80 oranında amilopektinden oluşmaktadır. Bu iki polimerin moleküler yapısı hem işleme hem de depolama sürecinde ekmeğin fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir. Ekmeğin depolanmasında, jelleşmiş olarak bulunan bu moleküllerin yeniden kristalleşmesi bayatlama üzerinde etkili rol oynamaktadır (Vamadevan ve Bertoft, 2018; Corrado ve ark., 2023).

Depolama sürecinde ekmek dokularındaki su moleküllerinin kabuk kısmına geçişi hızlanmakta, bu durum protein ile nişasta molekülleri arasında ağır plastikleşmesini desteklemekte ve sertliğin de artmasına neden olmaktadır (Bosmans ve ark., 2013; Corrado ve ark., 2023). Dolayısıyla nişasta ve su molekülleri haricinde, ekmeğin bayatlamasında rol oynayan bir diğer molekülün ekmeğin viskoelastik yapısını oluşturan gluten olduğu söylenebilir. Depolama sürecinde ekmekteki gluten ağı, su kaybına bağlı olarak viskoelastik yapısını kaybetmektedir. Depolama ve bayatlamayla birlikte ekmek yapısındaki gerçekleşen tüm bu değişimler ürünün tekstürel özelliklerine yansımaktadır.

Ekmek örneklerinin üretimden sonraki 1. güne ait tekstür profil analizi sonuçları Çizelge 4.42'de özetlenmiştir. Örnekler arasında en düşük sertlik (717.98 g), sakızimsılık (561.36 g) ve çiğnenebilirlik (553.34 g) değerleri ile en yüksek elastikiyet (0.968), koheziflik (0.783) ve esneklik (0.381) değerleri kontrol örneğinde bulunmuştur. En yüksek sertlik (4458.11 g) ve sakızimsılık (2736.73 g) değerleri ile en düşük koheziflik (0.496) değeri dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarantın %30 oranında ikame edildiği örnekte bulunmuştur. En düşük elastikiyet özelliğine sahip örneğin, *L. platarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş amarantın %30 oranında ikame edildiği ekmek olduğu görülmüştür. En yüksek çiğnenebilirlik ve en düşük esneklik özellikleri ise ultrasonla çimlendirilmiş amarantın %30 oranında ikame edildiği ekmek örneğinde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.42. Ekmek örneklerinin 1. gündeki tekstür profil analizi (TPA) sonuçları¹

Çeşit ²	Ön işlem ³	Oran	Sertlik (g)	Elastikiyet	Koheziflik	Sakızimsılık (g)	Çiğnenebilirlik (g)	Esneklik
	Kontrol		717.98±44.67	0.968±0.003	0.783±0.016	561.36±23.55	553.34±14.19	0.381±0.001
	D	10	832.61±22.53	0.942±0.001	0.726±0.004	609.17±24.27	576.66±20.71	0.319±0.004
		20	2114.56±104.13	0.873±0.004	0.620±0.017	1189.85±21.98	1045.75±31.10	0.277±0.017
		30	4102.22±28.27	0.806±0.004	0.557±0.012	2161.60±60.31	1741.36±40.57	0.229±0.002
KB	US	10	796.29±5.90	0.907±0.006	0.715±0.006	620.05±19.68	566.33±17.97	0.295±0.003
		20	2966.09±23.98	0.827±0.003	0.645±0.003	1791.45±16.44	1481.09±18.03	0.266±0.001
		30	4386.23±148.16	0.779±0.014	0.595±0.012	2607.96±37.77	2030.72±64.90	0.244±0.007
	Lp	10	863.65±34.18	0.917±0.001	0.750±0.015	604.62±4.78	557.49±6.65	0.334±0.017
		20	1639.63±42.30	0.847±0.003	0.717±0.001	1094.97±51.23	938.43±29.04	0.317±0.001
		30	3371.37±35.78	0.816±0.016	0.575±0.020	1976.87±7.17	1587.39±12.59	0.244±0.010
	D	10	1763.57±32.99	0.832±0.008	0.681±0.009	1170.94±23.94	957.79±12.37	0.256±0.006
		20	3427.26±20.73	0.718±0.003	0.565±0.016	1843.43±47.85	1336.47±16.45	0.192±0.004
		30	4458.11±27.47	0.740±0.033	0.496±0.013	2736.73±111.92	1709.26±46.47	0.165±0.013
A	US	10	1712.50±89.12	0.863±0.002	0.653±0.001	1240.97±93.51	979.41±9.00	0.246±0.004
		20	3433.78±34.29	0.858±0.041	0.537±0.033	1759.55±10.28	1385.30±60.35	0.187±0.021
		30	4029.19±18.39	0.757±0.034	0.631±0.039	2543.97±168.68	2526.10±409.50	0.142±0.013
	Lp	10	1535.80±35.40	0.848±0.004	0.680±0.018	1044.25±3.74	885.27±0.70	0.262±0.002
		20	2484.69±60.04	0.730±0.020	0.649±0.014	1572.22±34.68	1277.69±40.70	0.247±0.009
		30	4315.12±98.12	0.649±0.040	0.547±0.038	2150.19±96.72	1826.95±19.40	0.212±0.007

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çiğlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çiğlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çiğlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çiğlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çiğlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin 1. gün TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.43 ve 4.44'te gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre, örneklerin sertlik ve sakızimsılık değerleri üzerinde, bütün faktör ve interaksyonların etkilerinin istatistiksel anlamda $p<0.01$ düzeyinde önem arz ettiği görülmektedir. Elastikiyet değerleri üzerinde “ön işlem x oran” interaksyonunun etkisi önemsiz ($p>0.05$), ön işlem faktörünün ise $p<0.05$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Koheziflik değerlerinde, “ön işlem x çeşit” ve “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonlarının istatistiksel olarak önemli bir etkilerinin olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Çiğnenebilirlik ve esneklik değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit” interaksyonunun etkisinin önemsiz ($p>0.05$), “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonunun etkisinin ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunduğu görülmüştür. Ayrıca çiğnenebilirlik değerlerinde “çeşit x oran” interaksyonunun etkisinin de $p<0.05$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Tekstür değerleri üzerinde, diğer faktör ve interaksyonların etkilerinin ise $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.43. Ekmek örneklerinin 1. gündeki TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Sertlik		Elastikiyet		Koheziflik	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	1356511	103.86**	0.01	3.78*	0.01	8.89**
Çeşit (B)	1	3088042	472.87**	0.04	76.73**	0.02	33.40**
Oran (C)	3	83696521	4272.10**	0.30	179.28**	0.32	201.29**
AxB	2	379109	29.03**	0.02	14.12**	0.01	0.15ns
AxC	6	1742799	44.48**	0.01	1.95ns	0.03	9.45**
BxC	3	1621493	82.76**	0.01	8.62**	0.01	7.24**
AxBxC	6	870179	22.21**	0.02	5.02**	0.01	2.08ns
Hata	24	591.83		29.92		31.36	

¹* $p<0.05$ düzeyinde önemli, ** $p<0.01$ düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.44. Ekmek örneklerinin 1. gündeki TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları²

VK	SD	Sakızimsılık		Çiğnenebilirlik		Esneklik	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	569471	43.04**	520466	16.61**	0.01	26.86**
Çeşit (B)	1	966589	146.10**	463746	29.60**	0.03	225.36**
Oran (C)	3	22840611	1150.79**	13014160	276.85**	0.20	476.94**
AxB	2	200936	15.18**	9161	0.29ns	0.01	1.43ns
AxC	6	417693	10.52**	557625	5.93**	0.01	4.88**
BxC	3	469460	23.65**	215653	4.59*	0.01	26.06**
AxBxC	6	278317	7.01**	247380	2.63*	0.01	2.91*
Hata	24	162.13		39.99		76.62	

¹* $p<0.05$ düzeyinde önemli, ** $p<0.01$ düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Ekmek örneklerinin 1.gün TPA değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma analizi sonuçları Çizelge 4.45'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.45. Ekmek örneklerinin 1. gündeki testtür profil özelliklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Sertlik (g)	Elastikiyet	Koheziflik	Sakızımsılık (g)	Çiğnenebilirlik (g)	Esneklik
<i>Çeşit²</i>							
KB	12	1935.55±48.27 b	0.884±0.005 a	0.687±0.011 a	1195.05±26.19 b	1015.44±23.68 b	0.306±0.005 a
A	12	2442.83±45.88 a	0.824±0.016 b	0.649±0.019 b	1478.86±55.16 a	1212.02±54.79 a	0.254±0.007 b
<i>Ön İşlem³</i>							
D	8	2266.79±40.68 b	0.855±0.007 ab	0.651±0.013 b	1354.30±42.17 b	1059.25±24.51 b	0.275±0.006 b
US	8	2345.01±51.15 a	0.866±0.013 a	0.668±0.016 ab	1460.84±49.18 a	1259.45±76.02 a	0.268±0.006 b
Lp	8	1955.78±49.39 c	0.842±0.011 b	0.686±0.017 a	1195.73±30.68 c	1022.49±17.18 b	0.297±0.006 a
<i>Oran</i>							
0	6	717.98±44.67 d	0.968±0.003 a	0.783±0.016 a	561.36±23.55 d	553.34±14.19 d	0.381±0.001 a
10	6	1250.74±36.68 c	0.884±0.003 b	0.701±0.009 b	881.67±28.32 c	753.83±11.23 c	0.285±0.006 b
20	6	2677.67±47.58 b	0.808±0.012 c	0.622±0.014 c	1541.91±30.41 b	1244.12±32.61 b	0.248±0.009 c
30	6	4110.37±59.37 a	0.758±0.023 d	0.566±0.022 d	2362.89±80.43 a	1903.63±98.91 a	0.206±0.009 d

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

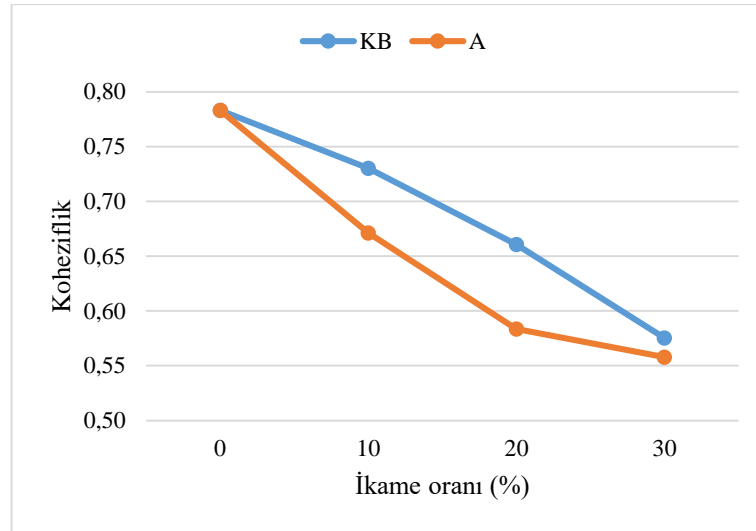
²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerlerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen ekmeklerden istatistiksel olarak daha yüksek, sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin ise daha düşük bulunduğu görülmektedir (Çizelge 4.45).

Sawettanun ve Ogawa (2022) bir çalışmalarında, ekmeklerde tespit edilen yüksek sertlik ve sakızimsılık değerlerinin, maya aktivitesi sonucu açığa çıkan CO₂ miktarının düşük olmasından ve fermantasyon sırasında hamurun az kabarmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada ekmekteki esneklik değerinin un ve hamurun protein içeriğiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Al-Saleh ve Brennan, 2012). Bir diğer çalışmada ise yüksek elastikiyet değerlerinin, yüksek jelatinize nişasta içeriği ile ilişkisine dikkat çekilmiştir (Hoseney, 1994; Nasir ve ark., 2020). Dolayısıyla, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant ikameli ekmeklerin tekstürel özellikleri arasındaki farklılıkların, örneklerin kabarma özellikleri ve kimyasal içerikleri arasındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmeklerin hacim değerlerinin amarant unu ikameli ekmeklere göre yüksek bulunması da çimlendirilmiş karabuğday ikamesine sahip örneklerin sertlik değerlerinin düşük, esnekliklerinin ise yüksek bulunması hipotezini destekler niteliktedir (Çizelge 4.45). Benzer şekilde, Nasir ve ark. (2020) buğday ekmeğinde amarant unu ikamesiyle örneklerin sertlik, sakızimsılık, çiğnenebilirlik, koheziflik ve elastikiyet değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ekmek için en önemli tekstür özelliklerinden birisi olarak görülebilecek sertlik değerindeki artışın, amarant unu ikamesiyle nem değerlerinin azalması ve gluten ile diyet lif arasındaki etkileşimin artmasından kaynaklandığı bildirilmiştir.

Ekmek örneklerinin 1. gün koheziflik değerleri üzerinde “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.32’de gösterilmektedir. KB örneklerinin koheziflik değerlerinin A örneklerinden yüksek bulunması, interaksiyon grafiğine de doğrudan yansımaktadır.



Şekil 4.32. Ekmek örneklerinin 1. gün koheziflik değerleri üzerinde etkili “çeşit x oran” interaksyonu

Ön işlem faktörü açısından, istatistiksel olarak en yüksek sertlik ve sakızimsılık değerleri ultrason uygulanan örneklerde, en düşük sertlik ve sakızimsılık değerleri ise *L. plantarum* inoküle edilen örneklerde bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.45). Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesinin, ekmek örneklerinin elastikiyet değerlerini istatistiksel olarak önemli derecede artırıcı, *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesinin ise azaltıcı bir etkisinin olduğu görülmüştür ($p < 0.05$). Buna karşın dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin elastikiyet değerleri ile diğer ön işlemlerin uygulandığı örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önem arz etmediği söylenebilir ($p > 0.05$).

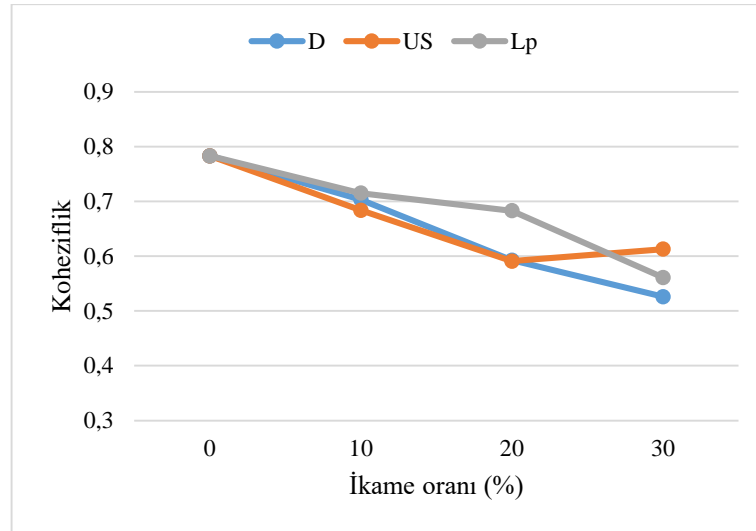
Lp örneklerinin koheziflik değerleri istatistiksel anlamda daha yüksek, D örneklerinin koheziflik değerleri ise daha düşük bulunurken ($p < 0.05$), US örneklerinin D ile Lp örnekleriyle arasında fark istatistiksel olarak göz ardı edilebilir bulunmuştur ($p > 0.05$). Ultrason uygulamasına sahip örneklerin çignenebilirlik değerleri ve *L. plantarum* inokülasyonuna sahip örneklerin esneklik değerleri diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). D ile Lp örneklerinin çignenebilirlik değerleri ve D ile US örneklerinin esneklik değerleri arasındaki deskriptif farklılıkların ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$) (Çizelge 4.45).

Yaldagard ve ark. (2007) farklı güç ve sürelerde uygulanan ultrason işleminin arpanın çimlenme süresi ve α -amilaz aktivitesi üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışmada, ultrason uygulamasıyla birlikte örneklerin çimlenme süresinin kısaldığını, α -amilaz aktivitelerinin ise arttığını bildirmişlerdir. Ekmekte CO_2

oluşumunun esas olarak amilolitik aktiviteden ve zedelenmiş nişasta içeriğinden etkilendiği, ayrıca yüksek amilolitik aktivitenin ekmek üretiminde cıvık hamur, yapışkan ekmek iç dokusu, küçük gözenek ve düşük hacimli ürün elde edilmesine neden olduğu bilinmektedir (Ertugay, 2010). Ayrıca, fermantasyon sırasında açığa çıkan CO₂ miktarının az ve hamurun kabarma özelliklerinin düşük olduğu durumlarda ekmeğin sertlik ve sakızimsılık değerlerinin arttığı bilgisi de literatürde yer almaktadır (Sawettanun ve Ogawa, 2022). Dolayısıyla ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin diğer örneklerden yüksek bulunmasının, uygulanan ultrason işleminin amilolitik aktiviteyi artırıcı etkisinin bir sonucu olduğu yorumu yapılabilir.

Woo ve ark. (2020) bir çalışmalarında, *Lactobacillus plantarum*'dan elde edilen hücre ekstraktının ekmek formülasyonunda kullanımıyla, örneklerin 4°C'de 7 gün depolama sonrasında bayatlama hızlarının ve sertliklerinin kontrol örneğine kıyasla sırasıyla %25 ve %63 oranlarında azaldığını tespit etmişlerdir. Dolayısıyla, *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin sertlik ve sakızimsılık değerlerinin diğer örneklere göre düşük bulunmasının muhtemel nedeninin, örneklerdeki *L. plantarum* yükü olduğu yorumu yapılabilir. *L. plantarum* inokülasyonuna sahip örneklerin esneklik değerlerinin yüksek bulunmasına benzer şekilde Di ve ark. (2018), buharda pişirilen geleneksel Çin ekmeğinde *L. plantarum* M616 içeren ekşi maya kullanımıyla birlikte örneklerin esneklik değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada, *L. plantarum* starterine sahip ekşi maya kullanımının ekmek örneklerinin kalitesini artırdığı ve depolama sürecinde örneklerin bayatlamasını da geciktirdiği belirtilmiştir.

Ekmek örneklerinin 1. gün koheziflik değerleri üzerinde “ön işlem x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.33'te gösterilmektedir. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikame oranlarındaki artış, ekmek örneklerinin koheziflik değerlerine bir düşüş olarak yansımıştır.



Şekil 4.33. Ekmek örneklerinin 1. gün koheziflik değerleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” interaksiyonu

İkame oranındaki artışla beraber ekmek örneklerinin sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin istatistiksel olarak önemli arz edecek şekilde arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.45). Buna karşın artan ikame oranıyla beraber, ekmek örneklerinin elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerleri istatistiksel olarak önemli şekilde azalmıştır ($p < 0.05$).

Benzer şekilde, Xu ve ark. (2014) buharda pişirilmiş buğday ekmeğine %4, 8 ve 12 oranlarında karabuğday filizi unu ikame edilmesiyle beraber, örneklerin elastikiyet değerlerinin sırasıyla 0.856, 0.834 ve 0.809, koheziflik değerlerinin 0.741, 0.719 ve 0.692, esneklik değerlerinin ise 0.370, 0.351 ve 0.328 olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Yine bu çalışmada karabuğday filizi ikame edilen ekmek örneklerinin sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin ise %100 buğday unu ile üretilen kontrol ekmeğinden yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Hamurlardaki viskoelastik yapının oluşumunda büyük ölçüde gluten ağının sorumlu olduğu belirtilen bu çalışmada, testtürel özellikteki değişimlerin karabuğday filizi unu ikamesiyle birlikte ekmek formülasyonundaki gluten içeriğinin azalmasından kaynakladığı sonucuna varılmıştır.

Sturza ve ark. (2020) hamburger ekmeklerinde karabuğday ve karabuğday filizi unu ikamesinin örneklerin bazı kalite özellikleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışmalarında, artan oranlardaki karabuğday filizi unu ikamesiyle birlikte örneklerin sertlik, sakızimsılık, çiğnenebilirlik ve yapışkanlık değerlerinin de arttığını, elastikiyet ve koheziflik özelliklerinin ise azaldığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, çiğnenebilirlik ve sakızimsılık parametrelerinin, sertlikle orantılı eğilimler gösterdiği de bildirilmiştir. Bu çalışmada, karabuğday filizi unu

kullanım yüzdesi arttıkça ekmek örneklerinin sertliğinin de artmasının, formülasyondaki gluten içeriğindeki seyrelmeden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca gluten matrisinin, fermantasyon sırasında açığa çıkan gazları tutma kapasitesi ile örneklerin esneklik ve elastikiyet özellikleri üzerinde de önemli etkisinin olduğu belirtilmiştir.

Yeşil ve Levent (2022) glutensiz ekmek üretiminde fermente edilmiş yalancı tahıl unlarının kullanım imkanlarını araştırdıkları bir çalışmada, fermente karabuğday ve amarant unlarının %45 oranına kadar ikame edilmesiyle birlikte örneklerin sertlik değerlerinin istatistiksel olarak önemli şekilde artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ekmeklerde sertlik değerinin somun hacmi ve doku yoğunluğundan etkilendiği belirtilerek, yalancı tahıl unu kullanımının örneklerin hacminin azalmasına ve gözeneklerin küçülerek daha sıkı bir iç doku oluşumuna neden olduğu, bu durumun da ekmeklerin sertliğini artırdığı bildirilmiştir.

Guardianelli ve ark. (2022b) bir çalışmada, buğday ekmeğine çimlendirilmiş amarant unu ikame edilmesiyle birlikte örneklerin esneklik değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Esneklik değerlerindeki bu azalmanın, formülasyondaki elastikiyetten sorumlu büyük boyutlu proteinlerin miktarındaki değişimden etkilendiği bildirilmiştir. Benzer şekilde literatürde yer alan diğer çalışmalarda, amarant unu ikamesiyle ekmek örneklerinin spesifik hacim değerlerinin azaldığı, birim alanda daha fazla gözenek içeren bir iç doku elde edildiği, sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinin arttığı ve esneklik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir (Sanz-Penella ve ark., 2013; Miranda-Ramos ve ark., 2019).

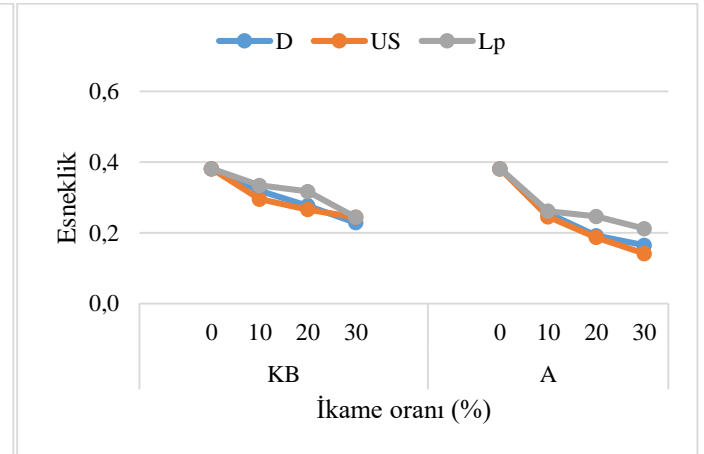
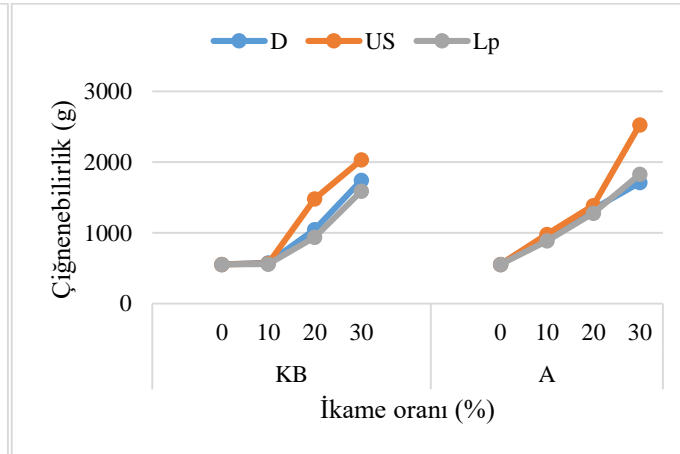
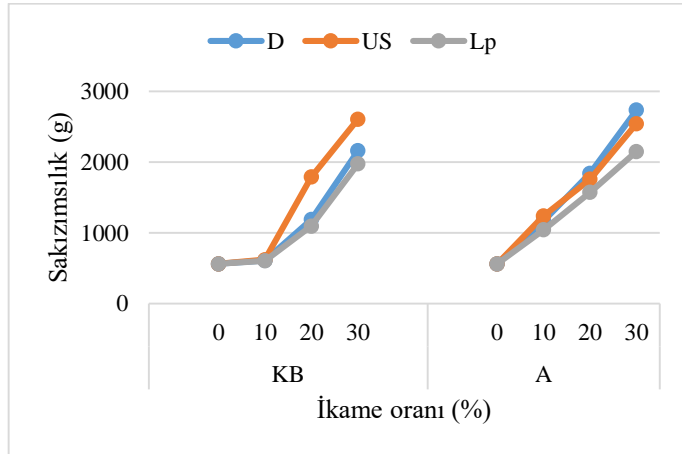
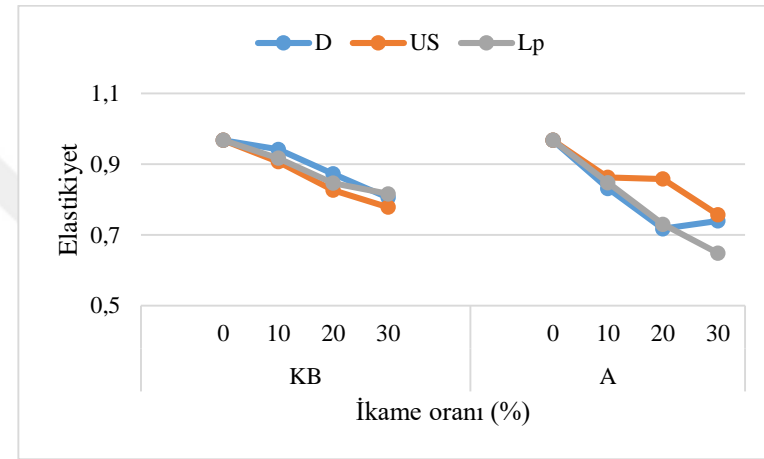
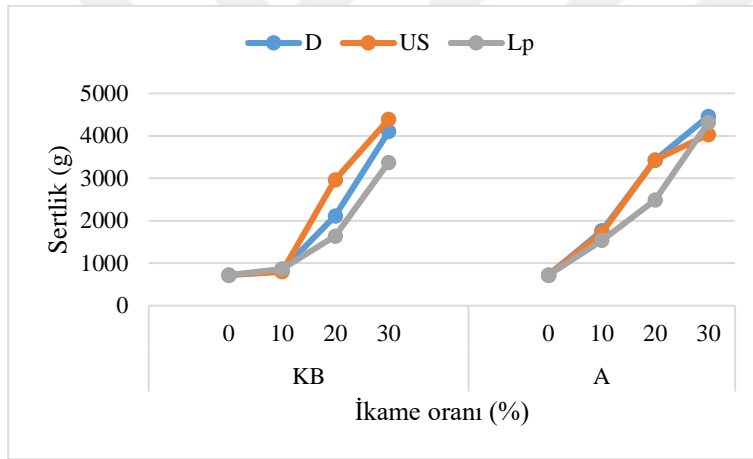
Guardianelli ve ark. (2019b) amarant ve çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle ekmek hamurlarının sertlik değerlerinde gözlenen artışı, 11S ve P-globulin tipi küresel proteinlerin miktarındaki artış ile açıklamışlardır. Gluten proteinlerine göre daha fazla su bağlayabilen bu proteinlerin, jelleşme özellikleriyle hamurda daha sıkı yapıda bir ağın oluşmasına katkıda buldukları bildirilmiştir. Ayrıca sertlik değerlerindeki artışta, amarant unu ikamesiyle diyet lif miktarının artmasının ve buna bağlı olarak gluten-lif etkileşimleri ile daha sıkı bir yapı oluşumunun da etkisinin olduğu belirtilmiştir.

Elastikiyet son ürünün tazeliği ile bağlantılı bir tekstürel özellik olup ekmeklerde elastikiyetin yüksek olması arzu edilmektedir (Turkut ve ark., 2016). Koheziflik ise ürünlerin iç yapışkanlık/koheziflik özelliklerini yansıtan bir parametredir ve yine ekmeklerde koheziflik değerinin yüksek olması istenmektedir (Encina-Zelada ve ark., 2019). Literatürde, ekmeklerin koheziflik ve çiğnenebilirlik özelliklerinin nem içeriğinden etkilendiği bilgisi de yer almaktadır (Sturza ve ark., 2020).

Dolayısıyla literatürde bildirilen bütün bu çalışmalardan yola çıkılarak, ekme formülasyonunda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesiyle son ürünlerin sertlik, sakızimsılık ve çignenebilirlik değerlerinin artmasının, elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerlerinin ise azalmasının başlıca nedeninin gluten içeriğindeki seyrelme olduğu söylenebilir. Ekmek formülasyonundaki gluten içeriğinin azalması, örneklerin hacimleri ile gözenek büyüklüğünün de azalmasına ve daha sıkı iç doku oluşumuna, ikame maddelerinin formülasyondaki kimyasal içeriklerde oluşturduğu değişiklikler ise su tutma özellikleri ile nem içeriğinin değişmesine neden olmaktadır. Son ürünün başta sertlik olmak üzere tekstürel özelliklerinde görülen farklılıkların, ürün formülasyonundaki bu değişimlerden kaynaklandığı sonucuna varılabilir.

Literatürde yer alan birçok çalışmada, buğday unundan üretilen ekme örneklerinde, bu çalışmadan elde edilen tekstür analizi sonuçlarına benzer sonuçlar bildirilmiştir. Fik ve Surówka (2002), bir çalışmalarında ekme örneğinin sertlik, koheziflik, elastikiyet, çignenebilirlik, yapışkanlık ve esneklik değerlerini depolamanın 1. haftasında sırasıyla 12.20 N, 0.60, 0.89, 6.67 N, -0.92 mJ ve 0.27 olarak tespit etmişlerdir. Jensen ve ark. (2015) ise bir çalışmalarında %100 buğday unu ile üretilen ekmeğin sertlik, kırılabilirlik, tokluk, kuruluk ve yapışkanlık değerlerini sırasıyla 4.50 N, 8.61, 8.57, 7.42 ve 10.59 N olarak tespit etmişlerdir. Aleixandre ve ark. (2021) buğday ekmeğinin sertlik, yapışkanlık ve koheziflik değerlerinin 6.20 N, 6.90 N.s ve 0.48 olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Yaver ve Bilgiçli (2021b) bir çalışmalarında, üretilen iki farklı kontrol örneğinin sertlik değerlerini 5.11 ve 9.93 N, elastikiyet değerlerini 0.929 ve 0.833, koheziflik değerlerini 0.714 ve 0.634, çignenebilirlik değerlerini 3.39 ve 4.94 N, esneklik değerlerini 0.344 ve 0.278, sıklık değerlerini ise 2.83 ve 6.65 olarak bulmuşlardır. Bir başka çalışmada, buğday ekmeğinin sıklık (g), sertlik (g), elastikiyet, koheziflik, çignenebilirlik (g) ve esneklik değerleri, üretimin birinci gününde sırasıyla 296, 530, 0.928, 0.728, 356 ve 0.356 olarak tespit edilmiştir. Tekstür analizine ait bu değerler üretimin üçüncü gününde ise sırasıyla 435, 783, 0.924, 0.627, 455 ve 0.264 olarak bulunmuştur (Yaver ve Bilgiçli, 2021b). Literatürde bildirilen bir başka çalışmada, buğday ekmeğinin sertlik, elastikiyet, koheziflik, sakızimsılık, çignenebilirlik ve esneklik değerlerinin 2.95 N, 0.95, 0.79, 2.33 N, 2.21 N ve 0.42 olarak bulunduğu bildirilmiştir (Yaver, 2022).

Ekmek örneklerinin 1. gün sertlik, elastikiyet, sakızimsılık, çignenebilirlik ve esneklik değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.34’te gösterilmektedir.



Şekil 4.34. Ekmek örneklerinin 1. gündeki bazı tektürel özellikleri üzerinde etkili “ön işlem çeşit x oran” interaksiyonu

Ekmek örneklerinin üretimden sonraki 3. güne ait tekstür profili analizi sonuçları Çizelge 4.46'da özetlenmiştir. Örneklerin genel olarak sertlik, sakızımsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin 1. güne kıyasla arttığı, elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerlerinin ise azaldığı görülmektedir. Ekmeklerin sertlik değerleri üretimden sonraki 3. günde 1520.02 ile 6940.96 g arasında değişim göstermiştir. En yüksek elastikiyet (0.887) ve koheziflik (0.584) değerleri ile en düşük sakızımsılık (934.19 g) değeri kontrol örneğinde tespit edilmiştir. En düşük elastikiyet değeri, dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarantın %30 oranında ikame edildiği ekmek örneğinde 0.706 olarak tespit edilmiştir. En düşük koheziflik (0.393) ve en yüksek sakızımsılık (4354.79 g) değerleri ise ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarantın %30 ikame oranında kullanıldığı örnekte bulunmuştur. Örneklerin çiğnenebilirlik değerleri 727.50 g ile 3375.59 g arasında değişim göstermiştir. 3. güne ait en yüksek esneklik değeri kontrol örneğinde 0.226 olarak tespit edilirken, en düşük esneklik değeri 0.133 olarak ultrasonla çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği ekmek örneğinde bulunmuştur.

Çizelge 4.46. Ekmek örneklerinin 3. gün tekstür profili analizi sonuçları¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Sertlik (g)	Elastikiyet	Koheziflik	Sakızimsılık (g)	Çiğnenabilirlik (g)	Esneklik
	Kontrol		1679.40±104.06	0.887±0.004	0.584±0.005	934.19±20.94	849.00±35.21	0.226±0.008
	D	10	2061.38±34.33	0.839±0.005	0.559±0.031	1150.23±44.39	965.39±42.94	0.226±0.021
		20	3251.22±136.93	0.829±0.057	0.446±0.002	1606.28±6.65	1236.08±9.55	0.169±0.006
		30	5867.02±81.80	0.766±0.006	0.445±0.004	3058.49±101.26	2262.21±15.00	0.160±0.006
KB	US	10	1520.02±26.74	0.872±0.003	0.556±0.005	878.02±10.72	727.50±8.85	0.215±0.005
		20	5089.46±45.29	0.856±0.005	0.510±0.036	2194.70±198.57	1878.64±159.20	0.168±0.012
		30	6940.96±28.43	0.826±0.044	0.418±0.014	3002.05±184.81	2194.31±9.27	0.133±0.005
	Lp	10	3193.29±27.13	0.875±0.004	0.562±0.007	1475.67±9.83	1147.25±77.19	0.223±0.010
		20	3477.64±125.51	0.845±0.006	0.457±0.013	1915.31±82.58	1543.65±132.81	0.162±0.004
		30	5831.35±93.94	0.816±0.008	0.412±0.005	2449.65±119.20	2096.20±65.70	0.142±0.004
	D	10	3131.60±109.80	0.788±0.003	0.568±0.028	1623.79±8.44	1278.11±2.62	0.191±0.010
		20	5604.46±62.37	0.731±0.008	0.527±0.011	2947.51±26.10	1713.78±1.81	0.212±0.005
		30	6201.91±438.07	0.706±0.003	0.440±0.017	3445.76±413.88	1930.96±215.37	0.159±0.012
A	US	10	3262.79±23.06	0.828±0.006	0.509±0.005	1706.20±18.02	1412.79±25.48	0.187±0.002
		20	6009.27±0.38	0.748±0.010	0.429±0.011	2513.94±126.58	1880.49±119.51	0.157±0.010
		30	6763.42±564.65	0.724±0.024	0.393±0.026	4354.79±62.50	3375.59±166.99	0.140±0.027
	Lp	10	2713.00±34.86	0.839±0.017	0.543±0.013	1472.64±53.25	1128.37±46.26	0.199±0.008
		20	4685.38±1.72	0.788±0.003	0.456±0.009	2303.34±124.47	1785.29±5.52	0.190±0.017
		30	6599.49±300.04	0.726±0.013	0.448±0.001	3291.40±225.03	2262.28±363.86	0.175±0.005

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin 3. gün tekstür özelliklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.47 ve 4.48’de verilmektedir. Ekmek örneklerinin sertlik ve sakızimsılık değerleri üzerinde “*ön işlem x çeşit*” interaksiyonunun, çiğnenebilirlik değerleri üzerinde ise “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisinin $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Örneklerin elastikiyet değerleri üzerinde “*ön işlem x çeşit*”, “*ön işlem x oran*” ve “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Koheziflik değerleri üzerinde ise çeşit faktörü ile “*ön işlem x oran*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri önemsiz ($p > 0.05$) bulunurken, ön işlem faktörünün etkisi $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ekmeklerin esneklik değerleri üzerinde çeşit faktörü ile “*ön işlem x çeşit*”, “*ön işlem x oran*” ve “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkisinin önemsiz bulunduğu dikkat çekmektedir ($p > 0.05$).

Ekmek örneklerinin üretimden sonraki 3. gündeki TPA değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.49’da gösterilmektedir. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen örneklerin elastikiyet değerlerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerin ise sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak daha yüksek bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$). Çeşit faktörü bakımından, örneklerin koheziflik ve esneklik değerleri arasındaki farkın ise istatistiksel olarak önemsiz bulunduğu görülmüştür ($p > 0.05$).

Collar ve Bollaín (2005) bir çalışmalarında, ekmekte baytalamanın ürünün sertlik, koheziflik ve esneklik özelliklerini etkileyerek ortaya çıkan kimyasal bir süreç olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada transglutaminaz-ksilinaz ve transglutaminaz- α -amilaz enzim kombinasyonlarının ekmek formülasyonunda kullanımı ile ürünün bayatlaması arasındaki sinerjik etkileşime dikkat çekilmiş ve transglutaminaz- α -amilaz enzim kompleksinin ise son ürünün koheziflik ve esneklik değerlerini etkileyerek bayatlama kinetiğini önemli derecede yavaşlattığı tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada ise transglutaminaz-proteaz enzim kombinasyonunun; nişasta-protein etkileşimlerini, protein polimerizasyonunun derecesini, hidrofobik kalıntıların sayısını ve dolayısıyla hamurdaki su mevcudiyetini değiştirebilme yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir (Caballero ve ark., 2007). Tüm bu bilgilerden yola çıkılarak, 1. gün tekstür analiz sonuçlarının aksine, 3. gün tekstür analizi sonuçlarında, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmek örneklerinin koheziflik ve esneklik değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmamasının muhtemel nedeninin, çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının enzim içerikleri arasındaki farklılık olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.47. Ekmek örneklerinin 3. gün TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Sertlik		Elastikiyet		Koheziflik	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	1808139	14.74**	0.01	6.93**	0.01	5.26*
Çeşit (B)	1	4990984	81.36**	0.03	63.07**	0.01	0.63ns
Oran (C)	3	158339735	860.37**	0.11	64.52**	0.19	179.19**
AxB	2	643371	5.24*	0.01	0.56ns	0.01	10.68**
AxC	6	5023984	13.65**	0.01	0.93ns	0.01	1.37ns
BxC	3	3800830	20.65**	0.01	9.19**	0.01	0.83ns
AxBxC	6	3554219	9.66**	0.01	0.56ns	0.01	4.33**
Hata	24	121.06		12.88		25.50	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.48. Ekmek örneklerinin 3. gün TPA değerlerine ait varyans analizi sonuçları²

VK	SD	Sakızmsılık		Çiğnenebilirlik		Esneklik	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	379655	5.95**	578276	11.85**	0.01	5.80**
Çeşit (B)	1	2929371	91.84**	614921	25.21**	0.01	0.03ns
Oran (C)	3	38089828	398.07**	16013648	218.83**	0.04	89.00**
AxB	2	221811	3.48*	348338	7.14**	0.01	2.28ns
AxC	6	1118845	5.85**	889697	6.08**	0.01	1.26ns
BxC	3	1253425	13.10**	222182	3.04*	0.01	9.25**
AxBxC	6	1245335	6.51**	1201642	8.21**	0.01	1.97ns
Hata	24	59.11		33.96		14.34	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

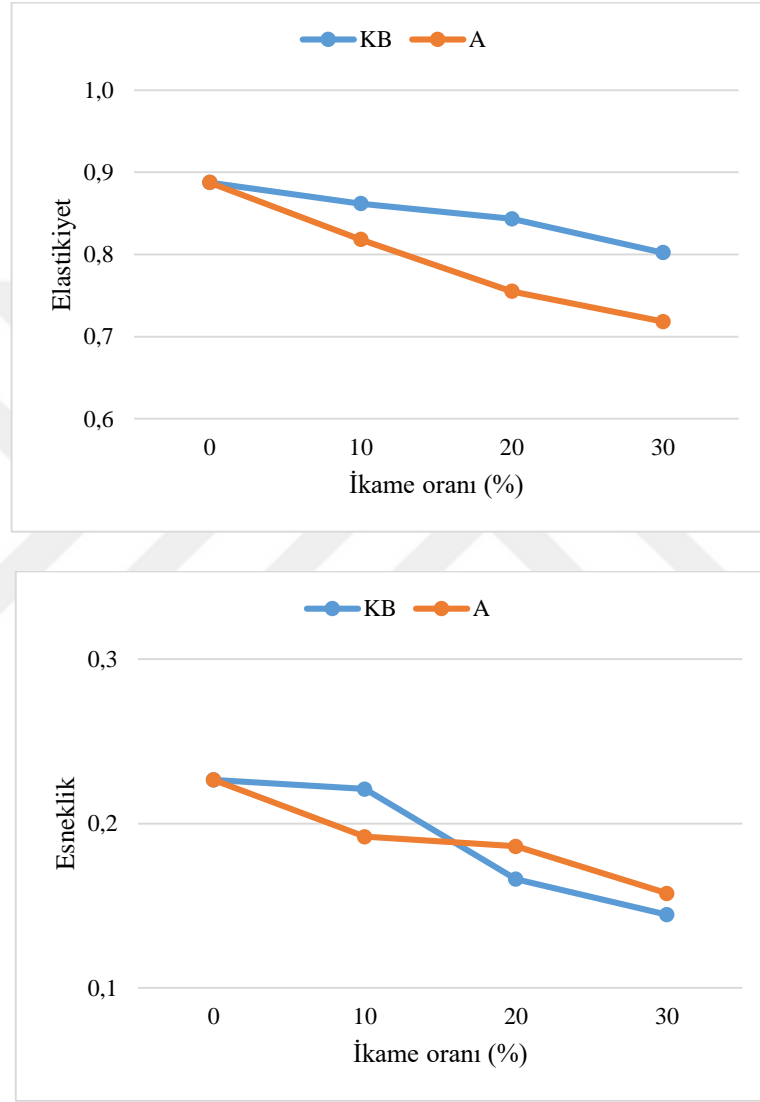
Çizelge 4.49. Ekmek örneklerinin 3. gün tekstür profil değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Sertlik (g)	Elastikiyet	Koheziflik	Sakızimsılık (g)	Çiğnenebilirlik (g)	Esneklik
<i>Çeşit²</i>							
KB	12	3522.54±76.02 b	0.849±0.012 a	0.509±0.011 a	1711.08±68.40 b	1383.18±52.18 b	0.190±0.008 a
A	12	4167.46±153.93 a	0.795±0.008 b	0.505±0.011 a	2205.16±93.42 a	1609.56±87.75 a	0.190±0.010 a
<i>Ön İşlem³</i>							
D	8	3684.55±133.93 b	0.804±0.011 b	0.519±0.013 a	1962.56±80.33 ab	1385.57±44.71 b	0.196±0.009 a
US	8	4118.09±112.08 a	0.828±0.012 a	0.498±0.013 b	2064.76±80.38 a	1645.92±69.96 a	0.182±0.010 b
Lp	8	3732.37±98.92 b	0.833±0.007 a	0.506±0.007 ab	1847.05±82.03 b	1457.63±95.22 b	0.193±0.008 a
<i>Oran</i>							
0	6	1679.40±104.06 d	0.887±0.004 a	0.584±0.005 a	934.19±20.94 d	849.00±35.21 d	0.226±0.008 a
10	6	2647.01±42.65 c	0.840±0.006 b	0.549±0.015 b	1384.43±24.11 c	1109.90±33.89 c	0.206±0.009 b
20	6	4686.24±62.03 b	0.799±0.015 c	0.470±0.013 c	2246.85±94.16 b	1672.99±71.40 b	0.176±0.009 c
30	6	6367.36±251.16 a	0.760±0.016 d	0.426±0.011 d	3267.02±184.45 a	2353.59±139.37 a	0.151±0.010 d

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin 3. gün elastikiyet ve esneklik değerleri üzerinde “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.35’te gösterilmektedir. İnteraksiyon grafiklerinde de görüldüğü üzere, ön işlem faktöründen bağımsız olarak, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesindeki artışla birlikte, ekmek örneklerinin elastikiyet ve esneklik değerleri azalmıştır.



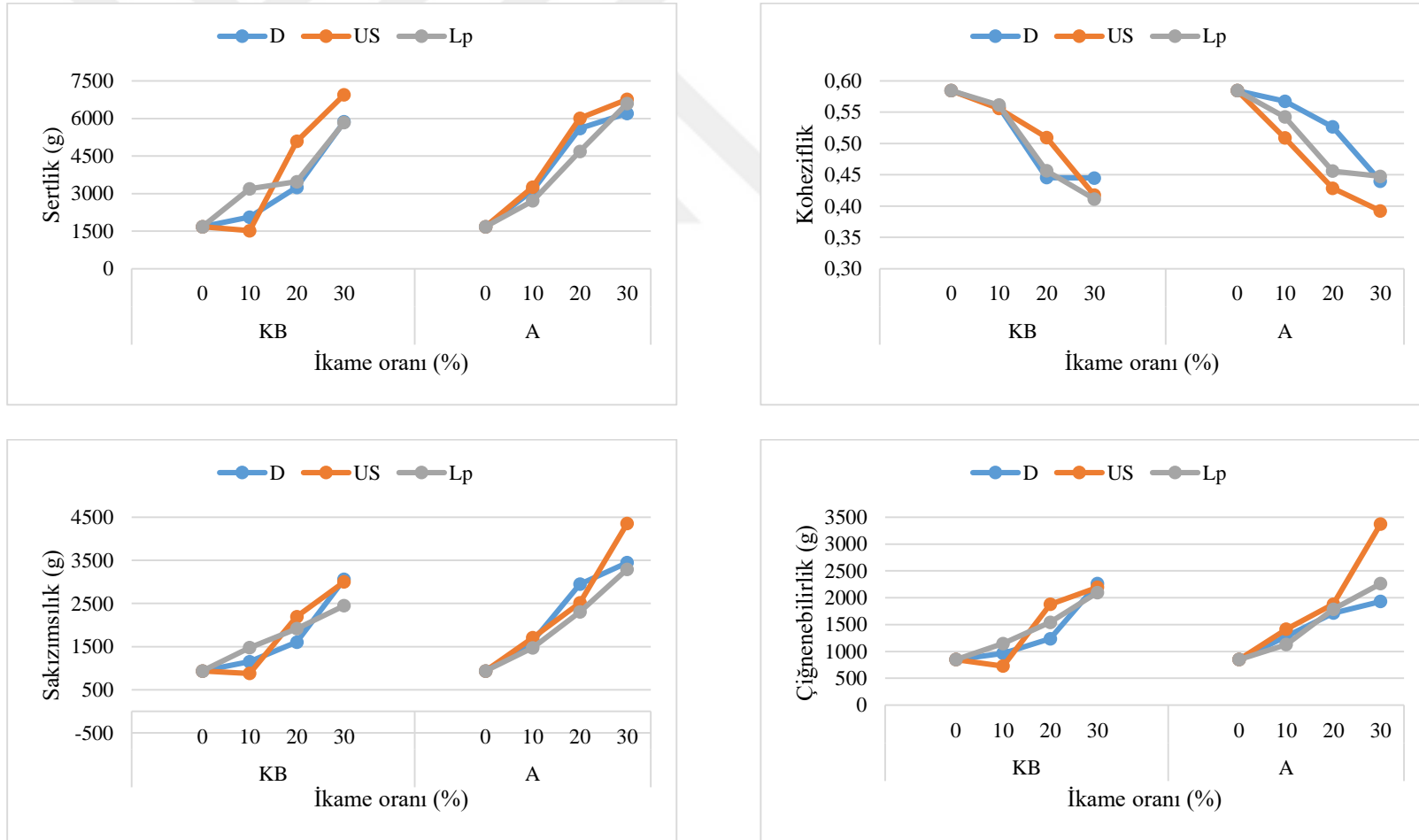
Şekil 4.35. Ekmek örneklerinin 3. gün elastikiyet ve esneklik değerleri üzerinde etkili “*çeşit x oran*” interaksiyonu

Ön işlem faktörü açısından, ultrason uygulanan örneklerin sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunduğu ($p < 0.05$), D ile Lp örneklerinin sertlik ve çiğnenebilirlik değerleri arasındaki deskriptif farklılıkların ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$) (Çizelge 4.49). D örneklerinin elastikiyet değerleri ile US örneklerinin esneklik değerleri

diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde düşük bulunmuştur ($p<0.05$). Buna karşın US ile Lp örneklerinin elastikiyet değerleri ve D ile Lp örneklerinin esneklik değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önem arz etmediği dikkat çekmektedir ($p>0.05$). D örneklerinin koheziflik değerlerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak daha yüksek, US örneklerine ait değerlerin ise daha düşük olduğu ($p<0.05$), Lp örneklerinin koheziflik değerlerinin ise D ile US örneklerinden istatistiksel olarak önemli derecede farklı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Benzer şekilde US örneklerine ait sakızimsılık değerleri istatistiksel olarak daha yüksek, Lp örneklerine ait değerler ise daha düşük bulunmuştur ($p<0.05$). Buna karşın, D örneklerinin sakızimsılık değerleri ile US ve Lp örnekleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Ekmek örneklerinin TPA değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları oran faktörü açısından ele alındığında, örneklere ait 1. ve 3. gün değerlerinin oldukça benzer bir eğilim gösterdiği dikkat çekmektedir (Çizelge 4.45). 3. gün TPA değerlerinde de 1. gün değerlerine benzer şekilde, ikame oranındaki artışla beraber sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerleri de istatistiksel olarak önemli şekilde artış göstermiştir ($p<0.05$). Elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerleri ise artan ikame oranıyla beraber, istatistiksel olarak önemli derecede azalmıştır ($p<0.05$). Örneklerin 3. güne ait TPA değerlerinin 1. gün değerleri ile uyum içerisinde olduğu ve tüm tekstürel özelliklerin benzer şekilde değiştiği görülmüştür.

Ekmek örneklerinin 3. gün sertlik, koheziflik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonunun etkileri Şekil 4.36’da gösterilmektedir. Artan ikame oranıyla birlikte, farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmek örneklerinin sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerleri artış, koheziflik değeri ise azalma göstermiştir.



Şekil 4.36. Ekmek örneklerinin 3. gündeki bazı tektürel özellikleri üzerinde etkili “ön işlem çeşit x oran” interaksiyonu

4.3.4. Kimyasal analiz sonuçları

Ülkemizde tüketimi oldukça fazla olan ekmek, yüksek karbonhidrat içeriği ile iyi bir enerji kaynağı olup, protein, lipit ve mineral madde içerikleriyle de temel besin ihtiyacını karşılayan bir üründür. Ekmeğin zenginleştirilmesi tüketicilerin sağlıklı ürünlere olan talebinin karşılanması için önem arz etmektedir. Geniş bir ürün yelpazesine sahip olan ekmekte yapılan zenginleştirme çalışmaları ile piyasadaki ürün çeşitliliği de giderek artmıştır. Bununla birlikte özellikle son yıllarda trend olan tüketim alışkanlıklarının piyasadaki ürün taleplerini değiştirmesi ile protein, vitamin ve diyet lif içeriği yüksek, glutensiz, düşük şekerli vb. ekmek üretimleri de artış göstermiştir (Hayıt ve Gül, 2017; Demir ve Olcay, 2020). Bu bağlamda gluten içermeyen yapıları ile yalancı tahıllar olarak da bilinen karabuğday ve amarant, zengin besinsel bileşimleri ve farklı fonksiyonel özellikleri ile gıdaların zenginleştirilmesi, katkılanması ya da yeni glutensiz formülasyonların geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır (Acun ve ark., 2022).

Ekmeğin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.50'de özetlenmektedir. Örneklerin nem içeriklerinin %35.08 ile %37.77 arasında, kül içeriklerinin %1.09 ile %1.60 arasında, ham yağ içeriklerinin %0.80 ile %1.97 arasında, ham protein içeriklerinin ise %13.10 ile %14.17 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Çizelge 4.50 incelendiğinde, en düşük dirençli (%1.28) ve toplam (%53.32) nişasta içeriklerinin kontrol ekmeğin örneğinde bulunduğu görülmektedir. En yüksek dirençli nişasta içeriği dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği ekmeğin örneğinde %3.69 olarak bulunurken, en yüksek toplam nişasta içeriği ise *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte %83.89 olarak tespit edilmiştir. Ekmeğin örneklerine ait karbonhidrat ve enerji değerlerinin ise sırasıyla %46.44 ile %48.78 ve 248.92 kcal/100 g ile 262.49 kcal/100 g arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. En düşük fitik asit içeriği 115.48 mg/100 g olarak kontrol örneğinde tespit edilirken, en yüksek fitik asit içeriği ise 194.25 mg/100 g olarak ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarantın %30 oranında ikame edildiği örnekte bulunmuştur.

Çizelge 4.50. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Nem (%)	Ham kül (%)	Ham yağ (%)	Ham protein (%)	Dirençli nişasta (%)	Toplam nişasta (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kcal/100 g)	Fitik asit (mg/100 g)	
Kontrol		0	37.19±1.09	1.09±0.04	1.02±0.01	13.38±0.07	1.28±0.06	53.32±3.55	47.32±1.05	251.96±4.49	115.48±0.59	
		10	36.87±0.14	1.18±0.03	1.70±0.34	13.89±0.13	2.86±0.09	64.03±5.50	46.44±0.38	255.88±1.00	133.84±3.55	
		D	20	36.36±0.34	1.38±0.01	1.26±0.04	13.72±0.02	3.04±0.10	69.61±1.22	47.27±0.29	255.43±1.60	161.67±2.96
KB		30	36.05±0.52	1.50±0.02	1.30±0.08	13.77±0.16	3.69±0.01	74.32±1.20	47.32±0.73	256.60±1.57	188.92±2.96	
		10	35.87±0.09	1.28±0.01	1.05±0.03	13.41±0.05	2.23±0.11	64.66±3.28	47.29±0.12	252.10±0.54	128.51±2.96	
		US	20	36.93±0.22	1.44±0.01	1.10±0.03	13.42±0.17	2.76±0.02	73.17±1.96	47.34±0.37	252.62±1.11	146.87±1.18
		30	36.80±0.17	1.49±0.02	1.05±0.01	13.18±0.01	3.41±0.05	77.94±2.35	48.36±0.20	256.01±0.78	169.97±0.59	
		10	36.88±0.01	1.28±0.02	1.17±0.13	13.20±0.01	2.01±0.05	67.96±5.55	46.71±0.09	248.92±0.79	135.62±0.59	
		Lp	20	37.77±0.08	1.42±0.01	1.03±0.01	13.18±0.10	2.79±0.03	77.43±2.37	47.37±0.17	252.57±0.20	148.65±0.59
	A		30	35.84±0.34	1.54±0.01	1.15±0.01	13.10±0.03	3.66±0.01	83.89±3.21	48.36±0.32	256.37±1.40	172.33±1.78
			10	35.87±0.02	1.26±0.02	0.80±0.01	13.50±0.03	1.67±0.09	54.82±3.69	48.45±0.02	254.96±0.08	119.63±0.01
			D	20	35.32±0.02	1.43±0.01	1.09±0.03	14.05±0.09	1.86±0.02	57.74±4.50	47.56±0.13	256.22±0.05
		30	35.93±0.50	1.58±0.03	1.97±0.41	14.17±0.04	2.59±0.17	69.31±2.12	47.02±0.10	262.49±3.92	178.26±4.15	
		10	35.43±0.02	1.27±0.01	0.97±0.01	13.55±0.07	1.54±0.05	60.58±2.08	48.57±0.09	257.24±0.16	136.80±4.15	
		US	20	35.44±0.01	1.44±0.02	0.96±0.01	13.73±0.02	1.83±0.01	65.87±3.64	48.63±0.01	258.10±0.10	167.60±0.59
		30	35.08±0.06	1.60±0.02	1.34±0.11	14.10±0.04	2.39±0.02	70.99±0.45	47.87±0.02	259.97±0.84	194.25±13.03	
		10	35.69±0.20	1.25±0.01	0.84±0.02	13.44±0.04	1.36±0.01	61.30±1.99	48.78±0.27	256.43±0.69	140.35±0.59	
		Lp	20	35.62±0.07	1.44±0.01	1.19±0.02	13.67±0.04	1.41±0.04	66.42±2.85	48.08±0.05	257.70±0.18	160.49±4.15
		30	35.13±0.09	1.60±0.01	1.41±0.10	14.08±0.08	2.25±0.01	74.83±4.04	47.79±0.11	260.15±0.12	188.92±7.70	

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.51 ve 4.52’de gösterilmektedir. Örneklerin nem değerlerinde çeşit ve oran faktörlerinin etkisi $p < 0.01$ düzeyinde önemli, ön işlem faktörü ve interaksiyonların etkisi ise istatistiksel anlamda önemsiz ($p > 0.05$) bulunmuştur. Kül değerleri üzerinde yine çeşit ile oran faktörlerinin etkisi $p < 0.01$ düzeyinde ve “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisi $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunurken, diğer faktör ve interaksiyonların etkisi önemsiz bulunmuştur.

Ham yağ sonuçları üzerinde ön işlem ve oran faktörleri ile “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkilerinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu dikkat çekmiştir (Çizelge 4.51). Ham yağ sonuçları üzerinde diğer etkenlerin ise istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür. Ekmek örneklerinin ham protein değerlerinde “*ön işlem x oran x çeşit*” interaksiyonunun $p < 0.05$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu, diğer tüm faktör ve interaksiyonların etkilerinin ise istatistiksel olarak $p < 0.01$ düzeyinde önem teşkil ettiği tespit edilmiştir.

Ekmek örneklerinin dirençli nişasta içerikleri üzerinde tüm faktörlerin ve “*çeşit x oran*” interaksiyonunun $p < 0.01$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.52). Dirençli nişasta içerikleri üzerinde diğer interaksiyonların etkilerinin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Toplam nişasta içerikleri üzerinde tüm faktörlerin $p < 0.01$ düzeyinde, “*çeşit x oran*” interaksiyonunun ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli etkisinin olduğu, diğer interaksiyonların etkilerinin ise önemsiz olduğu ($p > 0.05$) bulunmuştur.

Çizelge 4.52’de ekmek örneklerinin karbonhidrat içeriklerinde çeşit faktörünün etkisinin $p < 0.05$ düzeyinde, “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, enerji değerlerinde ise çeşit ve oran faktörlerinin etkilerinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunduğu görülmektedir. Karbonhidrat ve enerji değerlerinde diğer faktör ve interaksiyonların etkilerinin istatistiksel olarak önemsiz bulunduğu dikkat çekmektedir ($p > 0.05$). Fitik asit içerikleri üzerinde en etkili faktör ve interaksiyonların oran ve “*ön işlem x çeşit*” olduğu görülmüş, bunların istatistiksel olarak etkilerinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Çeşit faktörü ile “*çeşit x oran*” ve “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer faktör ve interaksiyonların etkilerinin ise istatistiksel anlamda önemsiz olduğu görülmüştür ($p > 0.05$).

Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.53’te özetlenmektedir.

Çizelge 4.51. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları 1¹

VK	SD	Nem		Ham kül		Ham yağ		Ham protein	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.24	0.25ns	0.01	2.79ns	0.38	6.98**	0.78	33.87**
Çeşit (B)	1	8.06	17.11**	0.01	8.51**	0.01	0.17ns	0.98	85.21**
Oran (C)	3	17.30	12.24**	1.46	418.87**	1.03	12.56**	0.85	24.61**
AxB	2	0.50	0.53ns	0.01	1.23ns	0.04	0.76ns	0.25	11.00**
AxC	6	0.35	0.12ns	0.01	0.71ns	0.32	1.94ns	0.28	4.13**
BxC	3	3.36	2.38ns	0.01	3.44*	0.81	9.85**	1.22	35.31**
AxBxC	6	0.81	0.28ns	0.01	1.00ns	0.41	2.52ns	0.20	2.90*
Hata	24	3.17		54.00		4.63		16.60	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.52. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait varyans analizi sonuçları 2¹

VK	SD	Direnci nişasta		Toplam nişasta		Karbonhidrat		Enerji		Fitik asit	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.66	9.24**	221.38	6.40**	2.17	2.34ns	11.28	0.68ns	53.24	1.11ns
Çeşit (B)	1	7.57	213.16**	421.92	24.38**	3.32	7.18*	112.61	13.53**	168.86	7.07*
Oran (C)	3	18.50	173.73**	3114.33	59.98**	1.55	1.12ns	275.24	11.02**	30002.98	418.54**
AxB	2	0.11	1.58ns	10.94	0.32ns	0.01	0.01ns	16.18	0.97ns	1246.10	26.07**
AxC	6	0.41	1.92ns	94.95	0.91ns	1.24	0.44ns	11.39	0.22ns	248.70	1.73ns
BxC	3	2.74	25.68**	161.83	3.12*	8.61	6.20**	38.51	1.54ns	220.79	3.08*
AxBxC	6	0.25	1.16ns	22.28	0.21ns	0.93	0.34ns	37.93	0.76ns	480.53	3.35*
Hata	24	35.56		9.82		2.07		3.05		56.73	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.53. Ekmek örneklerinin kimyasal analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Nem (%)	Ham kül (%)	Ham yağ (%)	Ham protein (%)	Dirençli nişasta (%)	Toplam nişasta (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kcal/100 g)	Fitik asit (mg/100 g)
<i>Çeşit</i> ²										
KB	12	36.74±0.43 a	1.32±0.02 b	1.15±0.06 a	13.42±0.07 b	2.52±0.86 a	67.75±10.49 a	47.37±0.49 b	253.53±1.87 b	144.40±1.58 b
A	12	35.92±0.35 b	1.34±0.02 a	1.14±0.06 a	13.70±0.05 a	1.73±0.48 b	61.82±7.69 b	47.89±0.33 a	256.59±1.64 a	148.15±3.16 a
<i>Ön İşlem</i> ³										
D	8	36.35±0.46 a	1.31±0.02 a	1.27±0.11 a	13.73±0.08 a	2.28±0.85 a	62.06±8.20 b	47.34±0.47 a	255.68±2.15 a	144.80±2.07 a
US	8	36.24±0.34 a	1.34±0.02 a	1.06±0.02 b	13.52±0.06 b	2.09±0.73 b	64.98±8.86 ab	47.84±0.36 a	254.99±1.56 a	146.87±2.96 a
Lp	8	36.41±0.37 a	1.34±0.02 a	1.10±0.04 b	13.43±0.05 b	2.00±0.81 b	67.31±10.97 a	47.72±0.39 a	254.50±1.55 a	147.16±2.07 a
<i>Oran</i>										
0	6	37.19±1.09 a	1.09±0.04 d	1.02±0.01 b	13.38±0.07 b	1.28±0.06 d	53.32±3.55 d	47.32±1.05 a	251.96±4.49 c	115.48±0.59 d
10	6	36.49±0.08 ab	1.25±0.01 c	1.05±0.09 b	13.50±0.06 b	1.94±0.52 c	62.22±5.46 c	47.70±0.16 a	254.25±0.54 bc	132.46±1.97 c
20	6	36.12±0.12 bc	1.42±0.01 b	1.12±0.02 b	13.62±0.07 a	2.28±0.61 b	68.38±6.50 b	47.71±0.17 a	255.44±0.54 ab	155.06±1.88 b
30	6	35.54±0.28 c	1.55±0.02 a	1.39±0.12 a	13.73±0.06 a	3.00±0.64 a	75.21±5.39 a	47.79±0.24 a	258.60±1.44 a	182.10±5.03 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Çeşit faktörü açısından çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen örneklerin nem, dirençli nişasta ve toplam nişasta içeriklerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerin ise kül, ham protein, karbonhidrat, enerji ve fitik asit değerlerinin istatistiksel olarak önemli derecede diğer örneklerden daha yüksek bulunduğu görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.53). Örneklerin yağ içeriklerinde ise ikame edilen çimlendirilmiş yalancı tahıl unu çeşidinin istatistiksel olarak önemli bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür ($p > 0.05$).

Banerji ve ark. (2018) %40 amarant unu ikameli geleneksel Hint lavaşının (chapatti) %31.57 nem, %3.32 kül, %13.03 protein ve %4.30 yağ içerdiğini bildirmişlerdir. Nasir ve ark. (2020) bir çalışmalarında %15 amarant unu ikameli buğday ekmeğinin nem, kül, protein ve yağ içeriklerini sırasıyla %33.24, %1.51, %13.11 ve %2.77 olarak tespit etmişlerdir.

Lin ve ark. (2009) %15 karabuğday unu ikameli buğday ekmeğinin nem, kül, protein, yağ ve karbonhidrat içeriğini sırasıyla %34.26, %1.11, %11.87, %4.13 ve %81.79 bulunduğunu bildirmişlerdir. Ghimire ve ark. (2021) %25 karabuğday unu ikameli ekmek örneklerinin %2.43 kül, %12.55 protein ve %4.89 yağ içerdiğini bildirmişlerdir.

Glutensiz ekmek örneklerinin bazı fizikokimyasal özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada %50'şer oranda amarant ve karabuğday içeren ekmek örneklerinin nem içeriklerinin sırasıyla %47.03 ve %47.05, kül içeriklerinin %1.71 ve %1.66, protein içeriklerinin %6.90 ve %6.72, yağ içeriklerinin %10.39 ve %12.74, mevcut karbonhidrat içeriklerinin ise %28.83 ve %27.05 olarak bulunduğu bildirilmiştir (Aguiar ve ark., 2022). Ayrıca bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Yeşil ve Levent (2022) bir çalışmalarında fermente amarant unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin fitik asit içeriklerinin (210.67 mg/100 g) fermente karabuğday unu ikamesiyle üretilen örneklere (196.12 mg/100 g) kıyasla daha yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir.

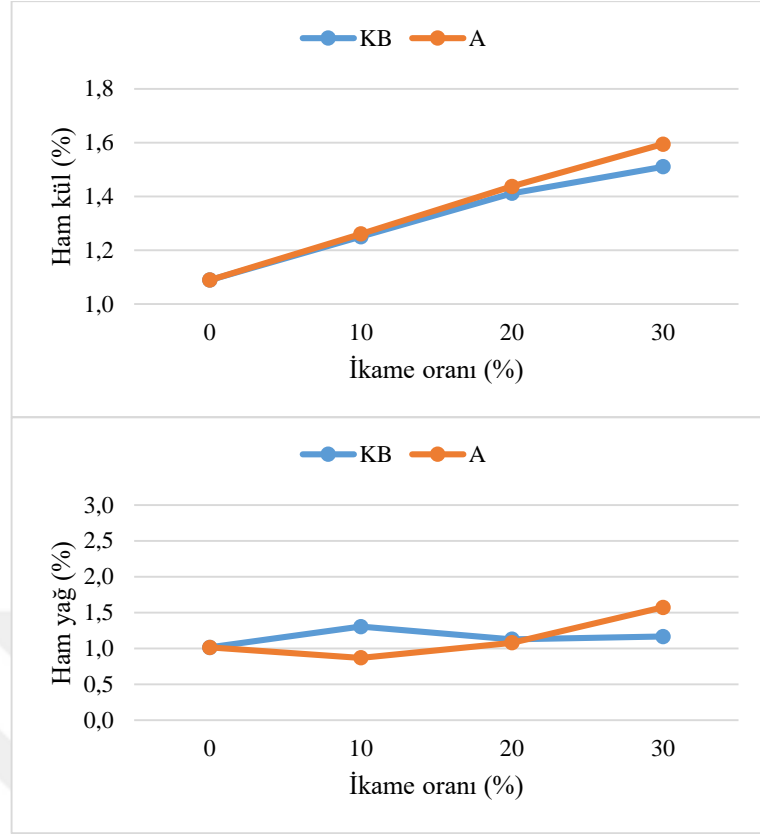
Literatürde bildirilen bu çalışmalar çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmek örneklerinin kül, ham protein, ham yağ, karbonhidrat ve enerji değerlerinin çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerden yüksek bulunmasını destekler niteliktedir. Bununla birlikte, literatürde çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle üretilmiş ekmek örneği ile alakalı çalışmalara rastlanmamış olup, bu durum bu çalışmanın orjinalliğini de ortaya koymaktadır. Ayrıca hammaddelere ait kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, çimlendirilmiş yalancı tahıl unları ve çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikameli ekmek örneklerinin kül ve protein içeriklerinin benzer eğilimler sergilediği dikkat çekmektedir (Çizelge 4.2 ve 4.53).

Tahıl ve yalancı tahılların çimlenme sürecinde, yağ molekülleri β -oksidasyon sırasında enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere yağ asitlerine parçalanmaktadır. Yağ moleküllerinin parçalanmasından sorumlu enzim lipaz olup, lipaz aktivitesi enzimin tohumda bulunmasına, tohum tipine ve çimlenme sürecine göre farklılık göstermektedir (Singh ve ark., 2015). Lipaz aktivitesi sonucu, serbest yağ asitleri açığa çıkarırken (serbest lipid fraksiyonu), lizo-lipidler gibi diğer hidroliz ürünleri bağlı lipid fraksiyonunda kalmaktadır. Bağlı lipid fraksiyonundaki polar lipidler, hekzan gibi apolar solventlerle çözümemekle birlikte, hamur yapımında hidrofilik bölgeleriyle gluten proteinine bağlanmaktadır. Açığa çıkan serbest yağ asitlerinin büyük bir kısmı ise amilozla kompleks oluşturmaktadır. Literatürde ayrıca, glutensiz hamurlarda polar lipidlerin hekzan ile ekstrakte edilebildiği bildirilmiştir (Gerits ve ark., 2014). Dolayısıyla, hammaddeler ve ekmek örneklerinin yağ değerleri arasındaki farklılıkların, hammaddelerin lipaz aktiviteleri, serbest yağ asidi içerikleri, yağ asitlerinin hamurda amiloz ve gluten gibi maddelerle olan etkileşimleri gibi pek çok farklılıktan kaynaklandığı söylenebilir.

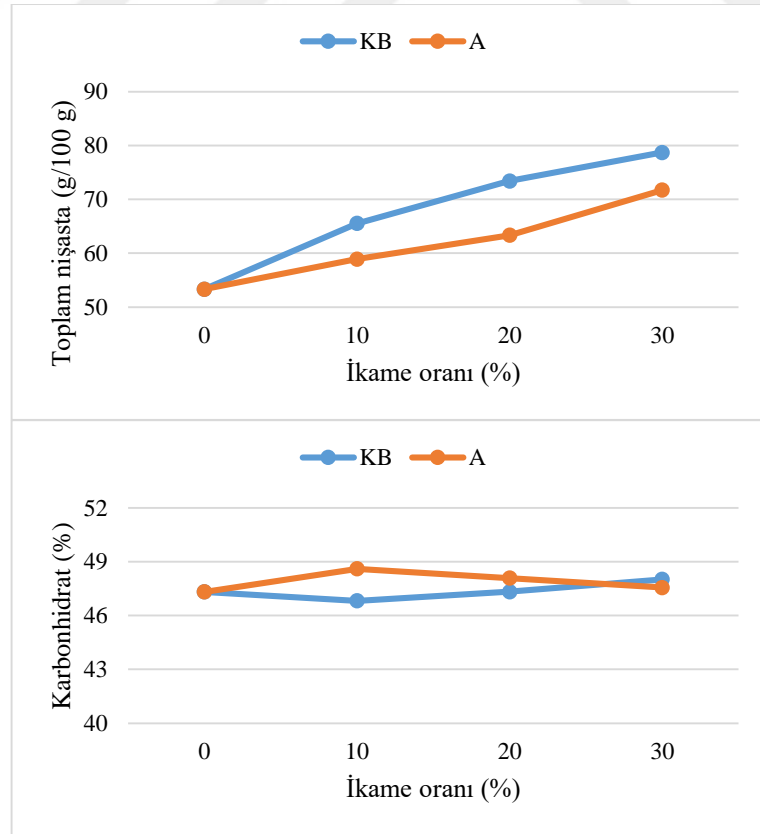
Buğdaydaki fitaz enzimi pH 5.1 değerinde optimum aktivite göstermektedir (Peers, 1953). Fitatlar pH 4.0 ile 6.0 arasında parçalanmakla beraber, optimum parçalanma pH 4.5 değerinde gerçekleşmektedir. Ekmek mayasının optimum fitaz aktivitesinin, buğdaydakinden daha düşük pH değerlerinde olduğu, bu nedenle mayalı ekmek üretiminde fitatların mayasız ekmeklere göre daha çok parçalandığı tespit edilmiştir (Türk ve ark., 1996). Bu bilgiler ışığında, hammaddeler ve ekmek örneklerinin fitik asit değerleri arasındaki farklılığın en önemli sebebinin, kullanılan hammaddelerin optimum fitaz aktivesi gösterdikleri pH değerleri arasındaki farklılık olabileceği söylenebilir. Ayrıca ekmek mayasından gelen fitaz aktivitesinin de bu farklılığa katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Bu noktada, örneklerin enzim aktivitelerinin de araştırılması, gelecek çalışmaların konusunu oluşturmaktadır.

KB ekmek örneklerinin dirençli nişasta ve toplam nişasta içeriklerinin yüksek bulunması, hammaddelere ait veriler doğrultusunda beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.2; 4.53).

Ekmek örneklerinin kül, ham yağ, toplam nişasta ve karbonhidrat içerikleri üzerinde “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de gösterilmektedir. İkame oranındaki artışla beraber ekmek örneklerinin ham kül ve toplam nişasta içeriklerinde tespit edilen artış, interaksiyon grafiklerine de doğrudan yansımıştır.



Şekil 4.37. Ekmek örneklerinin kül ve ham yağ içerikleri üzerinde etkili "çeşit x oran" interaksyonları



Şekil 4.38. Ekmek örneklerinin kül ve ham yağ içerikleri üzerinde etkili "çeşit x oran" interaksyonları

Çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından değerlendirildiğinde, ekmek örneklerinin nem, kül, karbonhidrat, enerji ve fitik asit analiz sonuçları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmadığı görülmektedir ($p>0.05$) (Çizelge 4.53). Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş yalancı tahılların ikame edildiği örneklerin ham yağ, ham protein ve dirençli nişasta içeriklerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Buna karşın ultrason uygulanarak ve *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin ham yağ, ham protein ve dirençli nişasta içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz bulunduğu dikkat çekmektedir ($p>0.05$). Dirençli nişasta sonuçlarının aksine D ekmek örneklerinin toplam nişasta içerikleri istatistiksel olarak diğer örneklerden düşük bulunurken ($p<0.05$), Lp ve US örneklerinin toplam nişasta değerlerinin arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemsiz kabul edilebileceği söylenebilir ($p>0.05$).

Hammaddelere ait kimyasal analiz sonuçlarında, ultrason ve bakteriyel inokülasyon uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının ham protein ve ham yağ içeriklerinin (ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu hariç) dezenfektan kullanılan örneklere göre deskriptif olarak düşük olduğu dikkat çekmektedir (Çizelge 4.2). Dolayısıyla ekmek örneklerinde de dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin ham yağ ve ham protein içeriklerinin yüksek bulunması beklenen bir sonuçtur.

Yang ve ark. (2015) soya fasulyesi filizi üzerine yaptıkları bir araştırmalarında, ultrason uygulamasının filizlerdeki lipitlerin parçalanmasını teşvik ettiğini gözlemlemişlerdir. Liu ve ark. (2021) ise yaptıkları bir derlemede ultrason uygulamasının; tahıl ve baklagillerdeki sınırlayıcı aminoasitler olan GABA, lizin ve metiyonin gibi esansiyel aminoasitlerin içeriğini artırıcı, alerjik proteinler ve tripsin inhibitörleri gibi antibesinsel özellikteki ve sindirilmeyen proteinlerin içeriğini azaltıcı, protein sindirilebilirliğini ise artırıcı etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada, ultrason uygulamasının hücre zarı geçirgenliğini değiştirme, kütle transferini hızlandırma ve enzimatik reaksiyonları teşvik etme potansiyeliyle aminoasit içeriklerini artırıcı etkisine vurgu yapılmıştır. Literatürdeki bu bilgilerden yola çıkılarak; ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarında serbest yağ asidi ve aminoasit içeriklerinin yüksek olduğu, bunların ekmek üretiminde kullanımında ise pişirme aşamasında sıcaklığın da etkisiyle serbest yağ asidi ve aminoasitlerin zarara uğradığı, bu

zararın ise ham yağ ve ham protein içeriğine azalma şeklinde yansıdığı yorumu yapılabilir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Pranoto ve ark. (2013) *Lactobacillus plantarum* ile fermantasyonun sorgum ununun bazı kimyasal özellikleri üzerine etkisini araştırdıkları bir çalışmalarında, 28 ve 36 saatlik bir fermantasyon sürecinden sonra örneklerin protein içeriğinde bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Protein içeriğinde gözlenen bu düşüşün, fermantasyonla aminoasitlerin amonyak ve aroma bileşiklerine metabolize edilmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Gänzle ve ark. (2007) bir çalışmalarında ekşi hamurdaki bazı *Lactobacillus* türlerinin lipid metabolizması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, ekşi hamurda doymamış yağ asitlerinin otooksidasyonu sonucu oluşan aroma bileşiklerinin bakteri faaliyeti katkısıyla alkollere dönüştürüldüğü belirtilmiştir. Dolayısıyla literatürdeki bu bilgilerden yola çıkılarak, *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin ham yağ ve ham protein içeriklerinin düşük bulunmasının sebebinin, üretim sırasında aminoasit veya yağ asitlerinin aroma bileşikleri ve alkoller gibi diğer kimyasal bileşiklere dönüştürülmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Ekmek örneklerinin dirençli nişasta analiz sonuçlarında, tarhana örneklerine benzer şekilde, US ve Lp uygulamasına sahip örneklere ait değerlerin düşük bulunması muhtemelen, uygulanan işlemlere bağlı olarak dirençli nişastanın yapısında gerçekleşen değişimlerden kaynaklanmaktadır. Ultrason uygulaması, dirençli nişastanın çift sarmal yapısını kısmen bozabilmekte, böylece enzim direncini de azaltıcı bir etki gösterebilmektedir. Ayrıca nişastanın yapısında gerçekleşen bu değişimler, sindirilebilir nişasta içeriğine de bir artış olarak yansımaktadır (Ding ve ark., 2021). Bu çalışmada, US ekmek örneklerinin sindirilebilir ve toplam nişasta içeriklerinin istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmasının (Çizelge 4.53; 4.70), ultrasonikasyonun nişastanın enzim direncini azaltıcı ve sindirilebilirliğini artırıcı etkisinin bir diğer kanıtı olduğu söylenebilir. Lp örneklerinde ise dirençli nişasta değerlerinin düşük bulunmasının, *L. plantarum*'un dirençli nişastayı karbon kaynağı olarak kullanmasından kaynaklandığı yorumu yapılabilir (Setiarto ve ark., 2018). Elde edilen dirençli ve toplam nişasta içeriği sonuçları, hem hammadde hem de tarhana örneklerine ait analiz sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur.

Ekmek örneklerinin kimyasal özelliklerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, ikame oranı arttıkça örneklerin nem

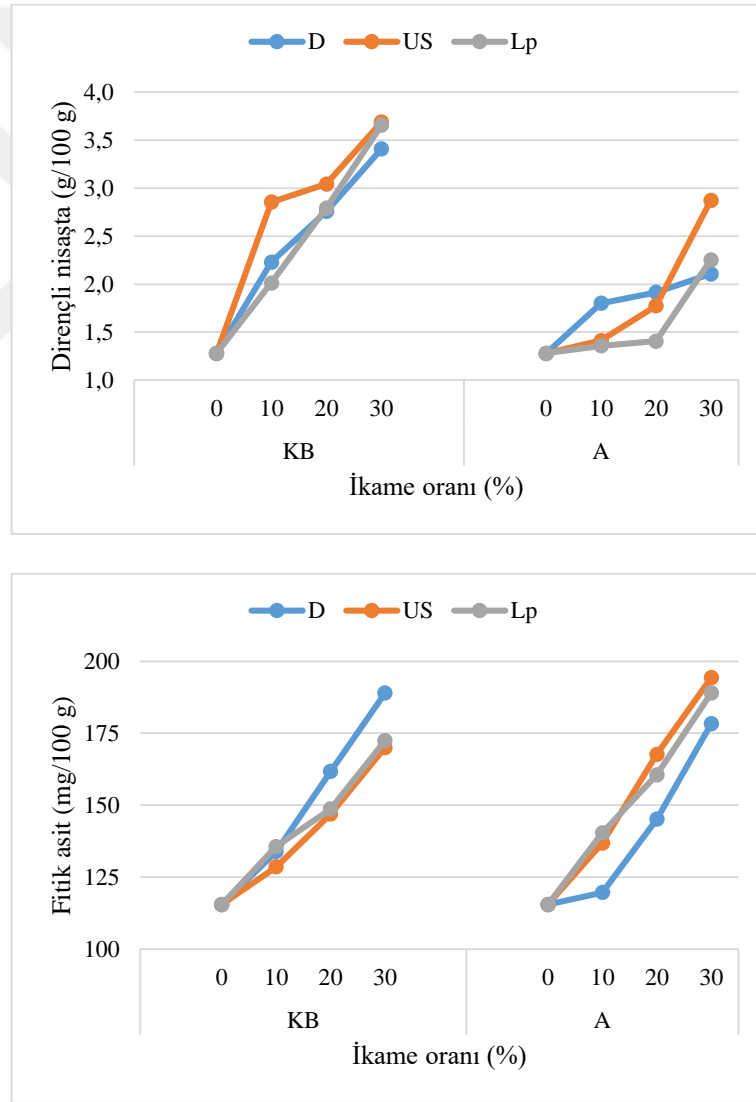
içeriklerinin azalan, kül, ham yağ, ham protein, fitik asit içerikleri ile enerji değerlerinin ise artan bir eğilim gösterdiği, bu değişimlerin ise genel olarak istatistiksel anlamda önemli bulunduğu dikkat çekmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.53). Buna karşın %0, 10 ve 20 ikame oranına sahip örneklerin ham yağ içerikleri arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemli bulunmadığı görülmektedir ($p > 0.05$). Benzer şekilde, %0-10 ve %20-30 ikame oranına sahip örneklerin ham protein içerikleri arasındaki farklılıklar da istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikame oranı arttıkça, ekme örneklerinin hem dirençli nişasta hem de toplam nişasta içeriklerinin istatistiksel olarak önemli derecede artış gösterdiği dikkat çekmektedir ($p < 0.05$). Örneklerin karbonhidrat içeriklerinin ise tüm ikame oranlarında istatistiksel olarak birbirinden önemli derecede farklı bulunmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

Benzer şekilde, literatürde yer alan çalışmalarda karabuğday ve amarant unu ikamesi ile ekme örneklerinin kül, yağ ve protein içeriklerinin arttığı bildirilmiştir (Banerji ve ark., 2018; Nasir ve ark., 2020; Ghimire ve ark., 2021; Aguiar ve ark., 2022). Glutensiz ekme formülasyonunda yalancı tahıl unu ikame oranındaki artışla beraber nem içeriğinde görülen azalma ve fitik asit içeriğinde görülen artış ise literatürde Yeşil ve Levent (2022) tarafından bildirilmiştir. İkame oranındaki değişimlerle birlikte ekme örneklerinin kimyasal kompozisyonunda görülen bu değişimlerin en büyük nedeni hammaddelerin kimyasal kompozisyonlarındaki farklılıklardır. Çimlendirilmiş karabuğday ile amarantın buğday unundan daha az nem, daha çok kül, ham yağ, ham protein ve fitik asit içermesinin, ekme örneklerinin kimyasal içeriklerindeki değişimlere doğrudan yansıdığı söylenebilir. Hammaddelere ait kimyasal analiz sonuçları da elde edilen verileri destekler niteliktedir (Çizelge 4.2).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Sanz-Penella ve ark. (2013) bir çalışmalarında, ekme örneklerinde %40'a kadar olan amarant unu ikamesiyle birlikte örneklerin dirençli nişasta içeriklerinin önemli derecede arttığını bildirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, kontrol ekmeğinin dirençli nişasta içeriği 1.81 g/100 g olarak bulunurken, amarant unu ikameli örneklerin dirençli nişasta içerikleri 1.90 g/100 g ile 2.10 g/100 g arasında değişim göstermiştir. Yine benzer şekilde literatürde, ekme örneğinde karabuğday unu ikame oranının %0'dan %50'ye artması ile dirençli nişasta içeriğinin %4.18'den %6.84'e yükselmesine neden olduğu (Wronkowska ve ark., 2008), rafine ve tam karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekme örneklerinin toplam ve dirençli nişasta içeriklerinin buğday ekmeğinden yüksek bulunduğu (Brites ve ark., 2022a), %30

ve %45 oranlarında rafine karabuğday unu ikameli ekmeklerin toplam nişasta içerikleri ile %30 ve %45 oranlarında rafine ve tam karabuğday unu ikameli ekmeklerin dirençli nişasta içeriklerinin buğday ekmeğinden yüksek bulunduğu (Brites ve ark., 2022b) bildirilmiştir. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının dirençli ve toplam nişasta içerikleri buğday ununa ait değerlerden yüksek olduğu için ikame oranındaki artışla beraber nişasta değerlerinin de artması beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.2).

Ekmek örneklerinin dirençli nişasta ve fitik asit içerikleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonunun etkileri Şekil 4.39’da gösterilmektedir. İkame oranındaki artışla birlikte örneklerin dirençli nişasta ve fitik asit içeriklerinde tespit edilen artış, grafiklerde de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.39. Ekmek örneklerinin dirençli nişasta ve fitik asit içerikleri üzerindeki etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu

Bu çalışmanın sonuçlarına benzer şekilde; Adu ve ark. (2023) bir çalışmalarında, %100 buğday unundan üretilen ekmek örneğinin nem, yağ, kül, ham protein ve karbonhidrat içeriklerini sırasıyla %23.50, 14.50, 0.45, 10.18 ve 50.30 olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada buğday ekmeğinin ham lif içeriği %1.01 olarak bulunurken, enerji değeri 372.50 kcal/100 g olarak tespit edilmiştir. Ewunetu ve ark. (2023) kompozit un karışımlarının ekmek kalitesi üzerindeki etkisini araştırdıkları bir çalışmalarında, kontrol ekmek örneğinin nem, kül, ham yağ, ham protein ve karbonhidrat içerikleri ile enerji değerini sırasıyla %29.92, %0.67, %1.13, %10.02, %56.27 ve 275.30 kcal/100 g olarak tespit etmişlerdir. Abel ve ark. (2023) bir çalışmalarında kontrol ekmek örneğinin nem, kül, karbonhidrat, protein, eter ekstrakt ve enerji değerlerini 14.57, 5.06, 71.23, 11.97, 11.23 g/100 g ve 433.87 kcal/100 g olarak tespit ederken, Obasi ve Zakka (2023) kontrol ekmek örneğinin nem, yağ, protein, kül, karbonhidrat ve enerji değerlerinin sırasıyla %1.45, 18.50, 31.50, 1.25, 33.50 ve 418.13 kcal/100 g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir.

Literatürde glutensiz ekmek formülasyonu geliştirilmesi olanaklarının araştırıldığı bir çalışmada, %50+%50 oranlarında amarant ve pirinç unu içeren ekmek örneklerinin nem, kül, protein ve yağ içerikleri 47.03, 1.71, 6.90 ve 5.13 g/100 g olarak bulunurken, %50+%50 oranlarında karabuğday ve pirinç unu içeren örneklere ait bu değerler 47.05, 1.66, 6.72 ve 4.78 g/100 g olarak tespit edilmiştir. Yine bu çalışmada %60+%40 oranlarında amarant ve pirinç unu içeren ekmek örneklerinin nem, kül, protein ve yağ içerikleri 47.47, 1.80, 6.92 ve 4.71 g/100 g bulunurken, %85+%15 karabuğday ve pirinç unu ile üretilen örneklere ait bu değerler 47.41, 1.00, 7.29 ve 4.17 g/100 g olarak tespit edilmiştir (Aguar ve ark., 2022).

Zula ve ark. (2020) bir çalışmalarında, kontrol ekmeğinin nem, protein, yağ, kül, karbonhidrat ve enerji değerlerinin sırasıyla %7.18, 8.17, 3.95, 1.36, 77.48 ve 378.15 kcal/100 g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada deneme deseninde yer alan en yüksek ikame oranı %40 olarak belirlenmiş olup, ekmek örneğine %40 oranında amarant unu ikame edildiğinde örneklerin nem, protein, yağ, kül, karbonhidrat ve enerji değerlerinin sırasıyla %7.71, 9.96, 4.94, 1.99, 73.41 ve 377.94 kcal/100 g olarak bulunduğu bildirilmiştir. Nasir ve ark. (2020) bir çalışmalarında, kontrol ve %15 amarant unu ikameli ekmek örneklerinin nem içeriklerini %31.06 ve 33.24, kül içeriklerini %0.92 ve 1.51, protein içeriklerini %12.17 ve 13.11, ham yağ içeriklerini ise %2.16 ve 2.77 olarak tespit etmişlerdir.

Sturza ve ark. (2020) bir çalışmalarında, %30 oranına kadar karabuğday filizi unu ikameli ekmek örneklerinin nem içeriklerinin %38.72-39.00 arasında, kül içeriklerinin %1.09-%1.80 arasında, toplam yağ içeriklerinin %2.74-%3.92 arasında ve protein içeriklerinin %9.03-%9.38 arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada kontrol ekmeğinin nem, kül, toplam yağ ve protein içeriği ise %39.94, 0.56, 1.17 ve 7.88 olarak bulunmuştur. Bir başka çalışmada buharda pişirilen ekmek örneklerine %4, 8 ve 12 oranlarında karabuğday filizi unu ikame edilmiş ve en yüksek ikame oranında kontrol örneğine kıyasla örneklerin nem içeriğinin 54.40 g/100 g'dan 51.22 g/100 g'a, protein içeriklerinin 12.34 g/100 g'dan 10.73 g/100 g'a, yağ içeriklerinin ise 2.15 g/100 g'dan 1.09 g/100 g'a düştüğü tespit edilmiştir (Xu ve ark., 2014).

Yeşil ve Levent (2022) fermente yalancı tahıl hamurlarının ekmek üretiminde kullanım olanaklarını araştırdıkları bir çalışmalarında, fermente karabuğday hamuru ile üretilen ekmeklerin nem, kül, ham protein, ham yağ ve fitik asit içeriklerini sırasıyla 51.27, 3.48, 6.18, 3.24 g/100 g ve 196.12 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada fermente amarant hamuru ile üretilen ekmek örneklerinin nem, kül, ham protein, ham yağ ve fitik asit içerikleri ise sırasıyla 53.78, 3.55, 6.96, 3.76 g/100 g ve 210.67 mg/100 g olarak bulunmuştur. Literatürde yer alan birçok çalışmada yalancı tahıl unları ya da yalancı tahıl filizi unları ile üretilen ekmek örneklerinin fizikokimyasal özellikleri araştırılmış olup, bildirilen sonuçların formülasyonda kullanılan hammadde miktarı ve cinsi, hammaddeye uygulanan işlemler, formülasyonlar arasındaki farklılıklar, son ürünün gluten ihtiva edip etmediği gibi birçok faktörden etkilendiği görülmektedir. Fakat genel olarak bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatürde bildirilen çalışmalar ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Štěrbová ve ark. (2016) bir çalışmalarında, 7 farklı buğday çeşidinden üretilen ekmek örneklerinin dirençli nişasta içeriklerinin %1.3 ile %2.3 arasında değişim gösterdiğini, toplam nişasta içeriklerinin ise %27.5 ile %61.5 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Literatürde yer alan bazı güncel çalışmalarda, kontrol buğday ekmeğinin nişasta içeriğinin %75.91 (Biduski ve ark., 2024) ve %80 (Vicente ve ark., 2024) olduğu bildirilmiştir. Karabuğday unu ile üretilen ekmek örneğinin nişasta içeriğinin %71 olduğu bildirilirken (Vicente ve ark., 2024), %10, 20 ve 30 karabuğday unu ikamesine sahip ekmek örneklerinin nişasta içeriklerinin sırasıyla %74.87, %73.48 ve %73.44 olduğu bulunmuştur (Biduski ve ark., 2024). Kontrol buğday ekmeğinin dirençli nişasta içeriğinin ise %1.18 (Amaral ve ark., 2016), %5.45 (Yaver ve Bilgiçli, 2021a) ve %19.75 (Ying ve ark., 2023) bulunduğu bildirilmiştir. Zhao ve ark. (2024) bir

çalışmalarında, buğday unundan üretilen buharda pişirilen geleneksel Çin ekmeğinin dirençli nişasta içeriğini %38.30 olarak tespit etmişlerdir.

Skrabanja ve ark. (2001) bir çalışmalarında %30'dan %70'e kadar karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin toplam nişasta içeriklerinin %73.7 ile %75.4 arasında, dirençli nişasta içeriklerinin ise %0.7 ile %1.6 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Sanz-Penella ve ark. (2013) %40 oranında amarant unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin toplam nişasta içeriklerinin 68.21 g/100 g'dan 63.78 g/100 g'a düştüğünü, dirençli nişasta içeriğinin ise 1.81 g/100 g'dan 1.90 g/100 g'a arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada en yüksek dirençli nişasta içeriği ise %20 amarant unu ikameli ekmek örneğinde 2.10 g/100 g olarak bulunmuştur.

Yaver ve Bilgiçli (2018) bir çalışmalarında %100 buğday unundan üretilen ekmek ve lavaş örneklerinin fitik asit içeriklerini sırasıyla 98 mg/100 g ve 152 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Alkandari ve ark. (2021) bir çalışmalarında buğday unu ile üretilen tava ekmeğinin toplam ve fitat fosforu içeriklerinin 0.82 ve 0.34 mg/g olarak, tam buğday unu ile üretilen tava ekmeğinin toplam ve fitat fosforu içeriklerinin ise 1.69 ve 0.90 mg/g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. Saka ve ark. (2021) farklı hamur üretim metotları kullanımının ekmeklerin bazı fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları bir çalışmalarında, düz hamur metoduyla üretilen kontrol ekmeğinin fitik asit içeriğini 73.72 mg/100 g, sünger hamur metodu kullanılan örneğin fitik asit içeriğini 71.75 mg/100 g ve ekşi hamur metoduyla üretilen kontrol örneğinin fitik asit içeriğini ise 68.89 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Salih ve ark. (2021) bir çalışmalarında, 5 farklı ekmek çeşidinin (lavaş, mashini, tiry, somon, hawrami) fitik asit içeriklerinin 0.77 g/100 g ile 1.14 g/100 g arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Literatürde yer alan diğer bazı çalışmalarda da buğday unu ile üretilen ekmek örneklerinin fitik asit içerikleri 153.40 mg/100 g (Tok ve Ertaş, 2021) ve 176.59 mg/100 g (Cankurtaran-Kömürcü ve Bilgiçli, 2023) olarak bildirilmiştir. Ekmek örneklerinin fitik asit içerikleri, kullanılan un çeşidi, üretim yöntemi ve analiz koşulları arasındaki farklılıklardan etkilense de genel olarak elde edilen sonuçların birbiri ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

4.3.5. Fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerine ait analiz sonuçları

Tam undan üretilen ekmekler genellikle fenolik bileşiklerce iyi bir kaynak olup, fenolik bileşik içeriğinin büyük kısmını esterleşmiş bağlı fenolikler ve arabinoksilan, küçük bir kısmını ise çözünebilir serbest veya konjuge fenolik bileşikler oluşturmaktadır

(Li ve ark., 2008; Stevenson ve ark., 2012). Dolayısıyla kepek fraksiyonu içeren unlardan üretilen ekmeklerin tüketiminin, günlük fenolik bileşik alım miktarına iyi bir katkı sağlayacağı söylenebilmektedir (Angelino ve ark., 2017).

Teknolojik proses süreçleri gıdaların fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi kadar fenolik bileşik içeriklerini de etkilemektedir. Ekmekte ürünün fenolik bileşik içeriğini etkileyen üç ana unsur; kullanılan hammaddeler, ön işleme metotları ve ekmek üretim sürecidir (Angelino ve ark., 2017). Ekmek üretiminde kullanılacak unun fenolik bileşik içeriğini artırmanın en kolay yolu, işleme sırasında undaki kepek, alöron gibi fenoliklerce zengin kısımların ayrılmamasıdır. Bunun yanı sıra çimlendirme prosesi tanelerdeki bağlı fenoliklerin salınımını artıran bir proses olduğu için çimlendirilmiş tanelerden elde edilen unların ekmek üretiminde kullanımı da üründeki fenolik bileşiklerin içeriğini ve ekstrakte edilebilirliğini artırıcı etki göstermektedir (Katina ve ark., 2007; Zhang ve ark., 2015). Benzer şekilde, enzim üreten mikroorganizmaların kullanımı ile tanelerdeki çözünmeyen bağlı fenolik bileşikler çözünür serbest forma dönüşebilmekte, dolayısıyla enzim üreten mikroorganizmalar ile muamele edilmiş tanelerden elde edilen unlar ile üretilen ekmeklerdeki fenolik bileşiklerin biyoyararlılığı ve biyobulunabilirliği daha yüksek olmaktadır (Mateo Anson ve ark., 2011).

Ekmeğin fenolik bileşik içeriği ve biyoyararlılığı, ekmek üretim prosesinden de etkilenmektedir. Fermantasyon sırasında fenolik bileşiklerin biyobulunabilirliği ve biyoyararlılığı genellikle artış göstermektedir. Bu artışın iki farklı şekilde meydana geldiği bildirilmiştir. Bunlardan ilki, mayaların hamurdaki un ve mikroorganizma kaynaklı enzimleri aktive etmesi, enzim aktivitesiyle birlikte ise hücre duvarının parçalanarak fenolik bileşiklerin açığa çıkmasıdır. Fermantasyon ile fenolik bileşiklerde görülen artışın sebebini açıklayan bir diğer hipotez ise fermantasyon sırasında çeşitli biyoaktif bileşiklerin sentezlenmesi veya enzimatik dönüşümüdür (Angelino ve ark., 2017).

Pişirme aşamasında ise uygulanan pişirme metodu, kullanılan un cinsi, hamur bileşimindeki fenolik bileşiklerin yapısı ve kaynağı gibi etkenlere bağlı olarak ürünün fenolik bileşik içeriği farklı şekillerde etkilenebilmektedir. Yalancı tahıl unları ile üretilen ekmeklerde ise pişirme ile fenolik bileşik içeriğinin azaldığı, yalancı tahıl unlarının fenolik bileşik içeriklerinin, yalancı tahıl unları ile üretilen ekmek örneklerine kıyasla oldukça yüksek bulunduğu bildirilmiştir (Alvarez-Jubete ve ark., 2010b; Vogrincic ve ark., 2010).

Gelişmiş toplumlarda enerji ihtiyacının yarısından fazlasını sağlayan ekmek gibi tahıl ürünlerinin fonksiyonel bileşenlerce zenginleştirilmesi ve sağlık yararlarının artırılması, toplum sağlığının geliştirilmesinde en iyi araç olarak görülmektedir. Ekmekte genellikle beyaz undan üretilen ürünler tercih edilmektedir (Akhtar ve ark., 2011). Fenolik bileşikler gibi biyoaktif maddeler genellikle tahılların kepek ve alöron kısımlarında yoğunlaşmış halde bulunur (Mateo Anson ve ark., 2011). Özellikle ülkemizde en çok tüketilen tahıl ürünü olan ekmeğin zenginleştirilmesi, günlük diyetteki antioksidan eksikliğini karşılayarak toplum beslenmesindeki sorunlara alternatif bir çözüm oluşturabilir. Sağlık üzerindeki olumlu etkileri ve hastalıklardan koruyucu etkileri ile antioksidanca zengin ekmeklere olan talep, tüketiciler tarafından da gün geçtikçe artmaktadır (Sivam ve ark., 2012; Dziki ve ark., 2014).

Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmek örneklerinin fenolik madde miktarı analizlerine ait sonuçlar Çizelge 4.54'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.54. Ekmek örneklerinin fenolik madde analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	SFM ⁴ (mg GAE/100 g)	BFM ⁵ (mg GAE/100 g)	TFM ⁶ (mg GAE/100 g)	
Kontrol	D	0	110.13±8.00	937.35±13.50	1047.48±21.50	
		10	199.13±9.00	1004.85±9.00	1280.23±0.01	
		20	236.13±4.00	1040.85±4.50	1236.23±8.50	
	KB	US	30	301.13±1.00	1061.10±6.75	1326.73±5.75
			10	175.13±3.00	1061.10±2.25	1309.98±5.25
			20	248.13±8.00	1153.35±4.50	1462.48±12.50
		Lp	30	315.13±11.00	1196.10±11.25	1376.48±0.25
			10	177.13±3.00	1011.60±2.25	1433.98±0.75
			20	248.13±8.00	1058.85±4.50	1188.73±3.50
A	D	30	339.13±7.00	1094.85±4.50	1306.98±11.50	
		10	208.13±2.00	936.85±4.50	1144.98±6.50	
		20	245.13±5.00	982.35±4.50	1227.48±0.50	
	US	30	451.13±1.00	1092.60±6.75	1543.73±7.75	
		10	191.13±1.00	982.35±4.50	1173.48±3.50	
		20	232.13±2.00	1038.60±2.25	1270.73±0.25	
		Lp	30	433.13±1.00	1061.10±2.25	1494.23±3.25
			10	250.13±10.00	939.60±2.25	1189.73±12.25
			20	285.13±17.00	991.35±13.50	1276.48±3.50
		30	311.13±3.00	1027.35±4.50	1338.48±1.50	

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. ⁴Serbest fenolik madde miktarı, ⁵Bağlı fenolik madde miktarı, ⁶Toplam fenolik madde miktarı.

Örneklere ait en düşük serbest ve toplam fenolik madde içerikleri kontrol örneğinde 110.13 ve 1047.48 mg GAE/100 g olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.54). En yüksek serbest (451.13 mg GAE/100 g) ve toplam (1543.73 mg GAE/100 g) fenolik madde içerikleri ise dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarantın %30 oranında ikame edildiği örnekte bulunmuştur. Ekmek örneklerine ait bağı fenolik madde içeriklerinin de 936.85 ile 1196.10 mg GAE/100 g arasında değişim gösterdiği görülmüştür.

Ekmek örneklerinin fenolik madde miktarı analizlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.55'te gösterilmektedir. Sonuçlara göre örneklerin serbest fenolik madde içerikleri üzerine ön işlem faktörünün etkisi önemsiz ($p>0.05$), “ön işlem x çeşit” interaksiyonunun etkisi ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Serbest fenolik madde içerikleri üzerinde diğer faktör ve interaksiyonların etkilerinin ise $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunduğu görülmüştür. Örneklerin bağı fenolik madde içerikleri ve toplam fenolik madde içeriklerinde ise tüm faktör ve interaksiyonların istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.55. Ekmek örneklerinin fenolik madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	SFM ²		BFM ³		TFM ⁴	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	272.67	1.46ns	23005.17	81.70**	19401.50	38.56**
Çeşit (B)	1	11285.33	121.08**	33127.52	235.29**	5742.20	22.83**
Oran (C)	3	385544.00	1378.87**	155918.69	369.14**	1024314.40	1357.38**
AxB	2	932.67	5.00*	6819.04	24.22**	10573.90	21.02**
AxC	6	10174.00	18.19**	9722.00	1151**	23867.30	15.81**
BxC	3	11416.00	40.83**	11890.19	28.15**	15510.20	20.55**
AxBxC	6	20946.00	37.46**	9092.37	10.76**	38420.90	25.46**
Hata	24	197.10		73.94		188.68	

¹* $p<0.05$ düzeyinde önemli, ** $p<0.01$ düzeyinde önemli, ns: önemsiz. ²Serbest fenolik madde miktarı, ³Bağı fenolik madde miktarı, ⁴Toplam fenolik madde miktarı.

Ekmek örneklerinin fenolik madde içeriklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.56'da verilmektedir. Sonuçlar çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin serbest ekstraktlarına ait fenolik madde içeriklerinin çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmek örneklerine göre istatistiksel olarak daha yüksek bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$). Buna karşın çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin bağı ve toplam fenolik madde içeriklerinin, çimlendirilmiş amarant unu

ikameli olanlara kıyasla daha yüksek bulunması dikkat çekmiştir ($p<0.05$). Tarhana örneklerinin fenolik bileşik içeriklerine benzer şekilde, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen ekme örneklerinin serbest fenolik madde miktarlarının yüksek, bağlı fenolik madde miktarlarının ise düşük bulunmasının, ekme üretimindeki fermantasyon aşamasında çimlendirilmiş karabuğday örneklerindeki fenolik bileşiklerin amarant örneklerinden daha fazla enzimatik bozunmaya uğrayarak farklı metabolitlere dönüşmesinden ve çimlendirilmiş amarant örneklerindeki bağlı fenoliklerin serbest forma dönüşümünün ise karabuğday örneklerine göre daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Skrajda-Brdak ve ark., 2019; Adebo ve Gabriela Medina-Meza, 2020; Paucar-Menacho ve ark., 2022).

Çizelge 4.56. Ekme örneklerinin fenolik madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	SFM ³ (mg GAE/100 g)	BFM ⁴ (mg GAE/100 g)	TFM ⁵ (mg GAE/100 g)
<i>Çeşit²</i>				
KB	12	214.13±6.50 b	1041.22±7.50 a	1255.36±9.37 a
A	12	244.80±5.50 a	988.68±7.13 b	1233.48±8.63 b
<i>Ön İşlem³</i>				
D	8	232.63±4.75 a	999.16±7.88 b	1231.79±9.00 b
US	8	226.88±5.25 a	1045.91±6.75 a	1272.79±8.50 a
Lp	8	228.88±8.00 a	999.79±7.31 b	1228.67±9.50 b
<i>Oran</i>				
0	6	110.13±8.00 d	937.35±13.50 d	1047.48±21.50 d
10	6	200.13±4.67 c	989.39±4.13 c	1189.52±4.71 c
20	6	249.13±7.33 b	1044.22±5.63 b	1293.36±4.79 b
30	6	358.46±4.00 a	1088.85±6.00 a	1447.31±5.00 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekme örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekme örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekme örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekme örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekme örnekleri. ³Serbest fenolik madde miktarı, ⁴Bağlı fenolik madde miktarı, ⁵Toplam fenolik madde miktarı.

Ön işlem faktörü açısından, ultrason uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği örneklerin bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek bulunduğu görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.56). Buna karşın uygulanan farklı ön işlemlerin, örneklerin serbest fenolik madde içerikleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

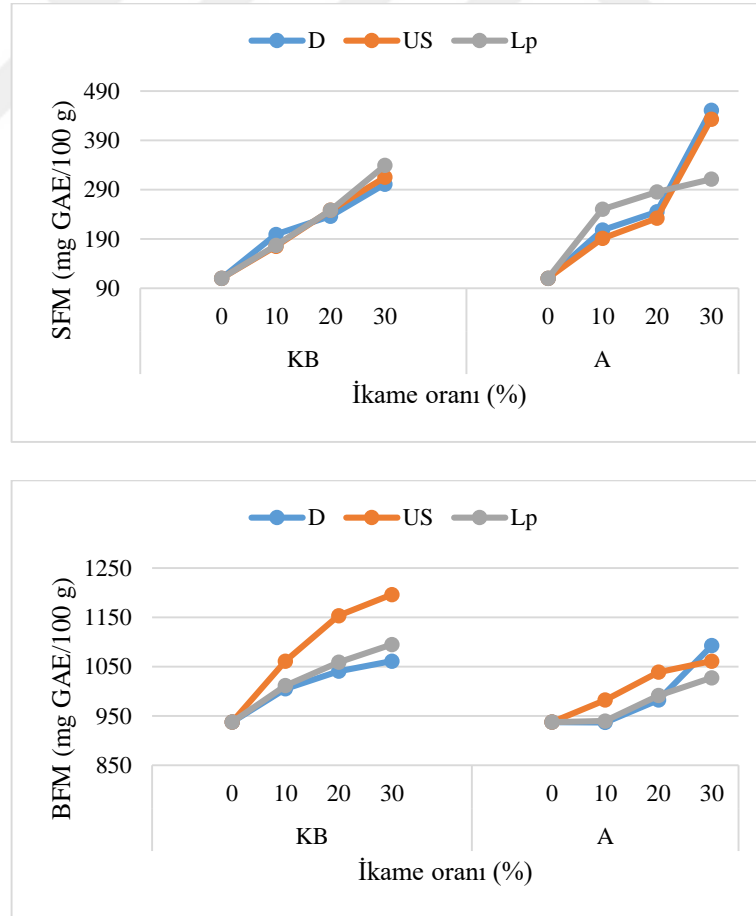
Fermentasyon, çimlendirme, ekstrüzyon, pişirme, alkali hidroliz gibi çeşitli termomekanik işlemler gıdalardaki bağlı fenolik maddelerin salınımını artırıcı etki göstermektedir (Acosta-Estrada ve ark., 2014). Bitkisel kaynaklı gıdalar ve gıda ürünlerinde, glikozitler veya diğer konjugatların parçalanarak serbest fenolik madde miktarının, dolayısıyla gıda ürününün nutrasötik değerinin artırılmasındaki en çekici prosesin ise ucuz ve kolay olması nedeniyle fermentasyon olduğu düşünülmektedir (Hur ve ark., 2014; Muñoz ve ark., 2017). Literatürde *L. plantarum* ile fermente edilen börülce ununda, kompleks fenolik bileşiklerin fermentasyon ile daha basit ve biyolojik olarak daha aktif bileşiklere hidrolize edildiği bildirilmiştir (Dueñas ve ark., 2005). Bir başka çalışmada *L. plantarum* fermentasyonunun sarı soya fasulyesi ve maş fasulyesinde glikozile edilmiş izoflavonların biyoaktif aglikonlara dönüşümünü sağladığı ve örneklerin biyoaktivitelerinde bir artışa neden olduğu bildirilmiştir (Landete ve ark., 2015). Literatürde yer alan bu bilgiler doğrultusunda, *L. plantarum* inokülasyonu ve dezenfeksiyon uygulamasıyla çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin bağlı fenolik madde miktarlarının istatistiksel olarak önemli derecede düşük bulunmasının muhtemel nedeninin, ön işlemler sırasında kullanılan kimyasal maddenin ve mikrobiyal enzimlerin bağlı fenolik bileşiklerin salınımını artırıcı etki göstermesi olduğu söylenebilir.

Çoklu karşılaştırma testi sonuçları oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, örneklerin serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerinin artan ikame oranıyla beraber istatistiksel olarak önemli derecede artış gösterdiği görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.56). Alvarez-Jubete ve ark. (2010b) bir çalışmalarında buğday, karabuğday, amarant ve karabuğday filizi unundan üretilen ekmek örneklerinin toplam fenolik madde içeriklerinin sırasıyla 29.1, 64.5, 13.8 ve 116 mg GAE/100 g bulunduğunu bildirmişlerdir. Chlopicka ve ark. (2012) ise kontrol, %30 karabuğday ve %30 amarant unu ikameli ekmek örneklerinin toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla 1.7, 2.65 ve 2.61 mg/g olarak tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Yeşil ve Levent (2022) ise bir çalışmalarında, karabuğday ve amarantın fermente edilerek %0, 15, 30 ve 45 oranlarında ikame edilmesi ile üretilen ekmek örneklerinin toplam fenolik madde miktarlarını 1.70 ve 1.64 mg GAE/g olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada kontrol ekmek örneğinin toplam fenolik madde miktarı ise 1.46 mg GAE/g olarak bulunmuştur.

Xu ve ark. (2014) buharda pişirilmiş ekmeklerde %12'ye kadar olan karabuğday unu ikamesiyle örneklerin toplam fenolik madde içeriklerinin 31.22 mg GAE/100 g'dan 162.69 mg GAE/100 g'a, %12'ye kadar olan karabuğday filizi unu ikamesiyle ise toplam

fenolik madde içeriklerinin 31.22 mg GAE/100 g'dan 364.20 mg GAE/100 g'a arttığını tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise kontrol ekmek örneğinin toplam fenolik madde içeriği 20.33 mg GAE/100 g bulunurken, %30 oranında filizlendirilmiş karabuğday unu içeren örneğin toplam fenolik madde içeriğinin 150.33 mg GAE/100 g bulunduğu bildirilmiştir (Sturza ve ark., 2020). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürde bildirilen sonuçlarla benzerlik göstermekte olup, hammaddelerin fenolik madde içerikleri de göz önüne alındığında (Çizelge 4.3), ikame oranındaki artışla beraber ekmek örneklerinin fenolik madde içeriklerinin de artmasının beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir (Çizelge 4.56). Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmek örneklerinin serbest ve bağlı ekstraktlarına ait fenolik madde içeriklerine dair literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanamaması ise bu çalışmanın orijinalliğini ve önemini ortaya koymaktadır.

Ekmek örneklerinin serbest ve bağlı fenolik madde miktarları üzerinde “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.40'ta gösterilmektedir.



Şekil 4.40. Ekmek örneklerinin serbest ve bağlı fenolik madde içerikleri üzerindeki etkili “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonu

Irakli ve ark. (2015) bir çalışmada, kontrol buğday ekmeğinin serbest ve bağlı fenolik madde içeriklerinin 45.8 ve 15.8 mg GAE/100 g bulunduğunu bildirmişlerdir. Yu ve Beta (2015) ise bir çalışmada mor ve sarı renkli üç farklı buğday çeşidinden üretilen ekmek örneklerinin fenolik ve antioksidan özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada sarı buğday ekmeğinin serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içerikleri sırasıyla 133.55, 117.03 ve 250.58 mg GAE/100 g olarak tespit edilmiştir. Mor renkli buğdaylardan üretilen ekmek örneklerinin serbest fenolik madde içerikleri ise 127.18 ve 131.21 mg GAE/100 g, bağlı fenolik madde içerikleri 114.71 ve 115.87 mg GAE/100 g, toplam fenolik madde içerikleri 241.89 ve 247.08 mg GAE/100 g olarak bulunmuştur. Ballester-Sánchez ve ark. (2019) buğday unundan üretilen kontrol ekmeğinin ekstrakte edilebilir fenolik madde içeriğini 1.74 mg GAE/g olarak, hidrolize edilebilir fenolik madde içeriğini 17.19 mg GAE/g olarak ve toplam fenolik madde içeriğini ise 18.93 mg GAE/g olarak tespit etmişlerdir. Tian ve ark. (2021), dört farklı buğday çeşidinden üretilen ekmek örneklerinin çözünebilir fenolik madde içeriklerinin 378.82 ile 582.45 µg GAE/g arasında, çözünemez fenolik madde içeriklerinin ise 1122.55 ile 1537.09 µg GAE/g arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Santetti ve ark. (2022) tam buğday ekmeğinin serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerini sırasıyla 29.03, 37.4 ve 66.43 mg GAE/g olarak tespit etmişlerdir.

Alfeo ve ark. (2020) bir çalışmada çimlendirilmiş iki farklı buğday türünden üretilen ekmek benzeri fırın ürününün bazı kimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerinde pişirme sıcaklığının etkisini araştırmışlardır. Bahsedilen bu çalışmada, 100°C’de pişirilen ürünlerin serbest fenolik asit içerikleri 67.08 ve 37.21 µg/g, bağlı fenolik asit içerikleri 37.36 ve 133.84 µg/g, toplam fenolik asit içerikleri ise 104.45 ve 171.05 µg/g olarak bulunmuştur. 150°C’de pişirilen ürünlerin serbest, bağlı ve toplam fenolik asit içerikleri ise sırasıyla 71.65-53.18 µg/g, 113.22-167.14 µg/g ve 184.86-220.33 µg/g olarak bildirilmiştir. Abdel-Aal ve ark. (2022) ise %100 buğday unundan üretilen ekmek örneğinin serbest ve bağlı fraksiyonlarının fenolik asit içeriklerini sırasıyla 5.84 µg/g ve 312 µg/g olarak tespit etmişlerdir.

Literatürde bildirilen bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, ekmek örneklerinin serbest ve bağlı fraksiyonları ile toplam fenolik madde içeriklerinin örnek formülasyonu, üretim metodu, kullanılan hammadde çeşidi ve analiz metodu gibi birçok faktörden etkilendiği görülmektedir. Bu çalışmadan elde edilen

sonuçların, literatürde bildirilen çalışmaların sonuçlarının oluşturduğu aralık dahilinde olduğu görülmekte ve sonuçların literatürle uyumlu olduğu söylenebilmektedir.

Ekmek örneklerinin antioksidan aktivite değerleri Çizelge 4.57’de özetlenmiştir. Örneklerin en düşük serbest antioksidan aktivite DPPH ve FRAP değerleri, kontrol örneğinde sırasıyla 36.76 ve 120.67 mg TE/100 g olarak bulunmuştur. En yüksek serbest antioksidan aktivite değerleri ise *L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte, DPPH metodunda 42.84 mg TE/100 g olarak, FRAP metodunda ise 555.67 mg TE/100 g olarak tespit edilmiştir. Bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerinin 153.73 ile 211.13 mg TE/100 g arasında değişim gösterdiği görülürken, bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinin ise 99.55 ile 143.80 mg TE/100 g arasında değiştiği bulunmuştur.

Çizelge 4.57. Ekmek örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Serbest antioksidan aktivite (DPPH)	Bağlı antioksidan aktivite (DPPH)	Serbest antioksidan aktivite (FRAP)	Bağlı antioksidan aktivite (FRAP)
			(mg TE/100 g)	(mg TE/100 g)	(mg TE/100 g)	(mg TE/100 g)
	Kontrol		36.76±0.10	176.95±3.16	120.67±10.00	99.55±2.25
	D	10	39.88±0.10	205.16±0.46	267.33±6.67	122.05±2.25
		20	41.71±0.10	207.00±0.46	355.67±5.00	139.30±0.01
		30	42.22±0.41	208.38±0.01	459.00±21.67	143.80±0.01
KB	US	10	40.80±0.61	206.54±0.01	250.67±6.67	109.30±1.50
		20	41.51±0.10	207.46±0.01	384.00±6.67	125.05±0.75
		30	42.33±0.10	208.38±0.01	479.00±8.33	134.05±5.25
	Lp	10	41.00±0.20	203.33±0.46	260.67±16.67	109.30±3.00
		20	42.12±0.10	207.46±0.01	412.33±11.67	120.55±2.25
		30	42.84±0.20	211.13±0.92	555.67±11.67	135.55±3.75
A	D	10	37.73±0.01	153.73±1.38	162.33±5.00	103.05±2.25
		20	38.55±0.20	169.35±0.46	202.33±8.33	128.05±0.75
		30	39.57±0.41	172.10±1.38	279.00±5.00	136.30±1.50
	US	10	37.02±0.31	163.84±5.97	162.33±1.67	115.30±3.00
		20	39.37±0.20	170.72±0.01	197.33±3.33	122.05±6.75
		30	40.90±0.10	184.96±0.46	254.00±3.33	133.30±4.50
	Lp	10	38.55±0.20	168.89±0.92	197.33±0.01	124.30±1.50
		20	39.06±0.71	171.18±0.46	224.00±0.01	135.55±0.75
		30	39.88±0.10	174.40±0.01	247.33±0.01	143.80±0.01

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin antioksidan aktivite değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.58’de, Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.59’da gösterilmektedir.

Örneklerin serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerleri üzerinde “*ön işlem x çeşit*” ve “*ön işlem x oran*” interaksiyonlarının etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$) (Çizelge 4.58). Serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinde ise “*ön işlem x oran*” interaksiyonunun etkisi $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Serbest fraksiyona benzer şekilde, bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değeri üzerinde “*ön işlem x oran*” interaksiyonunun etkisi önemsiz ($p>0.05$), “*ön işlem x çeşit*” interaksiyonunun etkisi ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinde ise çeşit faktörü ile “*ön işlem x oran*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Ekmek örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (DPPH ve FRAP) değerleri üzerinde diğer tüm faktör ve interaksiyonların ise $p<0.01$ düzeyinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin serbest antioksidan aktivite (DPPH ve FRAP) değerleri ile bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin, çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklere kıyasla istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunduğu görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.59). İkame edilen yalancı tahıl unu çeşidinin ise örneklerin bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşturmadığı dikkat çekmektedir ($p>0.05$). Ekmek örneklerine ait serbest ve bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin (Çizelge 4.59), hammadde sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3).

Hammadde sonuçlarının aksine, KB ekmek örneklerine ait serbest antioksidan aktivite FRAP değerlerinin A örneklerinden oldukça yüksek bulunmasının, bağlı formda bulunan antioksidan özellikteki bileşiklerin serbest forma geçişinden kaynaklandığı söylenebilir (Çizelge 4.3 ve 4.59). Hammaddelere kıyasla, KB örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinde gözlenen azalma da bu hipotezi destekler niteliktedir. Benzer şekilde Çelik ve Gökmen (2020) bir çalışmalarında, ekmek kabuğundaki bağlı ferulik asit birimlerinin pişirme sırasında sıcaklığın etkisiyle serbest kaldığını bildirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, serbest forma geçen ferulik asitin Maillard reaksiyonunun son ürünleri olan melanoidinlerin yapısına katılabildiği veya pişirme sürecinde oluşan serbest radikalleri temizleyici etki gösterebildikleri de belirtilmiştir.

Çizelge 4.58. Ekmek örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Serbest antioksidan aktivite (DPPH)		Bağlı antioksidan aktivite (DPPH)		Serbest antioksidan aktivite (FRAP)		Bağlı antioksidan aktivite (FRAP)	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	1.81	6.32**	95.21	6.43**	4863.73	17.60**	169.54	6.47**
Çeşit (B)	1	47.06	329.61**	9389.25	1269.08**	187085.23	1354.25**	0.63	0.05ns
Oran (C)	3	139.17	324.89**	1771.92	79.83**	438521.46	1058.11**	10120.89	257.40**
AxB	2	0.15	0.54ns	70.64	4.77*	1850.41	6.70**	722.67	27.57**
AxC	6	1.96	2.29ns	95.96	2.16ns	2455.73	2.96*	189.88	2.41ns
BxC	3	16.08	37.54**	3302.60	148.80**	97536.16	235.34**	0.89	0.02ns
AxBxC	6	3.28	3.83**	188.86	4.25**	8288.75	10.00**	383.25	4.87**
Hata	24	61.15		84.19		223.62		37.02	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.59. Ekmek örneklerinin antioksidan özellik analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Serbest antioksidan aktivite (DPPH) (mg TE/100 g)	Bağlı antioksidan aktivite (DPPH) (mg TE/100 g)	Serbest antioksidan aktivite (FRAP) (mg TE/100 g)	Bağlı antioksidan aktivite (FRAP) (mg TE/100 g)
<i>Çeşit</i> ²					
KB	12	40.39±0.19 a	199.64±0.98 a	315.53±10.42 a	119.80±2.13 a
A	12	38.41±0.21 b	171.67±1.71 b	190.67±4.72 b	120.03±2.31 a
<i>Ön İşlem</i> ³					
D	8	39.15±0.18 b	183.70±1.31 b	245.88±8.96 b	121.46±1.41 a
US	8	39.43±0.20 ab	186.98±1.59 a	246.08±6.25 b	117.27±3.28 b
Lp	8	39.62±0.22 a	186.29±1.14 a	267.33±7.50 a	121.02±1.97 a
<i>Oran</i>					
0	6	36.76±0.10 d	176.95±3.16 d	120.67±10.00 d	99.55±2.25 d
10	6	39.16±0.24 c	183.58±1.53 c	216.78±6.11 c	113.88±2.25 c
20	6	40.39±0.24 b	188.86±0.23 b	295.94±5.83 b	128.42±1.88 b
30	6	41.29±0.22 a	193.22±0.46 a	379.00±8.33 a	137.80±2.50 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri.

³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Antioksidan özellikteki bileşiklerin miktar ve çeşidi ürünlerde hammadde olarak kullanılan tahılın çeşidine göre farklılık göstermektedir. Bununla birlikte ekmek gibi ısı işlem uygulanan ürünlerde, pişirme sırasında yeni antioksidan maddelerin oluşumu da mümkündür (Horszwald ve ark., 2010). KB ekmek örneklerinin serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinin yüksek bulunmasının, kullanılan hammadde çeşiti ile ilişkili olarak, pişirme sırasında meydana gelen alkol, aldehit, keton, asit ve heterosiklik yapılar gibi küçük molekülü aroma bileşiklerinin antioksidan aktiviteye katkısından kaynaklandığı da söylenebilir (Pico ve ark., 2015).

Ön işlem faktörü açısından, *L. planatarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (DPPH ve FRAP) aktiviteleri istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.59). Fakat Lp örnekleri ile US örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerleri ve Lp ile D örneklerinin bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri arasındaki deskriptif farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu dikkat çekmektedir ($p>0.05$). Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının ikame edildiği ekmek örneklerinin serbest antioksidan aktivite (DPPH) değerleri diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde düşük bulunurken ($p<0.05$), D ve US örneklerinin serbest antioksidan aktivite (FRAP) değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$). Hammaddelere ait antioksidan aktivite değerlerinin ekmek örneklerinin antioksidan aktivite değerlerine doğrudan yansıdığı ve ürünlerde elde edilen sonuçların hammaddelere ait veriler doğrultusunda beklenen sonuçlar olduğu söylenebilir (Çizelge 4.3).

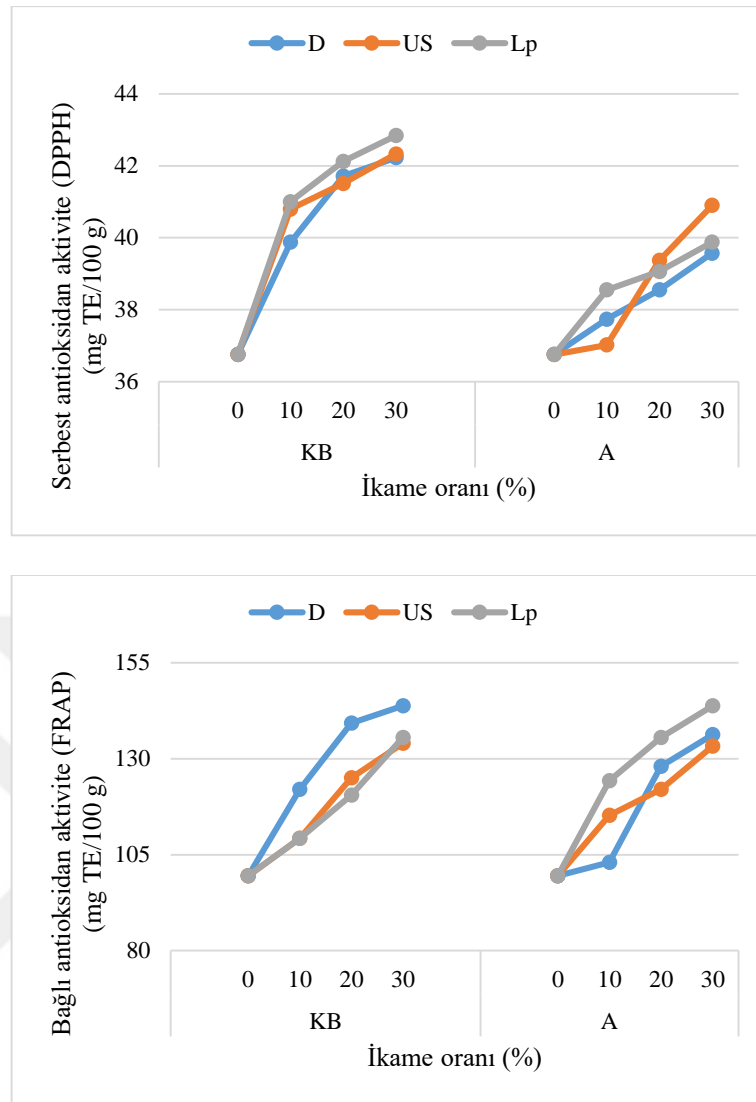
Ekmek örneklerinin antioksidan aktivite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, hammadde ve fenolik madde sonuçlarından da beklenildiği üzere, ikame oranındaki artışla beraber örneklerin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (DPPH ve FRAP) değerleri artış göstermiştir (Çizelge 4.59). Bu artış ise her ikame oranında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Alvarez-Jubete ve ark. (2010b) bir çalışmalarında amarant unu ile üretilen ekmek örneklerinin DPPH ve FRAP aktivitelerinin glutensiz ekmek örneğinden, karabuğday ve filizlendirilmiş karabuğday unlarından üretilen ekmek örneklerinin DPPH ve FRAP aktivitelerinin ise glutensiz ve buğday ekmeği örneklerinden yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada, karabuğday ve amarant unlarının %15 ve %30 oranlarında ekmek formülasyonuna ikame edilmesiyle birlikte, ekmek örneklerinin DPPH ve FRAP aktivitelerinin kontrol örneğine kıyasla önemli derecede yüksek

bulunduğu bildirilmiştir (Chlopicka ve ark., 2012). Yeşil ve Levent (2022) ise bir çalışmada, fermente edilmiş karabuğday, amarant ve kinoa unlarının ekmeğe %15, 30 ve 45 oranlarında ikame edilmesiyle birlikte, antioksidan inhibisyon değerlerinin her ikame oranında istatistiksel olarak önemli derecede artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Xu ve ark. (2014) buharda pişirilmiş ekmek örneklerinde %12 ikame oranına kadar ham ve çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle birlikte, örneklerin DPPH ve ABTS antioksidan değerlerinin istatistiksel olarak önemli şekilde artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada çimlendirilmiş karabuğday ununun ikame edildiği ekmek örneklerinin antioksidan değerlerinin, ham karabuğday unu ikamesiyle üretilen örneklere kıyasla yüksek bulunması dikkat çekmiştir. Benzer şekilde amarant unu ile üretilen kurabiyelerin DPPH aktivitesi (15.10 g/100 g) kontrol kurabiye örneğinden (16.42 g/100 g) düşük bulunurken, çimlendirilmiş amarant unu ile üretilen kurabiye örneğine ait değer (21.43 g/100 g) önemli derecede yüksek bulunmuştur.

Literatürde bildirilen pek çok çalışmada ve hammaddelere ait antioksidan aktivite sonuçlarında görüldüğü üzere (Çizelge 4.3) çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları yüksek antioksidan aktiviteye sahip gıda maddeleridir. Dolayısıyla, literatürde bildirilen çalışmaların sonuçlarıyla da uyumlu olarak, ikame oranındaki artışla beraber ekmek örneklerinin antioksidan aktivitelerinin artması beklenen bir sonuçtur. Literatürde, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite değerlerini sunan herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olup, bu durum bu çalışmanın da özgün değerini ortaya koymaktadır.

Ekmek örneklerinin serbest antioksidan aktivite (DPPH) ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerleri üzerinde “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.41’de gösterilmektedir. Fenolik madde içeriklerine benzer şekilde, farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmek örneklerinde, ikame oranındaki artışla beraber örneklerin serbest antioksidan aktivite (DPPH) ve bağlı antioksidan aktivite (FRAP) değerlerinde tespit edilen artış grafiklere doğrudan yansımıştır.



Şekil 4.41. Ekmek örneklerinin bazı antioksidan değerleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu

Chlopicka ve ark. (2012) bir çalışmada, kontrol ekmek örneğinin DPPH ve FRAP değerlerinin 2.07 mmol TE/kg ve 63.8 mg TE/100 g, %30 karabuğday unu ikameli ekmek örneğinin DPPH ve FRAP değerlerinin 7.53 mmol TE/kg ve 150.8 mg TE/100 g, %30 amarant unu ikameli ekmek örneğinin DPPH ve FRAP değerlerinin ise 3.55 mmol TE/kg ve 114.1 mg TE/100 g bulunduğunu bildirmişlerdir. Ballester-Sánchez ve ark. (2019) bir çalışmada, buğday unu ile üretilen kontrol ekmek örneğinin ekstrakte edilebilir ve hidrolize edilebilir fenolik fraksiyonlarının DPPH aktivitelerini sırasıyla 1.41 ve 2.17 $\mu\text{mol/g}$ olarak, FRAP aktivitelerini ise yine sırasıyla 3.13 ve 5.20 $\mu\text{mol/g}$ olarak tespit etmişlerdir. Tian ve ark. (2021), dört farklı buğday çeşidinden üretilen ekmek örneklerinin çözünebilir fenolik ekstraktlarının DPPH aktivitelerinin 6.84 ile 9.44 $\mu\text{mol TE/g}$ arasında, çözünmez fenolik ekstraktlarının DPPH aktivitelerinin ise 12.88 ile 21.07

$\mu\text{mol TE/g}$ arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Abdel-Aal ve ark. (2022) buğday ekmeğinin serbest ve bağlı antioksidan aktivite (DPPH) değerlerinin 2.9 ve 3.3 $\mu\text{mol TE/g}$ bulunduğunu bildirmişlerdir. Literatürde yer alan bir diğer çalışmada üç farklı buğday çeşidi ile üretilen ekmek örneklerinin çözünebilir ve çözünemez fenolik ekstraktlarının DPPH aktivitelerinin sırasıyla ortalama 300 ve 400 $\mu\text{mol TE/100 g}$ bulunduğu bildirilmiştir (Yu ve Beta, 2015). Literatürde bildirilen bu çalışmalar doğrultusunda, bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

4.3.6. Mineral madde analiz sonuçları

Binlerce yıldır, beslenmede temel bir gıda maddesi olarak kabul edilen ekmeğın insanlığın gelişimindeki önemi yadsınamayacak boyuttur. Ekmek dünya genelinde pek çok farklı şekil, form ve formülasyonda üretilmekte olup, kişi başi yıllık ekmek tüketim miktarı ortalama 70 kg'dır (Carocho ve ark., 2020). Dünya sağlık örgütü ise Avrupa ülkeleri için kişi başi günlük ekmek tüketim miktarının 250 g olması gerektiğini önermektedir (Martins ve ark., 2017). Günlük diyetteki ekmek tüketim miktarı; kültürel yeme alışkanlıklarına, tüketicinin ekmeğe yönelik algısına, ekmek kalitesine, glutensiz beslenme gibi beslenme trendlerine vb. göre değişim göstermektedir (Martins ve ark., 2017; Carocho ve ark., 2020). Ekmek, insan sağlığında önemli rol alan Fe, Zn, Mn, Cu, Mg, Mo, ve Ba gibi birçok makro ve mikro mineral maddeler için iyi bir kaynak olup, ekmek tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte günlük mineral madde alımları da değişime uğramaktadır (Ali Abdul ve ark., 2023). Gerek tüketim miktarındaki azalma, gerekse değişen gıda trendleriyle birlikte ürünün minerallerce fakirleşmesi gibi sebeplerden dolayı, ekmeğın mineral madde içeriğinin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

İnsanlarda sağlık durumunun devamlılığı için beslenme ile 22 major ve minör mineralin alımı gerekli görülmektedir. Literatürde, Ca, Fe, I ve Zn mineralleri başta olmak üzere, dünya genelinde yaklaşık 3 milyar insanda besin yetersizliği görüldüğü bildirilmiştir. Besin yetersizliğinin başlıca sebebi, özellikle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde, günlük diyetin bitkisel kaynaklı gıdalara dayanmasıdır (Gomez-Coronado ve ark., 2019). Buna karşın yeterli mineral alımı, mineral emiliminin yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Mineral emilimi, minerallerin biyoerişilebilirliğine ve biyoyararlılığına bağlı bir kavramdır. Minerallerin biyoerişilebilirliği, gastrointestinal

sindirimi ve gastrointestinal kanalda mineral salınımını simüle eden *in vitro* veya *in vivo* analiz yöntemleriyle belirlenmektedir (Martins ve ark., 2017). Minerallerin biyoyararlılığı, özellikle bitkisel kaynaklı beslenme tiplerinde, başlıca P depolama bileşiği olan fitat veya inositol heksakisfosfattan etkilenmektedir. Fitik asit, mineralleri bağlayarak vücutta emilimlerini engelleyen, böylece metabolik bozukluklara neden olabilen önemli bir antibesinsel maddedir (Gomez-Coronado ve ark., 2019). Ekmek üretiminde hammadde olarak kullanılan tahılların fitik asit içeriğinin yüksek olması ekmeğin mineral biyoyararlılığını etkilemektedir. Her ne kadar ekmeğin yapım sürecinde hamurdaki fitazların etkisi ile fitik asit parçalanıyor olsa da ekmekte mineral biyoyararlılığının artırılması ve mineral alımının iyileştirilmesi, gıda tüketicileri için faydalı ve çekici bir yaklaşımdır (Lopez ve ark., 2003).

Ekmek örneklerinin mineral madde analiz sonuçları Çizelge 4.60'ta özetlenmiştir. Örneklerin Ca içerikleri 22.06 ile 33.03 mg/100 g, Mn içerikleri 1.36 ile 1.59 mg/100 g, Fe içerikleri 1.54 ile 2.38 mg/100 g, Cu içerikleri 0.12 ile 0.18 mg/100 g, Zn içerikleri 0.55 ile 0.88 mg/100 g, Se içerikleri 0.01 ile 0.03 mg/100 g, Na içerikleri 749.92 ile 909.57 mg/100 g, Mg içerikleri 46.78 ile 134.78 mg/100 g ve K içerikleri 230.32 ile 326.16 mg/100 g arasında değişim göstermiştir. Örnekler arasında en düşük Fe, Cu, Zn, Se, Mg ve K içeriklerinin kontrol örneğinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek Ca, Mn ve Fe içerikleri *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği örneklerde bulunmuştur.

Ekmek örneklerinin mineral madde içeriklerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.61 ve 4.62'de gösterilmektedir. Örneklerin Ca, Fe, Na, Mg ve K içerikleri üzerinde tüm faktör ve interaksiyonların etkileri $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunurken, Se içerikleri üzerinde ise tüm faktör ve interaksiyonların etkileri önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Örneklerin Mn içerikleri üzerinde oran faktörü ile “ön işlem x çeşit” ve “çeşit x oran” interaksiyonlarının etkileri $p < 0.01$ düzeyinde, çeşit faktörü ile “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri ise $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ön işlem faktörü ve “ön işlem x oran” interaksiyonunun, ekmeklerin Mn içerikleri üzerindeki etkilerinin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin Cu içerikleri üzerinde çeşit ve oran faktörlerinin etkilerinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülürken, ön işlem faktörü ile tüm interaksiyonların etkilerinin ise önemsiz ($p > 0.05$) olduğu bulunmuştur. Ekmek örneklerinin Zn içerikleri üzerinde ise ön işlem faktörünün $p < 0.05$ düzeyinde, diğer tüm faktör ve interaksiyonların ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli etkide bulunduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.60. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)	
	Kontrol		23.88±0.31	1.37±0.05	1.54±0.01	0.12±0.01	0.55±0.01	0.01±0.01	808.12±0.98	46.78±1.04	230.32±2.53	
	D	10	26.69±0.68	1.40±0.05	1.57±0.04	0.14±0.01	0.70±0.02	0.03±0.03	827.93±2.48	68.43±0.58	262.96±2.56	
		20	27.99±0.89	1.41±0.01	1.72±0.02	0.16±0.01	0.72±0.02	0.01±0.01	837.68±2.47	92.83±1.69	309.03±1.18	
		30	30.80±0.83	1.44±0.06	1.77±0.02	0.18±0.02	0.80±0.03	0.00±0.01	863.13±2.88	112.88±2.03	326.12±0.67	
KB	US	10	22.06±0.61	1.43±0.03	1.63±0.02	0.14±0.01	0.63±0.02	0.01±0.01	814.73±1.61	69.41±1.44	274.04±1.09	
			20	25.60±0.19	1.46±0.04	1.76±0.02	0.16±0.02	0.71±0.01	0.01±0.01	822.66±2.22	89.30±1.35	296.00±0.06
			30	26.38±0.73	1.48±0.07	1.93±0.03	0.18±0.02	0.84±0.02	0.01±0.01	855.70±1.29	116.21±1.46	326.16±2.05
	Lp	10	23.21±0.34	1.42±0.03	1.73±0.03	0.15±0.01	0.70±0.02	0.01±0.01	749.92±1.96	71.28±0.32	274.22±2.26	
			20	26.89±0.57	1.43±0.02	1.80±0.04	0.16±0.01	0.70±0.01	0.01±0.01	797.94±1.09	89.45±1.50	298.09±0.13
			30	29.04±0.30	1.45±0.03	1.92±0.02	0.18±0.02	0.87±0.01	0.02±0.01	888.70±0.45	101.81±1.66	298.42±1.77
	D	10	27.49±0.93	1.45±0.01	1.89±0.02	0.14±0.01	0.77±0.02	0.02±0.01	834.10±3.96	80.72±1.18	281.67±0.82	
			20	27.86±0.84	1.53±0.01	2.29±0.06	0.15±0.01	0.79±0.01	0.02±0.01	851.33±0.48	108.34±0.69	283.38±2.08
			30	31.52±0.52	1.53±0.02	2.33±0.03	0.18±0.01	0.87±0.01	0.02±0.01	909.57±2.42	131.60±0.65	304.26±0.80
A	US	10	23.94±0.32	1.36±0.02	1.73±0.03	0.14±0.01	0.66±0.01	0.01±0.01	811.94±2.42	72.82±2.17	252.49±2.04	
			20	28.01±0.65	1.41±0.01	1.95±0.01	0.15±0.02	0.77±0.02	0.02±0.01	821.65±0.91	105.10±0.26	281.80±0.96
			30	32.69±0.95	1.50±0.01	2.24±0.04	0.16±0.01	0.88±0.02	0.02±0.01	849.93±4.19	134.78±0.84	302.35±1.40
	Lp	10	27.49±0.36	1.36±0.01	1.70±0.01	0.12±0.01	0.62±0.02	0.01±0.01	835.96±3.00	74.34±2.61	261.00±0.59	
			20	29.11±0.66	1.44±0.04	1.96±0.01	0.14±0.02	0.81±0.02	0.01±0.01	849.48±3.36	106.83±1.88	287.77±0.99
			30	33.03±0.59	1.59±0.02	2.38±0.02	0.16±0.01	0.86±0.01	0.01±0.01	853.80±1.06	133.16±2.21	307.13±2.57

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Çizelge 4.61. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları 1¹

VK	SD	Ca		Mn		Fe		Cu	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	25.19	69.81**	0.01	1.02ns	0.01	9.50**	0.01	1.25ns
Çeşit (B)	1	42.15	233.60**	0.01	7.84*	0.58	767.12**	0.01	10.58**
Oran (C)	3	313.47	579.08**	0.11	43.64**	2.06	910.09**	0.02	85.85**
AxB	2	14.08	39.01**	0.02	9.45**	0.12	81.26**	0.01	2.01ns
AxC	6	18.78	17.35**	0.01	1.49ns	0.06	12.77**	0.01	0.35ns
BxC	3	21.24	39.24**	0.02	8.61**	0.34	150.61**	0.01	1.62ns
AxBxC	6	12.18	11.25**	0.01	2.90*	0.08	16.88**	0.01	0.93ns
Hata	24	106.06		11.11		180.01		14.77	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.62. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları 2¹

VK	SD	Zn		Se		Na		Mg		K	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.01	3.51*	0.01	0.50ns	3628.22	216.42**	40.70	11.26**	241.27	17.19**
Çeşit (B)	1	0.01	27.77**	0.01	0.46ns	2115.90	252.43**	1543.03	854.01**	886.92	126.40**
Oran (C)	3	0.60	527.30**	0.01	0.66ns	28780.51	1144.51**	37742.44	6962.97**	43662.20	2074.17**
AxB	2	0.01	7.01**	0.01	0.68ns	1640.03	97.83**	25.02	6.92**	261.79	18.65**
AxC	6	0.02	7.31**	0.01	0.69ns	2779.03	55.26**	137.60	12.69**	411.65	9.78**
BxC	3	0.01	11.23**	0.01	0.31ns	1932.68	76.86**	934.48	172.40**	492.89	23.41**
AxBxC	6	0.01	5.37**	0.01	0.53ns	8010.84	159.28**	139.36	12.86**	1433.90	34.06**
Hata	24	72.94		0.82		243.13		936.66		281.41	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Ekmek örneklerinin mineral madde içeriklerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.63'te özetlenmektedir. Sonuçlar çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin Ca, Mn, Fe, Zn, Na ve Mg içeriklerinin, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek olduğu görülmektedir ($p<0.05$) (Çizelge 4.63). Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerin Cu ve K içerikleri diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunurken ($p<0.05$), KB ve A örneklerinin Se içeriklerinin istatistiksel olarak önemli bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Hammadde çeşiti açısından, ekmek örneklerinin Se minerali hariç diğer tüm mineral madde içeriklerindeki değişimler, hammadde sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur (Çizelge 4.4). Analiz sonuçlarında hem hammaddelerin hem de ekmek örneklerinin Se içeriklerinin oldukça düşük olduğu dikkat çekmektedir. Dolayısıyla istatistiksel farklılıkların standart sapma değerlerinden kaynaklandığı ön görülmektedir.

Ön işlem faktörü açısından, D örneklerinin Ca içerikleri diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek, US örneklerinin Ca içerikleri ise diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede düşük bulunmuştur (Çizelge 4.63). Benzer şekilde, US örneklerinin Fe ve Zn içeriklerinin de diğer örneklerden önemli derecede düşük olduğu tespit edilmiştir. D örneklerinin Na ve K içeriklerinin, diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde yüksek olduğu bulunurken, Lp örneklerinin Mg içeriklerinin önemli derecede düşük bulunması dikkat çekmiştir ($p<0.05$). US ve Lp örneklerinin Na ve K içerikleri ile D ve US örneklerinin Mg içerikleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Farklı ön işlemler, ekmek örneklerinin Mn, Cu ve Se içeriklerinde ise istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmamıştır ($p>0.05$). Ekmek örneklerine ait Ca, Fe, Mn, Cu ve Se içerikleri hammadde sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Zn, Na, K ve Mg mineralleri açısından, genel olarak hammaddelerde US ve Lp işlemine tabi tutulan örneklerin içeriklerinin yüksek olduğu (Çizelge 4.4), ekmek örneklerinde ise bu durumun tam tersinin gözlemlendiği söylenebilir (Çizelge 4.63). Bu sonucun en önemli nedeninin ekmek üretimi sırasında uygulanan ısıl işlem olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.63. Ekmek örneklerinin mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
<i>Çeşit</i> ²									
KB	25.86±2.55 b	1.42±0.06 b	1.70±0.13 b	0.15±0.03 a	0.69±0.11 b	0.01±0.01 a	823.56±34.12 b	79.33±23.91 b	279.66±33.94 a
A	27.73±3.32 a	1.44±0.08 a	1.92±0.31 a	0.14±0.02 b	0.72±0.13 a	0.01±0.01 a	836.84±28.17 a	90.67±32.53 a	271.07±28.14 b
<i>Ön İşlem</i> ³									
D	27.52±2.70 a	1.44±0.07 a	1.83±0.30 a	0.15±0.03 a	0.72±0.11 a	0.02±0.01 a	842.50±31.06 a	86.04±29.10 a	278.51±33.18 a
US	25.80±3.16 c	1.42±0.06 a	1.79±0.22 b	0.14±0.03 a	0.69±0.12 b	0.01±0.01 a	824.11±17.52 b	85.15±30.00 a	274.18±32.35 b
Lp	27.07±3.18 b	1.43±0.08 a	1.82±0.25 a	0.14±0.03 a	0.70±0.12 ab	0.01±0.01 a	824.00±39.63 b	83.80±28.14 b	273.41±28.45 b
<i>Oran</i>									
0	23.88±0.31 d	1.37±0.05 d	1.54±0.01 d	0.12±0.01 d	0.54±0.01 d	0.01±0.01 a	808.12±0.98 d	46.78±1.04 d	230.32±2.53 d
10	25.15±2.25 c	1.40±0.04 c	1.71±0.10 c	0.14±0.01 c	0.68±0.05 c	0.02±0.01 a	812.43±29.50 c	72.83±4.35 c	267.73±9.95 c
20	27.58±1.29 b	1.45±0.05 b	1.91±0.19 b	0.15±0.02 b	0.75±0.05 b	0.01±0.01 a	830.12±18.57 b	98.64±8.36 b	292.68±9.52 b
30	30.58±2.39 a	1.50±0.06 a	2.09±0.23 a	0.17±0.02 a	0.85±0.03 a	0.01±0.01 a	870.14±21.86 a	121.74±12.37 a	310.74±11.32 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çiğlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çiğlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çiğlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çiğlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çiğlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Bu hipotezi destekler biçimde, Bredariol ve ark. (2020) bir çalışmalarında, ekmek üretimindeki pişirme koşullarının üründeki makro minerallerin kararlılığı üzerindeki etkisine dikkat çekmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, pişirme sıcaklığı ve süresi ne kadar yüksekse ekmekteki makro mineral madde içeriklerinin de o kadar düşük olacağı bildirilmiştir. Ekmeklerde yüksek miktarda makro mineral içeriği sağlamak için düşük sıcaklıkta kısa süreli pişirme prosesi uygulanması önerilmiştir. Pişirme veya fırınlama uygulanan gıdalarda görülebilecek mineral madde kaybı ayrıca gıdanın biçim ve çeşidine göre de farklılık gösterebilir (Bognar, 1998). US ve Lp işlemine sahip örneklerde görülen makro mineral madde kayıplarının daha fazla olmasının muhtemel sebebi ise uygulanan işlemlerin hammaddelerdeki hücresel dokulara zarar vermesi ve mineral madde migrasyonunu artırmasıdır (Aadil ve ark., 2015). Hammaddelerde doku hasarı sonucu serbest hale gelen minerallerin, ekmek üretiminde uygulanan ısıl işlemde daha fazla etkilendiği söylenebilir. Hammaddelerde US ve/veya Lp örneklerinin daha yüksek miktarda Zn, Na, Mg ve K içermesinin bu hipotezi destekler nitelikte olduğu söylenebilir (Çizelge 4.4).

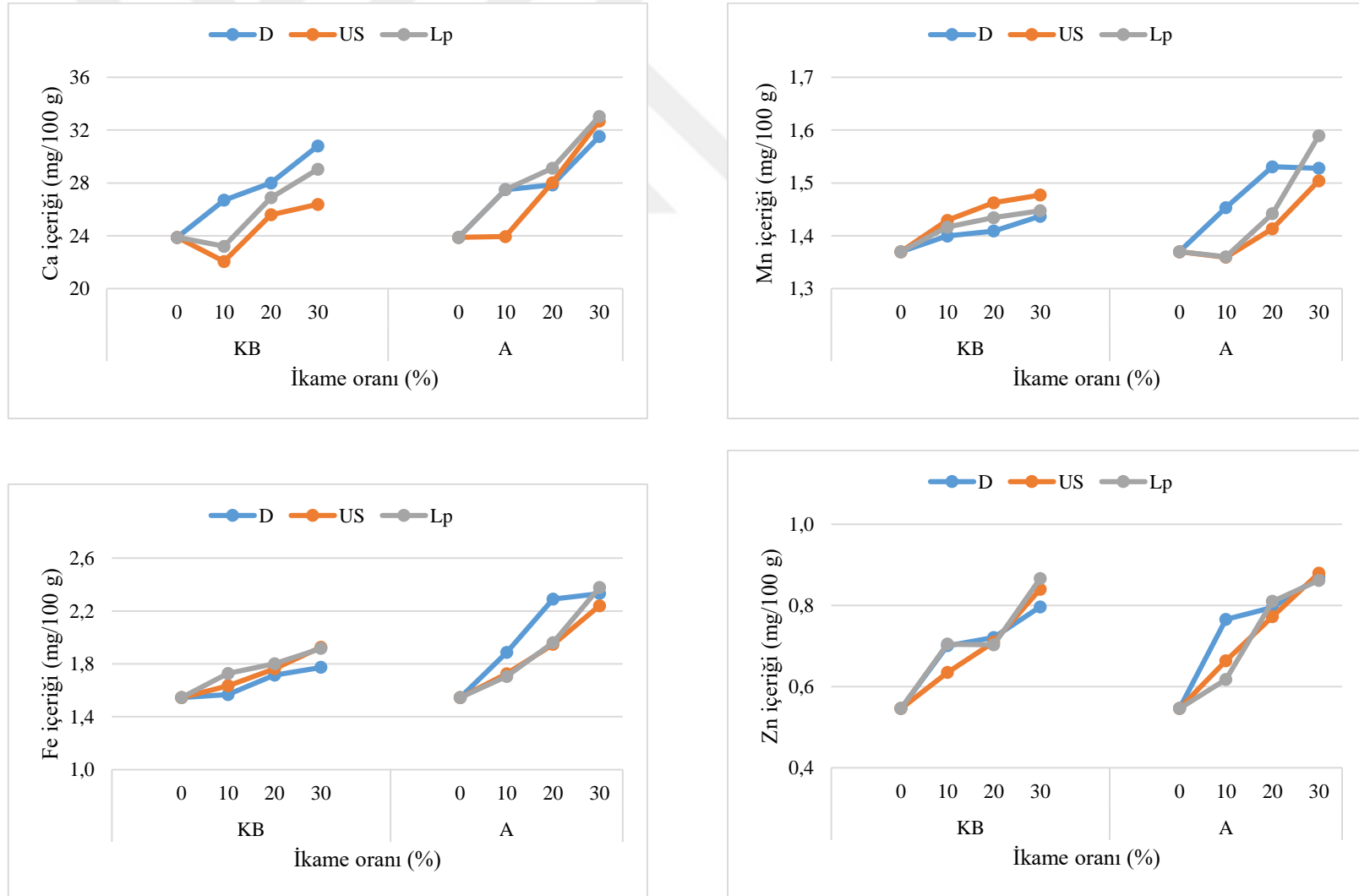
Çoklu karşılaştırma testi sonuçları oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, ikame oranındaki artışla beraber ekmek örneklerinin Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K çözünürlüklerinin istatistiksel olarak önemli şekilde arttığı görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.63). İkame oranındaki değişimlerin, örneklerin Se içeriklerinde oluşturduğu deskriptif farklılıkların ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0.05$). İkame oranındaki artışla beraber ekmek örneklerinin mineral madde çözünürlüklerinde gözlenen artış, çimlendirilmiş karabuğday ve amarantın buğday unundan daha yüksek mineral madde içeriğine sahip olması nedeniyle beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.4).

Benzer şekilde literatürde, buharda pişirilen ekmeklerde ham ve çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle örneklerin Zn, Cu, Mn ve Fe çözünürlüklerinin arttığı (Xu ve ark., 2014), buğday unlu tava ekmeklerinde rafine ve tam karabuğday unu ikamesiyle örneklerin Fe, Zn ve Mg çözünürlüklerinin arttığı (Brites ve ark., 2022a) ve yine ekmek formülasyonunda fermente karabuğday, amarant ve kinoa unu ikamesiyle örneklerin Ca, P, K, Fe, Mg ve Zn minerallerinin çözünürlüklerinin önemli derecede artış gösterdiği (Yeşil ve Levent, 2022) bildirilmiştir. Sanz-Penella ve ark. (2013) bir çalışmalarında, ekmek örneklerinde %40 oranına kadar tam amarant unu ikamesiyle birlikte örneklerin Cu, Mn, Zn, Fe, Ca, Mg, P ve K çözünürlüklerinin önemli şekilde arttığını bildirmişlerdir.

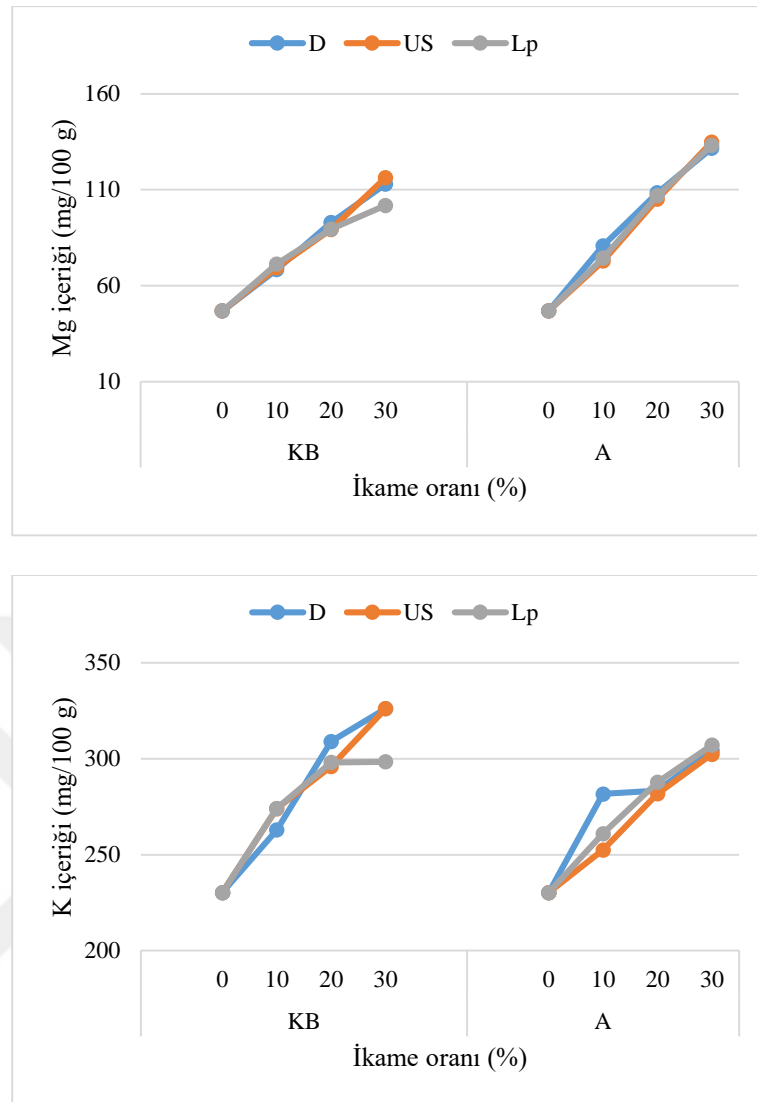
Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer şekilde; Oyetayo ve Oyedeji (2017) bir çalışmada buğday ekmeği ve ticari ekmek örneklerinin; Ca içeriklerini 11.82 ve 9.08 mg/100 g, Mn içeriklerini 0.44 ve 0.20 mg/100 g, Fe içeriklerini 2.39 ve 1.37 mg/100 g, Cu içeriklerini 0.08 ve 0.12 mg/100 g, Zn içeriklerini 1.65 ve 0.75 mg/100 g, Na içeriklerini 32.45 ve 33.40 mg/100 g, Mg içeriklerini 16.53 ve 26.80 mg/100 g, K içeriklerini ise 66.40 ve 56.45 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Literatürde yer alan bir çalışmada, ticari buğday ekmeğinin Ca, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn içerikleri sırasıyla 31.55, 1.81, 264.15, 37.05, 0.93, 309.54 ve 1.41 mg/100 g olarak bildirilmiştir. Mevzu bahis bu çalışmada geleneksel buğday düz ekmeğinin Ca, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn içeriklerinin ise sırasıyla 30.41, 1.70, 257.45, 36.45, 0.87, 302.12 ve 1.33 mg/100 g olarak tespit edildiği bildirilmiştir (Yaver ve Bilgiçli, 2019). Zlateva ve ark. (2022) bir araştırmalarında, kontrol buğday ekmek örneğinin Ca, Fe, S, P, Na, Mg ve K içeriklerini sırasıyla 108.00, 1.34, 589.00, 511.00, 3014.00, 158.00 ve 718.00 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Sanz-Penella ve ark. (2013) bir çalışmada, kontrol örneğinin Cu, Mn, Zn ve Fe içeriklerinin sırasıyla 2.25, 6.39, 11.65 ve 18.85 µg/g olarak, Ca, Mg, P ve K içeriklerinin ise 0.31, 0.29, 1.27 ve 1.88 mg/g olarak bulunduğunu bildirmişlerdir. %30 oranında tam amarant unu ikamesine sahip ekmek örneğinin ise sırasıyla 3.98, 16.39, 21.67 ve 35.91 µg/g Cu, Mn, Zn ve Fe içerikleri ile 0.85, 1.04, 2.60 ve 2.86 mg/g Ca, Mg, P ve K içeriklerine sahip olduğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, kontrol buğday ekmeğinin Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn içerikleri sırasıyla 22.5, 0.27, 1.69, 205.2, 32.4, 0.31, 236.8 ve 1.40 mg/100 g olarak bulunmuştur. %20 oranında karabuğday unu ikamesine sahip ekmek örneklerinin Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn içeriklerinin ise yine sırasıyla 21.7, 0.43, 1.97, 281.5, 70.3, 0.54, 265.5 ve 1.86 mg/100 g olarak bulunduğu bildirilmektedir (Bilgiçli ve İbanoğlu, 2015).

Literatürde bildirilen tüm bu çalışmaların sonuçlarına bakıldığında, bu çalışmadan elde edilen verilerin literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmek üretimine dair literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmaması bu çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Ekmek örneklerinin Ca, Mn, Fe ve Zn mineral madde içerikleri üzerinde “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksyonunun etkileri Şekil 4.39.’da, Mg ve K içerikleri üzerindeki etkileri ise Şekil 4.40’da gösterilmektedir. İnteraksiyon grafiklerinde, artan ikame oranıyla birlikte mineral madde çözünürlüklerinde tespit edilen artış açıkça görülmektedir.



Şekil 4.42. Ekmek örneklerinin Ca, Mn, Fe ve Zn içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” etkileşimi



Şekil 4.43. Ekmek örneklerinin Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksyonu

Ekmek örneklerine ait HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde analiz sonuçları Çizelge 4.64’te verilmektedir. En düşük Ca (10.46 mg/100 g), Mn (1.03 mg/100 g), Fe (1.07 mg/100 g), Cu (0.11 mg/100 g), Zn (0.52 mg/100 g), Na (515.80 mg/100 g), Mg (37.74 mg/100 g) ve K (139.35 mg/100 g) içerikleri kontrol ekmek örneğinde tespit edilmiştir. En yüksek Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K içeriklerinin ise sırasıyla 31.54, 1.29, 1.55, 0.17, 0.83, 725.13, 100.99 ve 271.02 mg/100 g olduğu bulunmuştur. Örneklerin HCl ile ekstrakte edilebilir Se içerikleri diğer mineral maddelerden oldukça düşük bulunurken, en yüksek içerik 0.020 mg/100 g olarak, en düşük içerik ise 0.001 mg/100 g olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.64. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
	Kontrol		10.46±0.39	1.03±0.01	1.07±0.01	0.11±0.01	0.52±0.02	0.001±0.001	515.80±0.17	37.74±1.29	139.35±0.50
		10	13.06±0.08	1.17±0.02	1.24±0.10	0.13±0.02	0.58±0.06	0.005±0.001	638.71±0.76	63.49±0.95	219.37±1.42
	D	20	15.30±1.76	1.20±0.03	1.34±0.04	0.15±0.02	0.60±0.02	0.004±0.001	661.94±1.09	73.63±1.68	225.58±1.73
		30	16.54±0.69	1.28±0.01	1.36±0.03	0.17±0.02	0.70±0.02	0.005±0.003	713.60±1.00	88.78±0.13	251.68±1.18
		10	13.82±0.97	1.00±0.01	1.14±0.01	0.11±0.01	0.53±0.03	0.005±0.002	556.62±0.66	48.25±0.30	168.28±1.49
KB	US	20	17.11±1.26	1.14±0.02	1.20±0.06	0.13±0.02	0.60±0.02	0.009±0.005	666.62±0.67	78.65±1.80	245.50±0.54
		30	20.93±1.41	1.18±0.02	1.33±0.11	0.14±0.02	0.66±0.02	0.012±0.001	674.77±2.25	93.88±2.56	271.02±0.05
		10	17.04±0.29	1.16±0.01	1.30±0.02	0.14±0.01	0.62±0.03	0.008±0.001	668.59±0.83	62.26±0.74	222.17±1.67
	Lp	20	17.45±0.83	1.19±0.01	1.37±0.02	0.15±0.03	0.69±0.04	0.009±0.001	693.83±0.69	76.09±1.64	252.99±2.47
		30	20.42±0.57	1.22±0.02	1.55±0.02	0.16±0.02	0.77±0.03	0.012±0.001	716.13±0.86	94.39±0.84	280.26±1.41
		10	18.33±1.48	1.17±0.01	1.23±0.03	0.12±0.01	0.63±0.02	0.020±0.003	602.80±2.23	63.68±0.16	206.60±1.75
	D	20	25.57±1.73	1.20±0.02	1.31±0.01	0.13±0.01	0.72±0.01	0.015±0.001	674.64±0.69	79.20±1.25	220.37±1.58
		30	30.26±2.71	1.21±0.01	1.32±0.01	0.14±0.02	0.74±0.01	0.019±0.002	698.46±2.05	89.35±0.90	222.26±0.74
		10	17.13±0.28	1.09±0.01	1.20±0.02	0.11±0.01	0.65±0.01	0.015±0.001	653.38±2.35	59.15±1.65	200.18±0.06
A	US	20	23.59±1.74	1.16±0.01	1.33±0.03	0.13±0.01	0.74±0.02	0.018±0.001	668.82±1.59	83.67±2.52	228.05±1.08
		30	31.54±0.58	1.18±0.01	1.34±0.02	0.13±0.01	0.74±0.03	0.018±0.002	685.35±2.11	100.99±0.05	230.46±0.95
		10	16.86±0.91	1.18±0.01	1.42±0.02	0.12±0.01	0.55±0.01	0.012±0.001	679.82±0.87	65.35±1.50	210.48±0.27
	Lp	20	23.47±0.52	1.26±0.02	1.46±0.02	0.14±0.01	0.68±0.02	0.011±0.001	715.47±1.52	84.64±1.21	228.25±2.10
		30	31.44±0.96	1.29±0.03	1.48±0.02	0.14±0.01	0.83±0.03	0.012±0.001	725.13±0.48	95.96±1.64	245.06±0.20

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri.

³D:Dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. US:Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.65 ve 4.66’da özetlenmektedir. Örneklerin ekstrakte edilebilir Mn, Zn, Na, Mg ve K içerikleri üzerinde, tüm faktör ve interaksiyonların etkileri $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ekstrakte edilebilir Ca içeriklerinde, çeşit ve oran faktörleri ile “*ön işlem x çeşit*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonlarının $p<0.01$ düzeyinde önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin ekstrakte edilebilir Fe içerikleri üzerinde ön işlem ve oran faktörleri ile “*ön işlem x oran*” interaksiyonunun etkileri $p<0.01$ düzeyinde, “*çeşit x oran*” interaksiyonunun etkisinin ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ekstrakte edilebilir Cu içeriklerinde ise çeşit ve oran faktörlerinin $p<0.05$ düzeyinde önemli bir etki gösterdiği görülmüştür. Örneklerin Ca, Fe ve Cu içerikleri üzerinde bahsedilmeyen diğer faktör ve interaksiyonların etkilerinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0.05$). Ekstrakte edilebilir Se içerikleri üzerinde, çeşit ve oran faktörleri ile “*ön işlem x çeşit*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri $p<0.01$ düzeyinde, “*ön işlem x oran*” ve “*ön işlem x çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Varyans analizi sonuçlarında ön işlem faktörünün, ekmek örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Se içerikleri üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu görülmüştür ($p>0.05$).

Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.67’de verilmektedir. Çimlendirilmiş amarant unu ikamesine sahip örneklerin ekstrakte edilebilir Ca, Mn, Zn, Se, Na ve Mg içerikleri, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip örneklerin ise ekstrakte edilebilir Cu ve K içerikleri istatistiksel olarak önemli şekilde daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Çeşit açısından, örneklerin ekstrakte edilebilir Fe içerikleri arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Ekmek örneklerine ait bu değerlerin, Se minerali hariç hammadde sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Çizelge 4.5). Ekstrakte edilebilir Se değerindeki bu farkın ise mineral maddenin içeriğinin oldukça düşük olmasından dolayı göz ardı edilebileceği söylenebilir.

Çizelge 4.65. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları 1¹

VK	SD	Ca		Mn		Fe		Cu	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	7.52	2.57ns	0.04	160.78**	0.15	48.52**	0.01	2.82ns
Çeşit (B)	1	368.63	251.90**	0.01	23.91**	0.01	3.66ns	0.01	9.27**
Oran (C)	3	1418.55	323.11**	0.26	660.60**	0.75	162.07**	0.01	14.91**
AxB	2	20.40	6.67**	0.01	31.18**	0.01	3.27ns	0.01	1.23ns
AxC	6	16.92	1.93ns	0.02	26.94**	0.06	6.37**	0.01	0.66ns
BxC	3	243.67	55.57**	0.01	9.20**	0.02	4.20*	0.01	1.30ns
AxBxC	6	11.45	1.30ns	0.01	12.25**	0.01	1.60ns	0.01	0.46ns
Hata	24	60.07		112.50		28.08		4.42	

¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.66. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait varyans analizi sonuçları 2¹

VK	SD	Zn		Se		Na		Mg		K	
		KT	F	KT	F	KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	0.01	12.00**	0.001	2.388ns	11403.70	3028.11**	55.29	20.28**	1490.50	439.02**
Çeşit (B)	1	0.02	98.27**	0.001	118.757**	1065.03	565.61**	151.23	110.93**	1755.59	1034.21**
Oran (C)	3	0.31	402.54**	0.001	93.871**	249102.72	44097.43**	21263.61	5199.02**	85706.18	16829.65**
AxB	2	0.02	32.80**	0.001	24.174**	2740.34	727.66**	35.26	12.93**	259.43	76.41**
AxC	6	0.02	12.59**	0.001	2.587*	6080.95	538.24**	412.89	50.48**	3011.82	295.71**
BxC	3	0.01	17.60**	0.001	14.310**	1118.18	197.94**	66.76	16.32**	2699.56	530.10**
AxBxC	6	0.01	10.44**	0.001	3.159*	6909.73	611.60**	58.23	7.12**	1295.90	127.23**
Hata	24	70.98		22.583		6161.57		675.53		2362.46	

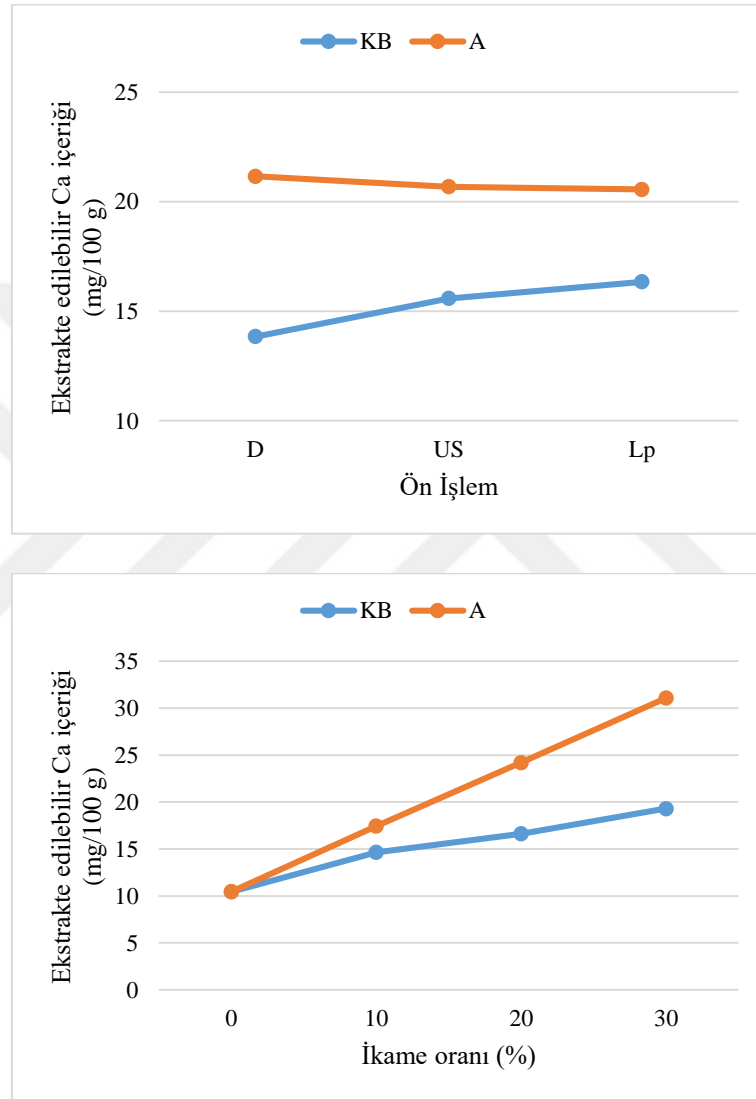
¹* p<0.05 düzeyinde önemli, ** p<0.01 düzeyinde önemli, ns: önemsiz.

Çizelge 4.67. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir mineral madde analizlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	Ca (mg/100 g)	Mn (mg/100 g)	Fe (mg/100 g)	Cu (mg/100 g)	Zn (mg/100 g)	Se (mg/100 g)	Na (mg/100 g)	Mg (mg/100 g)	K (mg/100 g)
<i>Çeşit</i> ²									
KB	15.26±3.62 b	1.14±0.09 b	1.25±0.15 a	0.13±0.03 a	0.61±0.08 b	0.006±0.004 b	628.18±75.77 b	66.05±20.77 b	212.91±50.51 a
A	20.80±7.80 a	1.15±0.09 a	1.27±0.14 a	0.12±0.01 b	0.66±0.10 a	0.012±0.007 a	637.61±76.28 a	69.60±22.02 a	200.81±37.25 b
<i>Ön İşlem</i> ³									
D	17.50±6.80 a	1.16±0.08 a	1.24±0.12 b	0.13±0.03 a	0.63±0.09 b	0.009±0.008 a	627.72±72.07 b	66.70±19.07 b	203.07±38.65 b
US	18.13±6.74 a	1.10±0.07 b	1.21±0.12 b	0.12±0.02 a	0.62±0.09 b	0.010±0.007 a	617.15±69.49 c	67.51±23.55 b	202.77±46.28 b
Lp	18.45±6.47 a	1.17±0.09 a	1.34±0.17 a	0.13±0.02 a	0.65±0.11 a	0.008±0.004 a	653.82±81.27 a	69.27±21.48 a	214.74±47.85 a
<i>Oran</i>									
0	10.46±0.39 d	1.03±0.01 d	1.06±0.01 d	0.11±0.01 c	0.52±0.02 d	0.001±0.001 b	515.80±0.17 d	37.74±1.29 d	139.35±0.50 d
10	16.04±2.08 c	1.13±0.06 c	1.25±0.10 c	0.12±0.02 bc	0.60±0.06 c	0.011±0.006 a	633.32±42.16 c	60.36±5.83 c	204.51±17.86 c
20	20.42±4.15 b	1.19±0.04 b	1.34±0.09 b	0.13±0.02 ab	0.67±0.06 b	0.011±0.005 a	680.22±18.78 b	79.31±4.26 b	233.46±11.79 b
30	25.19±6.22 a	1.22±0.05 a	1.40±0.10 a	0.14±0.02 a	0.74±0.06 a	0.013±0.005 a	702.24±17.87 a	93.89±4.33 a	250.12±20.58 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş ekmek örnekleri, A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş ekmek örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri, Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen ekmek örnekleri.

Ekmek örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Ca içerikleri üzerinde “*ön işlem x çeşit*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.44’te gösterilmektedir. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Ca içeriklerinin çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmek örneklerinden önemli derecede yüksek bulunması interaksiyon grafiklerinde de açıkça görülmektedir.

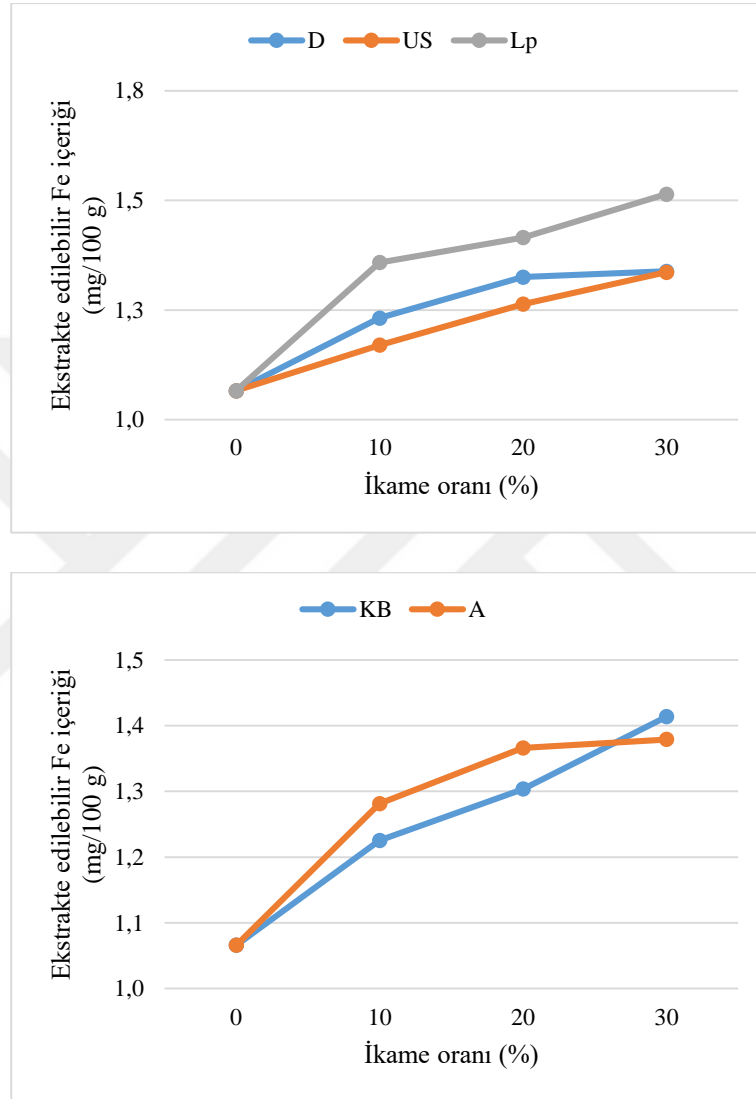


Şekil 4.44. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Ca içerikleri üzerinde etkili “*ön işlem x çeşit*” ve “*çeşit x oran*” interaksiyonları

Çoklu karşılaştırma analiz sonuçları ön işlem açısından değerlendirildiğinde, US örneklerinin ekstrakte edilebilir Mn ve Na içeriklerinin diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük, Lp örneklerinin ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Na, Mg ve K içeriklerinin ise önemli derecede daha yüksek olduğu görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.67.). Uygulanan ön işlemlerin, örneklerin ekstrakte edilebilir Ca, Cu ve Se

içerikleri üzerinde istatistiksel anlamda önemli bir farklılık oluşturmadığı bulunmuştur ($p>0.05$).

Ekmek örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Fe içerikleri üzerinde “ön işlem x oran” ve “çeşit x oran” interaksiyonlarının etkileri Şekil 4.45’te gösterilmektedir.

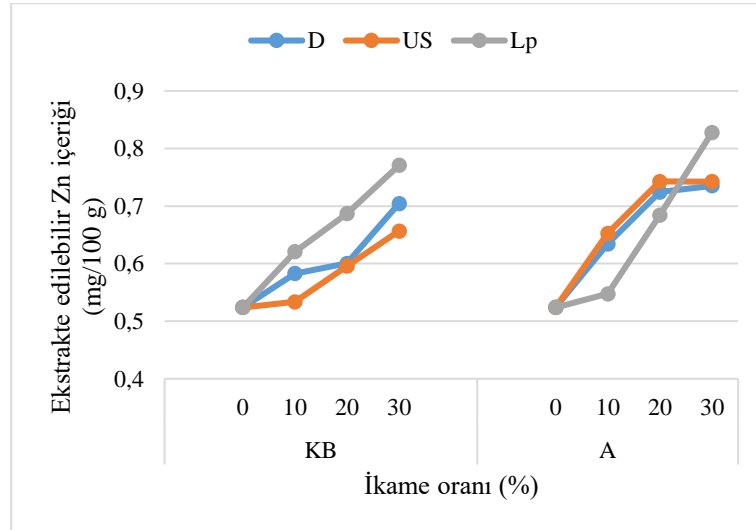


Şekil 4.45. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Fe içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x oran” ve “çeşit x oran” interaksiyonları

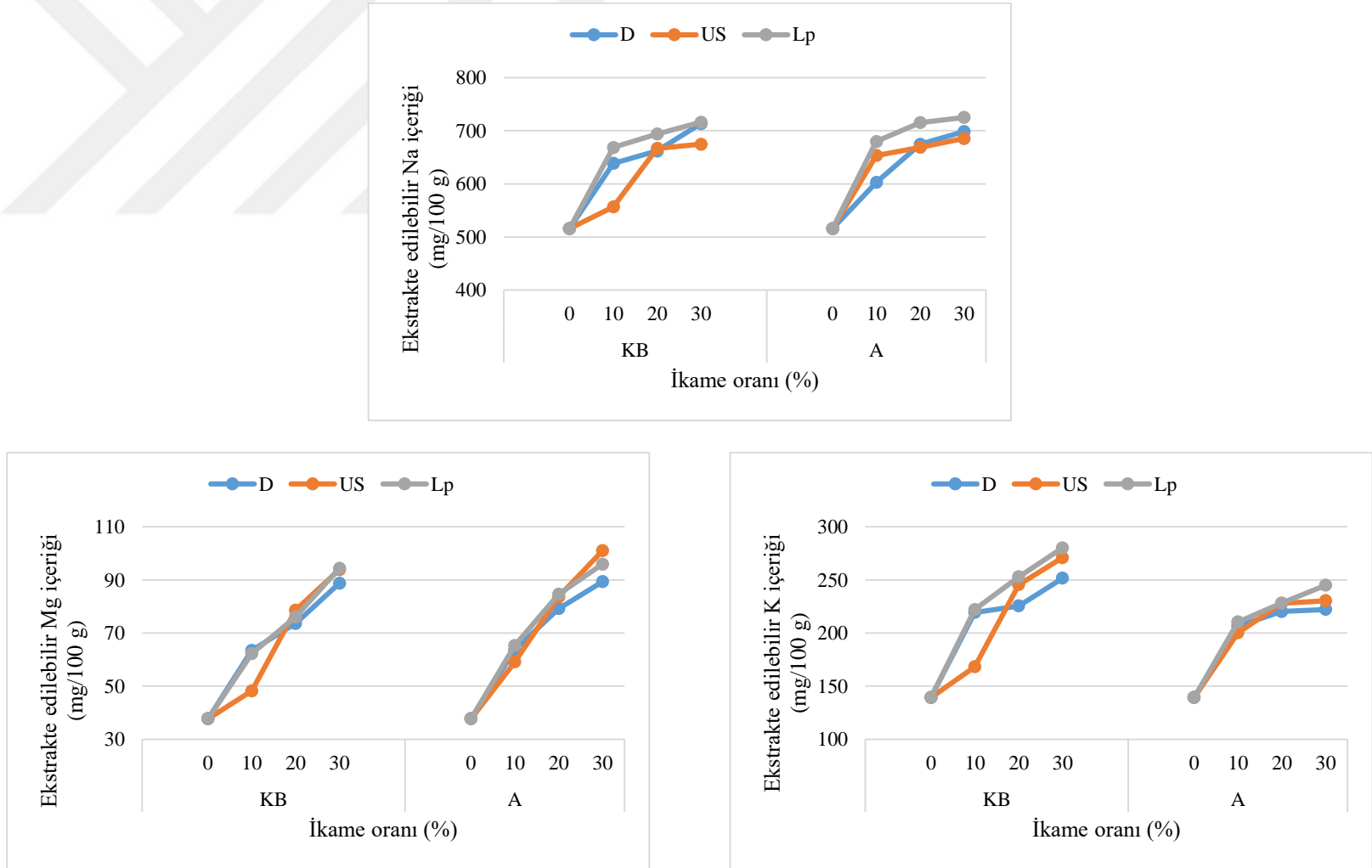
Oran faktörü açısından, ikame oranı arttıkça ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K içeriklerinin istatistiksel olarak önemli derecede artış gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.67). Benzer şekilde çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesine sahip ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Se içerikleri kontrol örneğinden yüksek bulunmuştur. Fakat ikame oranları arasındaki fark, analiz sonuçlarında istatistiksel olarak önemli bir farklılık

oluşturmamıştır ($p>0.05$). Hammadde sonuçları doğrultusunda, ekmeklerde çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikamesiyle birlikte örneklerin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerinin artması beklenen bir sonuçtur (Çizelge 4.5). Benzer şekilde, Brites ve ark. (2022a) ekmeklerde rafine ve tam karabuğday unu ikame oranının artmasıyla örneklerin Fe, Zn ve Mg sindirilebilirliklerinin de arttığını bildirmişlerdir. Dyner ve ark. (2007) bir çalışmalarında %20 amarant unu ikameli ekmeklerde Fe, Ca ve Zn minerallerinin ürüne potansiyel katkılarını, mineral maddelerin içerikleri ve diyaliz edilebilirliklerinin çarpımı ile hesaplamışlardır. Bahsedilen bu çalışmada amarant unu ikamesinin ekmeklerde Fe, Ca ve Zn minerallerinin potansiyel katkılarını artırıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir. Miranda-Ramos ve ark. (2019) ise bir çalışmalarında, %50'ye kadar olan amarant unu ikamesinin ekmek örneklerinin Ca, Fe ve Zn içeriklerini artırdığını bildirmiş, buna karşın yüksek fitat içeriğinin Fe ve Zn minerallerinin biyoyararlılığını kısıtlayıcı bir etkisinin olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Ekmek örneklerinin HCl ile ekstrakte edilebilir Zn içerikleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.46’da, ekstrakte edilebilir Na, Mg ve K içerikleri üzerindeki etkileri ise Şekil 4.47’de gösterilmektedir. İkame oranındaki artışla beraber örneklerin ekstrakte edilebilir mineral madde içeriklerinde tespit edilen artış interaksiyon grafiklerine de doğrudan yansımaktadır.



Şekil 4.46. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Zn içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu



Şekil 4.47. Ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Na, Mg ve K içerikleri üzerinde etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu

Martins ve ark. (2017) bir çalışmada, buğday ekmeğinin Na, K, Ca ve Mg içeriklerini sırasıyla 348.2, 127.4, 119.6, 27.3 ve 683.8 mg/100 g, Mn, Fe, Cu, Zn, Se ve Mo içeriklerini 1517.1, 90.1, 623.0, 2.9 ve 12.9 µg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada Ca ve Mg minerallerinin biyobulunabilirliği 1.8 ve 2.7 mg/100 g olarak bulunurken, Mn, Fe, Cu, Zn ve Mo minerallerinin biyobulunabilirlikleri sırasıyla 53.3, 119.8, 33.5, 88.1 ve 7.2 µg/100 g olarak bulunmuştur.

Suliburska ve ark. (2013) bazı tahıl ürünlerinde minerallerin potansiyel biyobulunabilirlik değerlerini araştırdıkları bir çalışmada, ekmekte Ca, Mg, Fe, Zn ve Cu minerallerinin biyobulunabilirlik değerlerinin sırasıyla %8.48, %20.98, %37.94, %50.24 ve %62.62 olduğunu bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada karabuğday ekmeğinde Ca, Mg, Fe, Zn ve Cu minerallerinin biyobulunabilirlik değerlerinin sırasıyla %22.2, %21.7, %17.2, %51.7 ve %63.6 olduğu bildirilmiştir.

Iglesias-Puig ve ark. (2015) kinoa unu ikameli ekmek örneklerinde, kinoanın iyi bir mineral kaynağı olmasına karşın, ürünlerin mineral biyoyararlılığının düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumun fitat/mineral molar oranlarından kaynaklandığı öne sürülerek, tahıl ürünlerine ekzojen fitaz enziminin dahil edilmesi ile ürünlerde mineral biyoyararlılığının geliştirilebileceği önerilmiştir. Literatürde bildirilen bu çalışmalar doğrultusunda, ürün, hammadde ve analiz metodu çeşitliliğinden kaynaklanabilecek farklılıklara karşın, bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatür ile uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

4.3.7. Sindirilebilirlik analiz sonuçları

Pekçok ülkede günlük diyetle önemli bir payı olan ekmek; protein, karbonhidrat, lif, vitamin ve mineral maddelerce önemli bir besin maddesi olarak kabul edilir. Ekmeğin kimyasal bileşimini oluşturan maddeler hem tek başlarına hem de aralarındaki etkileşimlerle son ürünün besinsel ve kalite özelliklerini etkilemektedir (Bredariol ve ark., 2020). Ekmekte proteinlerin besinsel kalitesi, özellikle lizin gibi sınırlayıcı esansiyel aminoasit içeriklerinin yanı sıra sindirilebilirlik özellikleriyle de ilişkilidir (Bredariol ve ark., 2020; Lavoignat ve ark., 2022). Protein sindirilebilirliği, tüketilen proteinin bağırsakta emilim kapasitesi ve beslenme üzerindeki etkisinin bir göstergesidir. Proteinlerin sindirime karşı olan dirençleri, alerjenik etkilerini de yansıtabildiği için gıdaların protein sindirilebilirliklerinin belirlenmesi önemlidir (Bredariol ve ark., 2020).

Sindirilebilirlik açısından önem arz eden bir diğer besin ögesi, günlük enerjinin yaklaşık yarısını karşılayan nişastadır (Qi ve ark., 2022). Hızlı sindirilebilir nişasta tüketimi kan dolaşımındaki glikoz artışında büyük dalgalanmalara neden olmakta, sık tüketim ise tip 2 diyabet, obezite ve kanser gibi birçok kronik hastalık için bir risk faktörü oluşturmaktadır (Miao ve ark., 2015). Yavaş sindirilebilir nişasta tüketimi kandaki glikoz seviyelerini korumakta ve vücutta sürekli enerji sağlamaktadır (Zhang ve Hamaker, 2009). Bağırsakta sindirilmeyip sağlığı geliştirici metabolitlere fermente edilen dirençli nişastanın ise vücutta; tokluğu artırma, insülin tepkisini azaltma, kolesterolü düşürme ve kanseri önleme gibi pekçok fizyolojik faydası bulunmaktadır (Qi ve ark., 2022). Toplum sağlığı açısından, gıdaların sadece katkılanarak formülasyonlarının zenginleştirilmesi değil, aynı zamanda besin maddelerinin biyoyararlılığını etkileyen sindirilebilirlik özelliklerinin de iyileştirilmesi gerekmektedir.

Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik analiz sonuçları Çizelge 4.68'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.68. Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik analizlerine ait sonuçlar¹

Çeşit ²	Ön İşlem ³	Oran	GS ⁴ (%)	KSO ⁵ (%)	Sindirilebilir nişasta (%)		
Kontrol	D	0	81.86±0.10	62.18±2.01	52.04±3.50		
		10	75.82±0.06	72.80±0.49	61.18±5.58		
		20	75.30±0.06	75.49±0.27	66.57±1.13		
	KB	US	30	74.30±0.01	78.08±1.43	70.63±1.20	
			10	77.62±0.03	74.00±0.43	62.43±3.40	
			20	76.84±0.01	77.54±1.30	70.41±1.98	
		Lp	US	30	75.80±0.08	81.27±0.99	74.53±2.30
				10	79.81±0.03	74.26±0.62	65.94±5.50
				20	75.64±0.04	77.60±0.12	74.64±2.34
D			30	75.22±0.01	82.03±1.19	80.24±3.22	
			10	81.42±0.03	70.10±0.01	53.14±3.77	
			20	81.21±0.08	73.59±0.96	55.87±4.52	
A	US	30	75.79±0.01	76.42±0.31	66.73±2.29		
		10	78.13±0.01	74.56±0.01	59.04±2.12		
		20	77.03±0.04	83.98±0.44	64.04±3.65		
	Lp	30	76.76±0.02	87.57±0.29	68.59±0.43		
		10	79.88±0.03	79.74±0.40	59.94±1.98		
		20	78.21±0.05	82.04±0.50	65.02±2.89		
		30	77.08±0.02	86.73±0.39	72.58±4.03		

¹Sonuçlar iki tekrerrün ortalamasıdır. ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. Lp:*L. plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁴GS: Gastrik sindirilebilirlik, ⁵KSO:Kül sindirilebilirlik oranı.

Örnekler arasında en yüksek GS (%81.86) ve en düşük KSO (%62.18) değerleri kontrol örneğinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.68). En düşük GS değeri dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte %74.30 olarak tespit edilirken, en yüksek KSO değeri ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği örnekte %87.57 olarak tespit edilmiştir. Ekmek örneklerine ait sindirilebilir nişasta analiz sonuçları %52.04 ile %80.24 arasında değişim göstermiş olup, en düşük sindirilebilir nişasta içeriği kontrol örneğinde, en yüksek sindirilebilir nişasta içeriği ise *L. plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğdaydan elde edilen unun %30 oranında ikame edildiği örnekte tespit edilmiştir.

Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.69'da gösterilmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre örneklerin GS değerleri üzerinde tüm faktör ve interaksiyonların $p < 0.01$ düzeyinde önemli bir etkisinin olduğu bulunmuştur. Ekmek örneklerinin KSO değerleri üzerinde “çeşit \times oran” interaksiyonunun etkisi önemsiz bulunurken ($p > 0.05$), diğer tüm faktör ve interaksiyonların etkilerinin $p < 0.01$ olduğu tespit edilmiştir. Ekmek örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerine ait varyans analizi sonuçları incelendiğinde, örneklerin sindirilebilir nişasta içerikleri üzerinde tüm interaksiyonların etkilerinin istatistiksel olarak önemsiz bulunduğu dikkat çekmektedir ($p > 0.05$). Buna karşın, ön işlem faktörünün ekmek örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerine etkisinin $p < 0.05$ düzeyinde önemli, çeşit ve oran faktörlerinin etkilerinin ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.69. Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik analizlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	GS ²		KSO ³		Sindirilebilir nişasta	
		KT	F	KT	F	KT	F
Ön İşlem (A)	2	1.68	209.38**	196.32	39.90**	245.85	7.15**
Çeşit (B)	1	30.61	7628.70**	38.99	15.85**	316.32	18.40**
Oran (C)	3	237.44	19726.47**	2675.84	362.54**	2656.86	51.51**
AxB	2	17.42	2171.59**	68.31	13.88**	8.86	0.26ns
AxC	6	14.73	611.74**	91.68	6.21**	100.12	0.97ns
BxC	3	13.40	1113.09**	20.54	2.78ns	124.43	2.41ns
AxBxC	6	18.42	765.32**	39.00	2.64*	19.21	0.19ns
Hata	24	3466.41		53.18		8.49	

¹* $p < 0.05$ düzeyinde önemli. ** $p < 0.01$ düzeyinde önemli. ns: önemsiz. ²GS: Gastrik sindirilebilirlik, ³KSO:Kül sindirilebilirlik oranı.

Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.70’te özetlenmiştir. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları çeşit faktörü açısından değerlendirildiğinde, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin GS ve KSO değerlerinin, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örnekler için değerlerden istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Dirençli ve toplam nişasta analiz sonuçlarına benzer şekilde (Çizelge 4.53), çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmek örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri de çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.70).

Çizelge 4.70. Ekmek örneklerinin sindirilebilirlik değerlerine ait Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

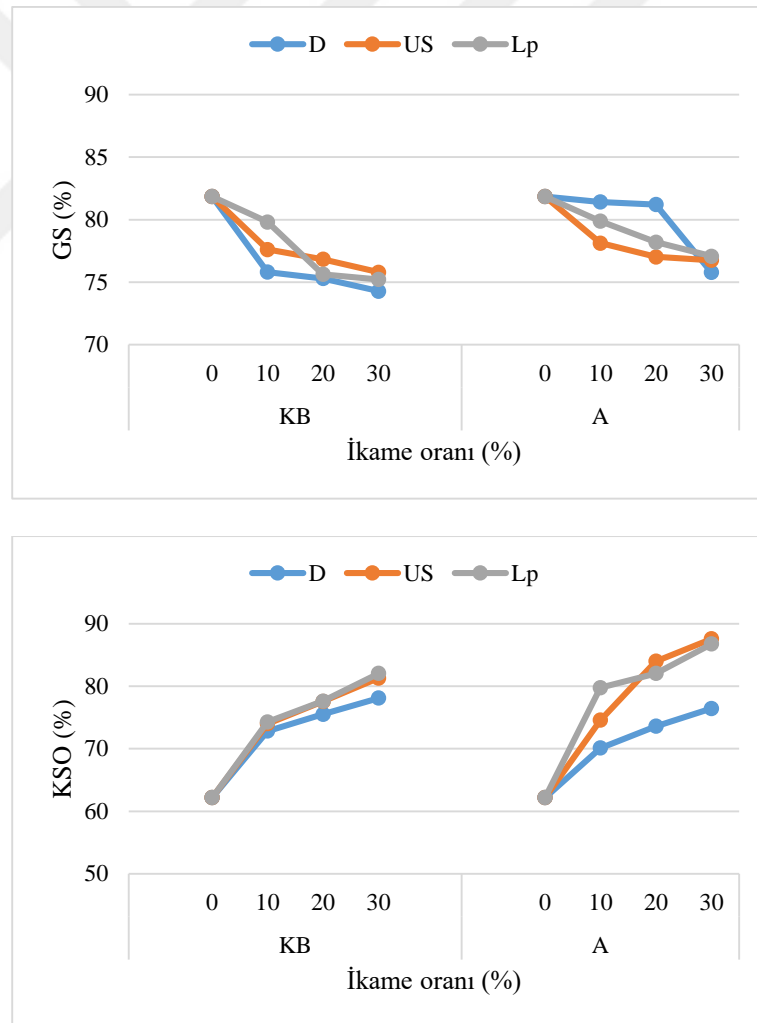
Faktör	n	GS ⁴ (%)	KSO ⁵ (%)	Sindirilebilir nişasta (%)
<i>Çeşit</i> ²				
KB	12	77.66±2.77 b	73.30± b	65.22±9.75 a
A	12	79.26±2.23 a	75.10± a	60.09±7.35 b
<i>Ön İşlem</i> ³				
D	8	78.44±3.18 b	71.35± b	59.78±7.43 b
US	8	78.24±2.18 c	75.41± a	62.89±8.22 ab
Lp	8	78.70±2.42 a	75.84± a	65.30±10.26 a
<i>Oran</i>				
0	6	81.86±0.10 a	62.18± d	52.04±3.50 d
10	6	78.78±1.82 b	74.24± c	60.28±5.31 c
20	6	77.37±1.96 c	78.38± b	66.09±6.12 b
30	6	75.82±0.93 d	82.02± a	72.21±5.05 a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş, aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$). ²KB:Çimlendirilmiş karabuğday unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. A:Çimlendirilmiş amarant unuyla üretilmiş tarhana örnekleri. ³D:Dezenfektan kullanılıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. US:Ultrason uygulanıp çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. Lp:L. *plantarum* inoküle edilip çimlendirilerek elde edilmiş unlarla üretilen tarhana örnekleri. ⁴GS: Gastrik sindirilebilirlik, ⁵KSO:Kül sindirilebilirlik oranı.

Ön işlem faktörü açısından, Lp örneklerinin GS değerleri diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli şekilde daha yüksek, D örneklerinin GS değerleri ise daha düşük bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.70). Benzer şekilde, D örneklerinin KSO değerleri diğer örneklerden istatistiksel olarak önemli derecede daha düşük bulunurken ($p<0.05$), US ve Lp örneklerinin KSO değerleri arasındaki deskriptif farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Çoklu karşılaştırma testi sonuçları ön işlem faktörü açısından ele alındığında, yine örneklerin toplam nişasta içeriklerine benzer

şekilde (Çizelge 4.53), Lp örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri diğer örneklerden istatistiksel olarak daha yüksek, US örneklerinin sindirilebilir nişasta içerikleri ise daha düşük bulunmuştur.

Çoklu karşılaştırma testi sonuçları oran faktörü açısından değerlendirildiğinde, ikame oranındaki artışla beraber örneklerin GS değerlerinin istatistiksel olarak önemli şekilde azaldığı, KSO değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.70). Sindirilebilirlik değerlerindeki bu değişimlerin, hammaddelere ait değerler doğrultusunda beklenen sonuçlar olduğu söylenebilmektedir. Çizelge 4.70 oran faktörü bakımından ele alındığında, ikame oranındaki artışın, ekme örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerinin istatistiksel olarak önem arz edecek şekilde artmasına neden olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ekme örneklerinin GS ve KSO değerleri üzerinde “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonunun etkileri Şekil 4.48’de gösterilmektedir.



Şekil 4.48. Ekmek örneklerinin GS ve KSO değerleri üzerindeki etkili “ön işlem x çeşit x oran” interaksiyonu

Bu çalışmadan elde edilen verilere benzer şekilde, literatürde bildirilen bir çalışmada buğday ekmeğinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerlerinin tek aşamalı sindirim yönteminde %84.9 olarak, iki aşamalı sindirim yönteminde Kjeldahl ve Lowry metotlarıyla %47.1 ve yine %47.1 olarak bulunduğu bildirilmiştir (Abdel-Aal, 2008). Świeca ve ark. (2013) ekmekte soğan kabuğu ikamesinin etkilerini araştırdıkları bir çalışmalarında, kontrol örneğinin protein sindirilebilirlik değerini %78.35 olarak tespit etmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, ekmekte %1, 2, 3 ve 4 oranında soğan kabuğu ikamesi ile örneklerin protein sindirilebilirlik değerlerinin sırasıyla %72.96, %69.11, %63.39 ve %55.00 olarak bulunduğu bildirilmiştir. Świeca ve ark. (2017) başka bir çalışmalarında, kontrol ekmek örneğinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerini %52.55 olarak bulurken, %5 ve %20 oranında çimlendirilmiş buğday unu ikamesiyle birlikte ekmek örneklerinin protein sindirilebilirliklerinin %49.82 ile %52.31 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Sciarini ve ark. (2017) glutensiz kontrol ekmek örneğinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerini 51.0 g/100 g olarak tespit etmişlerdir. Desai ve ark. (2018) ise bir çalışmalarında kontrol buğday ekmeğinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerini %79.96 olarak bulurken, %5, 10 ve 15 oranında somon balığı tozu ikame edilmiş ekmek örneklerinin protein sindirilebilirlik değerini sırasıyla %80.80, %80.20 ve %80.60 olarak tespit etmişlerdir. Qazi ve ark. (2021) ekmekte mikroalg ikamesi üzerine yaptıkları bir çalışmalarında, kontrol buğday ekmeğinin *in vitro* protein sindirilebilirlik değerinin %68.5 olduğunu ve %12 oranında mikroalg ikamesi ile birlikte ekmek örneklerinin protein sindirilebilirlik değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Moretton ve ark. (2023) bir çalışmalarında, yumuşak buğday, durum buğdayı ve tam buğday ekmeği örneklerinin protein sindirilebilirliklerini, yetişkin ve yaşlı koşullarında, gastrik ve intestinal fazda ayrı ayrı değerlendirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada, tüm ekmeklerin protein sindirilebilirlik değerleri gastrik fazda %10'dan düşük bulunmuştur. İntestinal fazda ise ekmek örneklerinin protein sindirilebilirlik değerlerinin yaşlı koşullarında %40 ile %60, yetişkin koşullarında ise %50 ile %70 arasında değişim gösterdiği tespit edilerek, ekmek proteinlerinin sindiriminin çoğunlukla bağırsak aşamasında gerçekleştiği belirtilmiştir. Kulathunga ve ark. (2023) buğday starteri kullanılarak üretilen ekşi mayalı ekmek örneğinin protein sindirilebilirliğinin %97.57 bulunduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmadan elde edilen KSO verilerine benzer şekilde, Örü ve Ertop (2021) bir çalışmalarında, siyez ve ekmeklik ince buğday kepeğinden, 3'er farklı hamur verimi ile üretilen ekşi hamurların mineral sindirilebilirlik değerlerini tespit etmişlerdir. Bahsedilen

bu çalışmada siyez kepekli ekşi hamurların toplam mineral sindirilebilirlikleri %70.40, %71.60 ve %76.90 olarak bulunurken, ekmeçlik ince buğday kepekli ekşi hamurların toplam mineral sindirilebilirliklerinin %73.08, %78.66 ve %82.68 olarak bulunduğu bildirilmiştir.

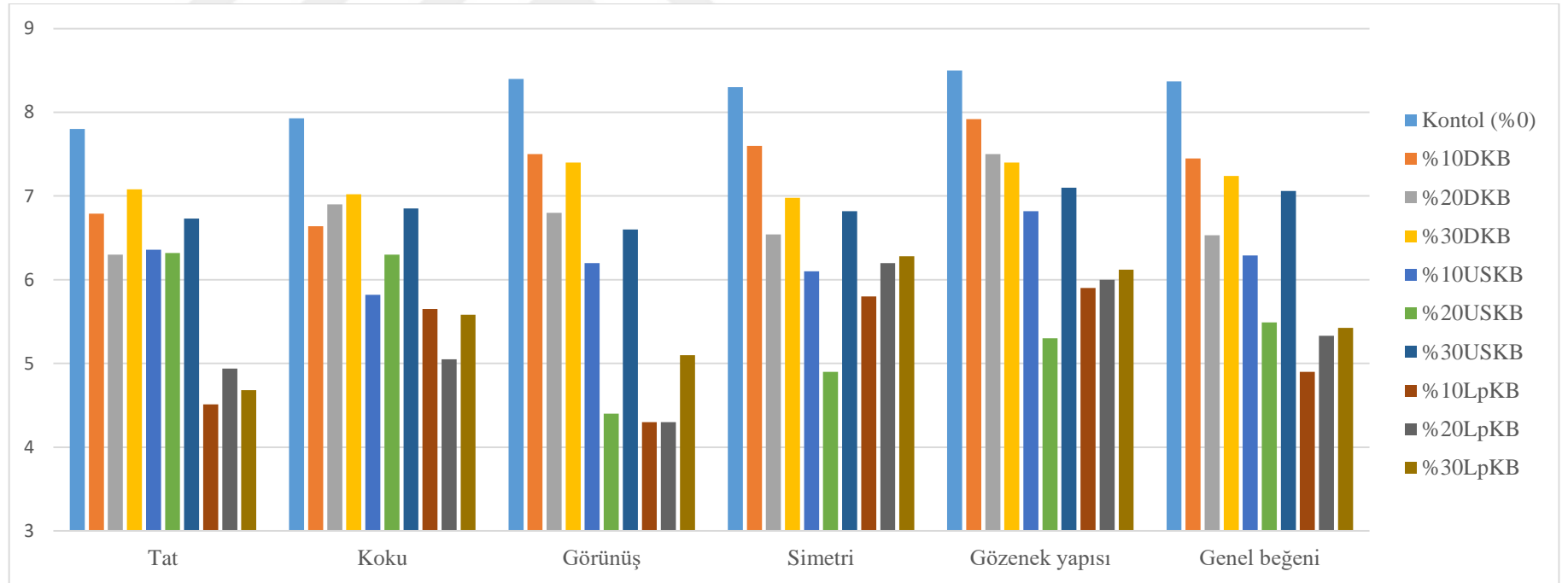
Ying ve ark. (2023) bir çalışmalarında, kontrol buğday ekmeğinin hızlı ve yavaş sindirilebilir nişasta içeriklerini sırasıyla %13.32 ve %42.85 olarak tespit etmişlerdir. Zhao ve ark. (2024) ise kontrol ekmeç örneğinin hızlı sindirilebilir nişasta içeriğini %37.62 olarak, yavaş sindirilebilir nişasta içeriğini ise %24.08 olarak bulmuşlardır. Başka bir çalışmada %30'dan %70'e kadar karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeç örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerinin %69.0 ile %73.7 arasında değiştiiği tespit edilmiştir (Skrabanja ve ark., 2001).

4.3.8. Duyusal analiz sonuçları

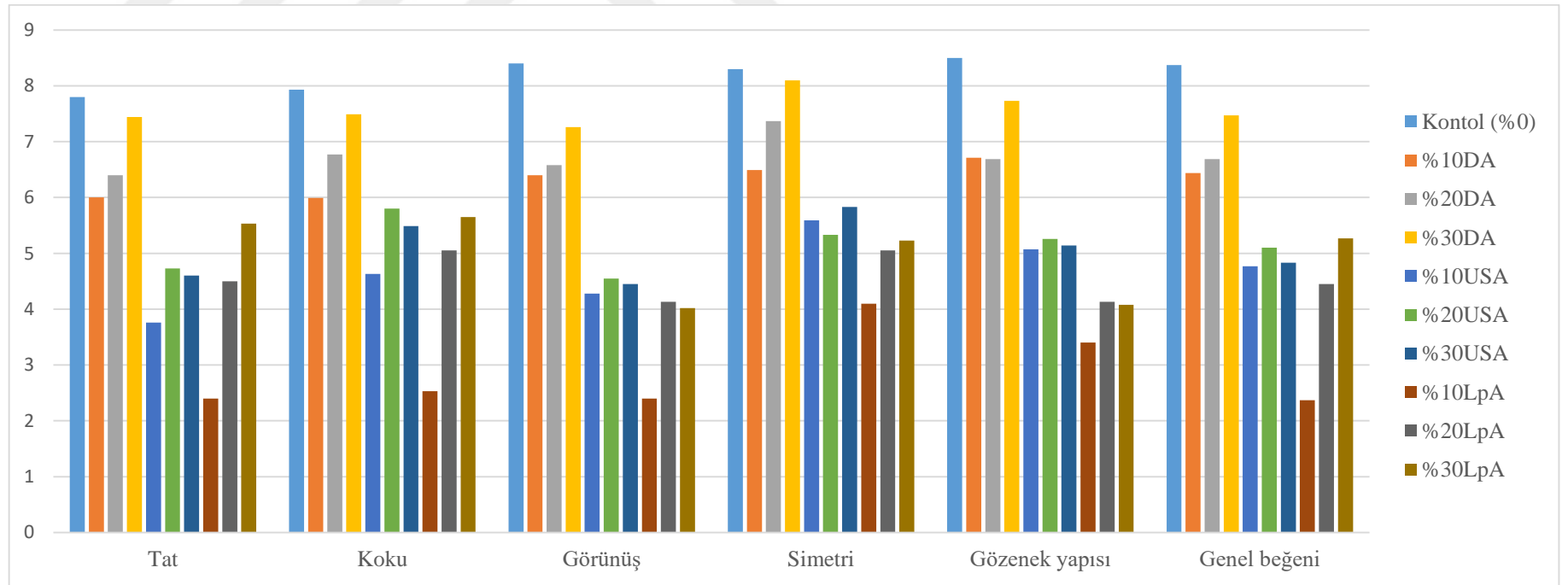
Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmeç örneklerinin duyusal analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Tüm duyusal parametrelerde en yüksek puanı alan örnek kontrol örneği olmuştur.

Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmeç örneklerinin tat değerleri birbirine oldukça yakın puanlar alırken, D örneklerinin diğer örneklerden daha yüksek, Lp örneklerinin ise daha düşük puanlara sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.49; 4.50). İkame oranı arttıkça hem çimlendirilmiş karabuğday hem de amarant unu ikameli örneklerin tat puanları artış göstermiştir.

Örneklerin duyusal değerlendirme puanları koku parametresi açısından değerlendirildiğinde, KB örneklerine ait puanların A örneklerinden yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.49; 4.50). Uygulanan çimlendirme ön işlemleri açısından, koku değerlerinde de tat değerlerine benzer değişimler görülmüştür. İkame oranının artmasıyla birlikte, örneklerin koku özelliği panelistler tarafından daha çok beğeni kazanmıştır. Artan ikame oranıyla çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin koku puanları daha radikal bir artış göstermiştir.



Şekil 4.49. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmek örneklerinin duysal analiz sonuçları



Şekil 4.50. Çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekme örneklerinin duysal analiz sonuçları

Görünüş parametresi açısından, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örnekler amarant unu ikamelilere göre panelistler tarafından daha kabul edilebilir bulunmuştur (Şekil 4.49; 4.50). Çimlendirme ön işlemleri açısından da tat ve kokuya benzer şekilde D örneklerine ait görünüş puanları diğer örneklerden daha yüksek, Lp örneklerine ait puanlar ise daha düşük bulunmuştur. Yüksek ikame oranlarına sahip örnekler, görünüş açısından, panelistlerce daha albenili bulunmuştur.

Duyusal analiz puanlarına göre, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli örneklerin, amarant unu ikamelilere göre daha simetrik bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.49; 4.50). D örneklerinin simetri puanlarının US ve Lp örneklerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. İkame oranının artmasıyla KB örneklerinin simetri puanları dalgalanmalar gösterse de A örneklerinin simetri puanları artış göstermiştir.

Gözenek yapısında da diğer parametrelere ait sonuçlarla doğrudan ilişkili şekilde, çeşit bakımından KB, ön işlem bakımından D ve ikame oranı bakımından yüksek ikame oranına sahip örnekler daha çok beğeni kazanmıştır (Şekil 4.49; 4.50).

Ekmek örneklerine ait duysal analiz sonuçları genel beğeni açısından değerlendirildiğinde, en çok beğeni kazanan örneğin 8.37 puanla kontrol ekme örneği olduğu görülmüştür (Şekil 4.49; 4.50). Bununla beraber çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip ekme örnekleri çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmeklerden daha çok beğeni kazanmıştır. Genel beğeni parametresi ön işlem açısından değerlendirildiğinde, dezenfektan kullanımına sahip örnekler diğer örneklerden daha çok, *L. plantarum* inokülasyonuna sahip örnekler ise diğer örneklerden daha az beğeni kazanmıştır. Ekme formülasyonuna %30 oranında çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikame edilmesi ekmeklerin genel beğenisini artırmıştır.

Brites ve ark. (2022a), ekmekte %30 oranında tam ve rafine karabuğday unu ikamesinin, duysal olarak kontrol örneğine oldukça benzeyen örnekler elde edilmesine neden olduğunu bildirmişlerdir. Bahsedilen bu çalışmada ekme örneklerinin aroma, lezzet, doku ve genel beğeni özellikleri duysal değerlendirmede yüksek puanlar alırken, %45 ikame oranına sahip örneklerin dokusal özellikleri düşük puanlar almıştır. Yüksek ikame oranlarında örneklerin ağız hissi beğenilmemiş, son ürünlerin kuru ve sert olduğu belirtilmiştir.

Xu ve ark. (2014), buharda pişirilmiş ekme formülasyonunda karabuğday ve çimlendirilmiş karabuğday unu kullanımı üzerine yaptıkları bir çalışmalarında, %12 ikame oranına kadar örneklerin, görünüş, dayanıklılık, yapışkanlık ve tat özelliklerinin panelistler tarafından beğeni kazandığını bildirmişlerdir. Fakat %12 oranında

çimlendirilmiş karabuğday unu kullanımının, örneklerin yapı ve renk özelliklerinde olumsuz etkiye neden olduğu belirtilmiştir. Bahsedilen bu çalışmada, %4 karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin sağlık durumu kötü olan bireyler tarafından, %8 çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin ise kronik hastalar tarafından tüketiminin önemine dikkat çekilmiştir.

Sturza ve ark. (2020), duyuşal değerlendirmede karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekmeklerin, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilenlere göre daha çok beğeni kazandığını bildirmişlerdir. Çimlendirilmiş karabuğday ununun α -amilaz aktivitesinin, ekmeklerde nişasta hidrolizi ve desktrin içeriğini artırarak yapışkan son ürünlere neden olduğu belirtilmiştir. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmeklerin duyuşal değerlendirmede düşük puanlar almasının bir diğer nedeninin, çimlendirilmiş unların flavonoid içerikleri nedeniyle son ürünlere acı ve buruk bir tat oluşturmaları olduğu bildirilmiştir. Ekmeklerde kabul edilebilir duyuşal özellikler açısından en yüksek ikame oranını %30 olarak belirlenmesi önerilmiştir.

Piga ve ark. (2021), amarant unu ile zenginleştirilmiş glutensiz ekmek örneklerinin duyuşal analiz sonuçlarında, panelistlerin son ürünler hakkındaki görüşlerinin “ne beğeniyorum ne de beğenmiyorum” ile “biraz beğeniyorum” arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Amarant ununun genel olarak gıda ürünlerinin duyuşal özelliklerini olumsuz yönde etkileme eğilimi olduğu, ekmekte ise kabul edilebilir fiziksel ve duyuşal özellikler sağlamak için kullanım oranının en fazla %15-20 civarında olması gerektiğini belirtilmiştir. Amarantın kendine has tadı nedeniyle, %20’den yüksek oranlarda kullanımında, son ürünlerin tüketiciler tarafından kabul edilebilir bulunmadığı öne sürülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, karabuğday ve amarantın çimlendirilmesinde, sanitasyon amaçlı kimyasal dezenfektan madde kullanımına alternatif olarak ultrason uygulaması ve *Lactobacillus plantarum* bakteri inokülasyonu ön işlemlerinin etkinliği araştırılmıştır. Bu amaçla, çimlendirme öncesinde tohumlar 10 dk %2.5'lik NaOCl ile muamele edilmiş, 8.6 dk %48.6 genlikteki ultrason işlemine tabi tutulmuş ve 3 saat *L. plantarum* içeren suda bekletilerek inokülasyon sağlanmıştır. Ardından karabuğday ve amarant tohumları $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%85\pm 5$ bağıl nemde 48 saat çimlendirilmiştir. Çimlendirilmiş tohumların kurutulup öğütülmesiyle elde edilen unlarda bazı fiziksel, kimyasal ve besinsel analizler yapılmış, analiz sonuçları buğday unu ile kıyaslanarak aşağıda özetlenmiştir.

Buğday ununun L^* renk değeri bu çalışmada kullanılan çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarından yüksek, a^* renk değeri düşük bulunmuştur. Çimlendirilmiş karabuğday unlarının L^* ve b^* renk değerlerinin ise çimlendirilmiş amarant unlarından düşük olduğu görülmüştür. Ultrason uygulaması, kavitasyon etkisiyle hücre parçalanmasına, dolayısıyla renk pigmentlerinin uygulamanın yapıldığı sulu matrise geçiş hızının artmasına neden olabilir. Ultrason uygulanan çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarında bulunan yüksek L^* değerlerinin, kavitasyon etkisine bağlı olarak, renk pigmentlerinde meydana gelen kayıptan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Buğday ununun nem içeriği çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarından yüksek, ham kül, ham yağ ve ham protein içerikleri ise düşük bulunmuştur. Çimlendirilmiş amarant unları ise nem, ham kül, ham yağ ve ham protein içerikleri açısından çimlendirilmiş karabuğday unlarından üstün bulunmuştur. Kimyasal dezenfektan kullanımının karabuğday tohumlarında çimlenmeyi hızlandırıcı etki gösterdiği, buna bağlı olarak artan parçalanma reaksiyonlarıyla ise kül içeriğinin azaldığı düşünülmektedir. Aynı etki, tohum çeşidindeki farklılıktan dolayı amarant tohumlarında gözlenmemiştir. Amarant tohumlarında ise ultrason uygulamasının yağ globüllerini parçalayarak ham yağ içeriğinde azalmaya neden olduğu tahmin edilmektedir. Kül içeriğine benzer şekilde, aynı etkinin karabuğday tohumlarında görülmemesi muhtemelen yine tohum çeşidindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. *L. plantarum* inokülasyonunun çimlendirilmiş yalancı tahıllarda proteolizi artırdığı, bunun ise özellikle çimlendirilmiş amarant ununun ham protein içeriğine doğrudan bir azalma şeklinde yansıdığı

söylenbilir. Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları dirençli ve toplam nişasta içerikleri bakımından buğday unundan üstün bulunmuştur. Çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının fitik asit içeriklerinin ise buğday unundan oldukça yüksek bulunması dikkat çekmektedir. Bununla beraber, ultrason uygulamasında meydana gelen kaviteasyonun ve *L. plantarum* inokülasyonu sırasında artan fitaz üretiminin, çimlendirilmiş yalancı tahılların fitik asit içeriğini azalttığı tahmin edilmektedir.

Serbest, bağlı ve toplam fenolik madde miktarları açısından, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları buğday unundan önemli derecede üstün özelliktedir. Çimlendirilmiş karabuğday unları, çimlendirilmiş amarant unlarına kıyasla daha zengin fenolik madde içeriklerine sahiptir. Ultrason uygulamasının, tohumun hidrasyon sürecini hızlandırıcı, savunma reaksiyonlarını tetikleyici ve polifenoller gibi ikincil metabolitlerin üretimini artırıcı etki göstererek, çimlendirilmiş yalancı tahılların bağlı ve toplam fenolik madde içeriklerinin artışına neden olduğu düşünülmektedir. Çimlendirilmiş karabuğday unlarının serbest ekstraktlarının DPPH aktiviteleri çimlendirilmiş amarant unlarından üstün bulunurken, bağlı DPPH aktivitelerin benzer değişimler gösterdiği dikkat çekmiştir. Bu durum muhtemelen serbest fenolik fraksiyonun antioksidan aktiviteye daha fazla katkıda bulunmasından kaynaklanmaktadır. USA örneklerinde elde edilen düşük DPPH antioksidan aktivite değerlerinden yola çıkılarak, ultrason uygulamasının, biyoaktif bileşiklerin DPPH radikale erişimini sterik olarak engellediği söylenebilir. Serbest ve bağlı FRAP değerleri açısından da en üstün özelliklere sahip örneklerin, çimlendirilmiş karabuğday unları olduğu bulunmuştur. LpKB örneklerinin serbest FRAP değerleri ile LpA örneklerinin serbest ve bağlı FRAP değerlerinin yüksek bulunmasının, *L. plantarum*'un demir indirgeyici bileşiklerin salınımını artırmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Çimlendirilmiş amarant unları, buğday unu ve çimlendirilmiş karabuğday unlarına kıyasla zengin Ca, Mn, Fe, Zn, Se, Na ve Mg içerikleriyle öne çıkmaktadır. Bununla beraber, buğday ununun Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K içeriklerinin önemli derecede düşük bulunması, çimlendirilmiş yalancı tahılların zengin mineral madde içeriklerinin önemini yansıtmaktadır. Çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının Ca, Mn, Fe, Zn, Mg ve K içerikleri üzerinde ultrason uygulamasının, Mn, Fe, Na ve K içerikleri üzerinde ise *L. plantarum* inokülasyonunun pozitif etki gösterdiği bulunmuştur. Buğday unundaki Ca, Fe, Cu, Zn, Mg ve K minerallerinin ekstrakte edilebilirliklerinin düşük olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, çimlendirilmiş amarant unlarındaki Ca, Mn, Na ve

Mg mineralleriyle, çimlendirilmiş karabuğday unlarındaki Cu ve K mineralleri yüksek sindirilebilirlik özellikleri sergilemektedir. Mineral maddelerin ekstrakte edilebilirlikleri açısından, ultrason uygulamasının Ca, Cu, Zn, Na, Mg ve K mineralleri üzerinde, *L. plantarum* inokülasyonunun ise Cu, Na ve K mineralleri üzerinde pozitif bir etkisinin olduğu dikkat çekmektedir.

Buğday unu ve çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının *in vitro* protein sindirilebilirlik değerleri birbirinden önemli şekilde farklı bulunmazken, buğday ununun kül sindirilebilirlik oranı ve sindirilebilir nişasta değerlerinin çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarından düşük olduğu görülmüştür. US ve Lp örneklerine ait kül sindirilebilirlik oranlarının yüksek olmasının temel nedeninin, ultrason uygulaması ve *L. plantarum* inokülasyonunun fitik asiti parçalayıcı etkisi olduğu düşünülmektedir. Uygulanan bu işlemlerin, fitat komplekslerini parçalayarak mineral maddelerin serbest kalmasına, böylece sadece kül sindirilebilirlik değerlerinin değil, aynı zamanda mineral maddelerin ekstrakte edilebilirliklerinin de artmasına sebep olduğu söylenebilir. Çimlendirilmiş karabuğday unlarının sindirilebilir nişasta içerikleri diğer un örneklerinden daha yüksek bulunmuştur. Çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarında ultrason uygulaması, hücre zarı geçirgenliği ve enzim aktivitelerini artırıcı etkileri ile örneklerin nişasta sindirilebilirliklerinin de artmasına neden olmuştur. Lp örneklerinde ise bakteriyel biyokütlenin nişastayı besin maddesi olarak kullanması ve metabolizma faaliyetleri, çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının sindirilebilir nişasta içeriklerinin artmasında etkili olmuştur.

Tüm analiz sonuçları; çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının besin içerikleri, fonksiyonel özellikleri ve besin maddelerinin biyoyararlılıklarının buğday unundan önemli derecede yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Çimlendirme öncesinde tohumlara uygulanan ultrason işlemi ve *L. plantarum* inokülasyonunun, örneklerin kimyasal, besinsel ve fonksiyonel özelliklerini geliştirici etkisi açıkça görülmektedir. US ve Lp ön işlemleriyle çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları, gıda formülasyonlarının zenginleştirilmesinde kullanılabilecek önemli potansiyele sahip hammaddeler olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmanın devamında, elde edilen çimlendirilmiş yalancı tahıl unları buğday ununa ikame edilerek ekmek ve tarhana formülasyonlarında kullanılmış, son ürünlerin bazı fiziksel, kimyasal, besinsel ve duyuşal özellikleri araştırılmıştır, sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Çimlendirilmiş amarant unu ikamesi, tarhana örneklerinde daha açık, daha sarı ve daha kırmızı renk değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Hammaddelerdeki dezenfektan kullanımı, tarhana örneklerinin renginin koyulaşması ve sarılığının azalmasıyla sonuçlanmıştır. *L. plantarum* inokülasyonu ise renk pigmentlerinin çözünürlüğünü artırarak, tarhanalarda daha yüksek L^* , a^* , b^* renk değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Yüksek ikame oranlarındaki örneklerin daha koyu renkte ve daha düşük kırmızılık ile sarılık değerlerine sahip olması muhtemelen, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unlarının renk değerleri ile buğday ununun renk değerleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin yüksek yağ absorpsiyon kapasitesinin, çimlendirilmiş karabuğday ununun hidrofobik aminoasit içeriklerinin diğer hammaddelerden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çimlendirilmiş amarant unu ikameli tarhana örneklerinin yüksek köpük kapasitesi ve stabilitesi değerlerinin ise çimlendirilmiş amarant ununun düşük moleküler ağırlıklı çözünür protein içeriklerinin diğer hammaddelerden yüksek olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

L. plantarum'un nişastanın şişme gücü ve çözünürlüğünü artırıcı muhtemel etkisi, Lp tarhana örneklerinin su absorpsiyon kapasitesinin yüksek bulunması ile sonuçlanmıştır. *L. plantarum* inokülasyonunun, biyosalınım ile tarhanalarda asitliği artırdığı ve nişastanın moleküler yapısını değiştirerek hidrofobik etkileşimi azaltıcı etki gösterdiği düşünülmektedir. Hidrofobik etkileşimin azalması ise Lp tarhana örneklerinin yağ absorpsiyon kapasitelerinin daha düşük bulunmasına neden olmuştur.

Çimlendirme sırasındaki enzimatik aktivitenin, nişastayı hidroliz için daha duyarlı hale getirdiği, tarhana formülasyonunda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikame oranının artmasının ise örneklerdeki hidrolize edilebilir nişasta içeriğini, dolayısıyla fermantasyon kaybını artırdığı söylenebilir. İkame oranındaki artışla beraber tarhanaların su ve yağ absorpsiyon kapasitelerinin artması, örneklerin hidrofobik aminoasit ve çözünürlüğü yüksek nişasta içeriklerinin artmasına atfedilebilir. Yüksek ikame oranlarında, köpük kapasitesi ve köpük stabilitesinin düşük bulunması, muhtemelen protein denatürasyonunun artması ve gluten içeriğinin azalmasından kaynaklanmaktadır.

Hammaddelerin kimyasal bileşimleri, tarhanaların kimyasal madde içeriklerine doğrudan yansımış, çimlendirilmiş amarant unu ikameli tarhana örneklerinin nem ve ham yağ içeriklerinin, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin ise toplam nişasta içeriklerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde, hammaddelerin

fitik asit içerikleri doğrultusunda, çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin fitik asit içeriklerinin yüksek bulunmasının beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir.

Lp tarhana örneklerinin nem, ham kül ve ham yağ içerikleri diğer örneklerden önemli derecede yüksek, US tarhana örneklerinin ham kül, ham yağ ve ham protein içerikleri ise daha düşük bulunmuştur. D tarhana örneklerinin ham protein içeriklerinin yüksek bulunması, kimyasal dezenfektan kullanımının protein içeriği üzerinde pozitif bir etki gösterdiğine değil, aksine US ve Lp tarhana örneklerindeki proteoliz reaksiyonlarının daha fazla olduğuna işaret etmektedir. Ultrason işleminin hammaddelerde protein parçalanmasını artırarak, tarhana üretiminde proteolitik aktivite için gerekli substrat miktarında da artışa neden olduğu düşünülmektedir. US ve Lp tarhana örneklerinin dirençli nişasta içeriklerinin düşük bulunması, ultrason uygulamasının dirençli nişastanın yapısını bozarak enzim aktivitesine karşı direncini azaltmasına ve *L. plantarum* inokülasyon sürecinde dirençli nişastanın karbon kaynağı olarak kullanılmasına atfedilebilir. Dirençli nişasta sonuçlarının aksine, US ve Lp örneklerinin toplam nişasta içeriklerinin yüksek bulunmasındaki temel nedenin, US ve Lp ön işlemleri uygulanmış hammaddelerin kullanımının tarhana örneklerinin sindirilebilir nişasta içeriklerini artırması olduğu söylenebilir. Tarhana örneklerinin majör kimyasal madde içeriklerindeki farklılıklar, US tarhana örneklerinin karbonhidrat değerlerine göreceli bir artış olarak yansırken, enerji değerlerinde herhangi önemli bir farklılık oluşturmamıştır. Farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının kullanımı, tarhana örneklerinin fitik asit içeriklerinde herhangi bir farklılık oluşturmazken, tarhana üretimindeki fermantasyon işleminin hammaddelerden kaynaklı fitik asit içeriğini oldukça düşürmesi dikkat çekmektedir.

Tarhana formülasyonundaki yalancı tahıl ikame oranındaki artışla beraber, örneklerin ham kül, ham yağ, ham protein ve toplam nişasta içeriklerinin artması, hammaddelerin kimyasal bileşimleri doğrultusunda beklen bir sonuçtur. Tarhana üretimindeki fermantasyon sırasında meydana gelen enzim aktiviteleri ve mikrobiyal faaliyetin, çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarındaki dirençli nişastanın basit şeker ve oligosakkaritlere parçalanma hızını artırıcı etki gösterdiği düşünülmektedir. Ayrıca fermantasyonla birlikte çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarındaki nişasta granüllerinin yapısal bütünlüğünün bozulmasının, nişasta ile lif arasındaki etkileşimin değişmesinin ve antibesinsel bileşiklerin inaktivasyonunun, artan ikame oranıyla birlikte dirençli nişasta içeriğinin azalmasına katkıda bulunduğu söylenebilir. Tarhana formülasyonunda, artan

ikame oranıyla birlikte karbonhidrat içeriklerinin azalmasının temel nedeninin, fermantasyon kaybı olduğu söylenebilir. Yüksek ikame oranlarına sahip tarhana örneklerinin düşük fitik asit içeriklerine sahip olması ise muhtemelen çimlendirilmiş unların fitaz aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Bu konuda, tarhana üretim prosesindeki fermantasyonun, hammaddeler üzerindeki endojen fitaz aktivitesini artırıcı etkisi ise göz ardı edilmemelidir.

Çimlendirilmiş amarant unu ikamesiyle üretilen tarhana örneklerinin serbest ve toplam fenolik madde içeriklerinin yüksek bulunmasının, çimlendirilmiş amarant unundaki bağlı fenoliklerin serbest forma geçişi ve çimlendirilmiş karabuğday ununda yüksek miktarda bulunan serbest fenolik bileşiklerin fermantasyon sırasında enzimatik bozunmaya uğrayarak farklı metabolitlere dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. US ve Lp tarhana örneklerinin serbest fenolik madde miktarlarının düşük bulunması, muhtemelen fermantasyon sırasında gerçekleşen bozunma ve hidroliz olaylarının bir sonucudur. Fermantasyonda mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen enzimatik faaliyetler, fenolik bileşik depolimerizasyonuna neden olabilmekte, US ve Lp tarhana örneklerinde ise daha yüksek serbest fenolik madde içeriğine sahip hammaddeler kullanıldığı için oksidasyon ve polimerizasyon reaksiyonlarından daha fazla etkilendiği düşünülmektedir. Bu etkiler örneklerin toplam fenolik madde içeriklerine de doğrudan yansımıştır. Yüksek ikame oranına sahip tarhana örneklerinin, yüksek serbest, bağlı ve toplam fenolik madde içeriğine sahip olması, hammadde sonuçları doğrultusunda beklenen bir sonuçtur.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin serbest DPPH değerlerinin düşük bulunması, çözünebilir, serbest formdaki antioksidan özelliklere sahip bileşiklerin fermantasyondan negatif şekilde etkilenmesinden kaynaklanıyor olabilir. Lp işlemine sahip hammaddelerdeki bakteriyel metabolizma faaliyetlerinin ve tarhana üretimindeki fermantasyonun sinerjik etkisinin, ürünlerdeki antioksidan bileşiklerin biyoyararlılığını artırdığı söylenebilir. US tarhana örneklerinin serbest DPPH değerlerinin hammaddelere kıyasla yükselmesi ise serbest radikal inhibe edici etki gösteren peptitler gibi diğer bileşik oluşumlarının fermantasyonla tetiklenerek artmasının bir sonucu olabilir. Yüksek oranlarda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesi içeren tarhana örneklerinin, güçlü serbest ve bağlı antioksidan aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örnekleri mineral madde içerikleri açısından diğer örneklerden üstün bulunmuştur. Yüksek mineral madde

içerikleri, fermantasyon sırasında çimlendirilmiş karabuğday unundaki fitat komplekslerinin parçalanma derecesinin daha yüksek olmasına atfedilebilir. Ca, Mn, Fe, Cu ve Na içeriklerinde US ve Lp, Zn içeriğinde Lp ve Mg ile K içeriklerinde ise US uygulanmış hammadde kullanımlarının negatif etkisi dikkat çekmiştir. Tarhana örneklerinde yüksek oranlarda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesi, son ürünün Ca, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K içeriklerini zenginleştirmiştir. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin Ca, Mn, Cu, Zn, Na, Mg ve K ekstrakte edilebilir mineral içeriklerinin diğer örneklerden yüksek bulunmasının, çimlendirilmiş karabuğdayunun endojen fitaz aktivitesi ile ekzojen enzim aktivitesine katkısının daha fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Benzer şekilde, Lp örneklerinin fitaz aktivitesindeki pozitif etkisinin örneklerin Ca, Mn, Cu, Zn, Na, Mg ve K ekstrakte edilebilirliklerini artırdığı düşünülmektedir. Tarhana formülasyonunda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu kullanımı, son ürünün mineral madde içeriklerinin yanı sıra; Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K minerallerinin ekstrakte edilebilirliğini, dolayısıyla biyoyararlılığını da artırmıştır.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli tarhana örneklerinin GS değerleri ve çimlendirilmiş amarant unu ikameli tarhana örneklerinin KSO değerleri diğer örneklerden yüksek bulunurken, değerlerin deskriptif olarak oldukça benzer olması dikkat çekmiştir. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesi, nişasta sindirilebilirliği yüksek tarhana örneklerinin üretimiyle sonuçlanmıştır. US ve Lp işlemleri ile fermantasyonun sinerjik etkisinin, artan proteolitik, amilolitik ve fitaz aktiviteleriyle birlikte, tarhana örneklerinin sindirilebilirlik değerlerini geliştirdiği görülmüştür. Hammaddelerin sindirilebilirlik özelliklerinin tarhana örneklerine doğrudan yansıdığı, yüksek ikame oranlarında örneklerin GS değerlerinin daha düşük, KSO değerleri ve sindirilebilir nişasta içeriklerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesi, tarhana örneklerinin duyuusal beğenisini kontrol örneğine kıyasla düşürse de tüm duyuusal parametrelere ait beğeni puanları birbirine yakın ve kabul edilebilir seviyede bulunmuştur. Ultrason ve *L. plantarum* inokülasyonuna sahip hammaddelerin kullanımı, tarhana örneklerinin renk, tat ve kıvam beğenisini artırmıştır. %20 ve %30 oranlarındaki ikamenin, yapışkanlık puanları üzerindeki olumsuz etkisi dikkat çekmiştir. Yüksek ikame oranları, düşük ekşiliğe sahip tarhana üretimine neden olmuştur. %10 ikame oranına sahip örneklerin kumluluk puanları kontrol örneğine oldukça yakın bulunmuştur. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen tarhana örnekleri, genel olarak diğer örneklerden daha çok beğenilmiştir.

Bu çalışmada son olarak, çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları ekme formülasyonda buğday ununa ikame edilerek, son ürünlerin bazı fiziksel, kimyasal, besinsel ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çimlendirilmiş amarant unu ikamesi, kabuk fraksiyonları daha koyu ve daha kırmızı renkte, iç dokuları ise daha açık ve daha sarımsı renkte olan ekme üretimiyle sonuçlanmıştır. Çimlendirilmiş karabuğday ununun koyu rengine karşın, amarant unu ikamesiyle üretilen ekme kabuklarının daha koyu renkte bulunması, hammaddelerin Maillard reaksiyonuna katılan bileşik içerikleriyle ilişkilendirilebilir. Ultrason uygulamasının ekme kabuklarının renk değerlerindeki pozitif etkisi muhtemelen, ultrason işleminin polifenoloksidaz enzim aktivitesini azaltıcı ve nişastanın berraklığını artırıcı etkisinden kaynaklanmaktadır. Ekme örneklerinin iç dokularına ait renk değerlerinde ise *L. plantarum*'un renk pigmentlerinin çözünürlüğünü artırıcı etkisi açıkça görülmektedir. Çimlendirilmiş yalancı tahılların yüksek ikame oranlarında kullanımı; daha koyu renkli, sarılık ve kırmızılık değerleri düşük ekme üretimine neden olmuştur.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesiyle üretilen ekme örnekleri, daha ağır ve daha yüksek hacimli bulunmuştur. Bu sonucun, çimlendirilmiş karabuğday unlarının diyet lif içeriklerinin daha yüksek ve α -amilaz içeriklerinin daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. US ekme örneklerinin ağırlıkları diğer örneklerden düşük bulunurken, Lp örneklerinin daha iyi hacim ve spesifik hacim özelliklerine sahip olması dikkat çekmiştir. *L. plantarum* uygulamasına sahip hammaddelerin, ekmeğin fiziksel özelliklerini geliştirici etkileri muhtemelen, polisakkaritler gibi bazı Lactobacillus metabolitleri ve enzim içeriklerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek oranlarda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesi; ekme formülasyonundaki gluten içeriğinin azalmasına, diyet lif içeriğinin dolayısıyla hamurun su tutma kapasitesi ile viskozitesinin artmasına ve hamurun daha az gaz tutma özelliği göstermesine neden olarak, daha ağır ve hacmi küçük ekme üretilmesine sebep olmuştur.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmeğin elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerleri diğer örneklerden üstün bulurken, çimlendirilmiş amarant unu ikameli örneklerin sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ekmeğin tekstürel özellikleri, kabarma özellikleri ve kimyasal içeriklerinden doğrudan etkilenmekle birlikte, en önemli tekstürel özellik olarak sayılabilecek sertlik değerinin yüksek bulunmasının nedeninin, çimlendirilmiş amarant unlarının düşük nem değerleri ve gluten ile diyet lif arasındaki etkileşimi artırıcı etkisi olduğu düşünülmektedir. Ultrason uygulamasının amilolitik aktiviteyi artırıcı etkisinin

ise ekmeklerde daha yüksek sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerine neden olduğu tahmin edilmektedir. Ekmek formülasyonunda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesiyle son ürünlerin sertlik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik değerlerinin artmasının, elastikiyet, koheziflik ve esneklik değerlerinin ise azalmasının başlıca nedeninin gluten içeriğindeki seyrelme olduğu söylenebilir.

Çimlendirilmiş amarant unlarının enzim içerikleri, ekmek örneklerinin bayatlama kinetiğini önemli derecede yavaşlatarak, 3. gün tekstür analizi sonuçlarındaki koheziflik ve esneklik değerlerini pozitif yönde etkilemiş olabilir. Ekmek örneklerinin 3. gündeki tekstürel özellikleri üzerinde farklı ön işlem ve oranlar, 1. güne ait sonuçlar ile doğrudan ilişkili şekilde etki göstermiştir.

Yüksek ham yağ içeriğine sahip çimlendirilmiş amarant ununun, ekmek örneklerinde ham yağ içeriğini artırmadığı, bu durumun amarant ununun lipaz aktivitesi, serbest yağ asidi içeriği ve yağ asitlerinin hamurda amiloz ve gluten gibi maddelerle olan etkileşimlerinden kaynaklandığı ön görülmektedir. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmekler dirençli nişasta içerikleri bakımından üstün bulunmuştur. Hammaddelerin ham kül, ham protein ve toplam nişasta içerikleri, ekmek örneklerinin kimyasal bileşimine doğrudan yansiyarak, karbonhidrat ve enerji değerlerini de paralel şekilde etkilemiştir. Ekmek üretimindeki düşük pH değerlerinin katkısıyla, hem ekmek mayasının hem de hammaddelerin fitaz aktivitelerinin, ekmeklerde hammadde kaynaklı antibesinsel bileşik içeriğini düşürdüğü söylenebilir. US ekmek örneklerinin yüksek serbest yağ asidi ve aminoasit içeriklerinin pişirme sırasında zarar görerek ham yağ ve ham protein değerlerine negatif etkide bulunduğu tahmin edilmektedir. Lp ekmek örneklerinin ham yağ ve ham protein içeriklerine yansıyan negatif etkinin ise aminoasit veya yağ asitlerinin, aroma bileşikleri ve alkoller gibi diğer kimyasal bileşiklere dönüşümünden kaynaklandığı düşünülmektedir. US ve Lp ekmek örneklerinde tespit edilen düşük dirençli nişasta ve yüksek toplam nişasta içerikleri muhtemelen, hammaddelerde görüldüğü üzere, ultrasonikasyonun enzim direncini azaltıcı etkisi ve *L. plantarum*'un dirençli nişastayı karbon kaynağı olarak kullanma potansiyelinin bir sonucudur. Yüksek ikame oranları, ekmek örneklerinin ham kül, ham yağ, ham protein, dirençli nişasta, toplam nişasta ve enerji değerlerini önemli derecede geliştirmiştir. Bununla birlikte, ikame oranı arttıkça ekmek örneklerinin fitik asit içeriklerinin de artması dikkat çekmektedir.

Ekmek üretimindeki fermantasyon aşamasında çimlendirilmiş karabuğday örneklerindeki serbest fenolik bileşiklerin amarant örneklerinden daha fazla enzimatik

bozunmaya uğrayarak farklı metabolitlere dönüştüğü, bu durumun çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmeklerin serbest fenolik madde içeriklerinin daha üstün bulunmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra üretim prosesinde, çimlendirilmiş amarant örneklerindeki bağlı fenoliklerin serbest forma dönüşümü, karabuğday örneklerine göre daha yüksek oranlarda gerçekleşmiş de olabilir. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmeklerin, bağlı ve toplam fenolik maddeler açısından zengin ürünler olduğu söylenebilir. Hammaddelerin kimyasal ve enzimatik özellikleriyle bağlantılı olarak, D ve Lp ekmek örneklerindeki bağlı fenoliklerin serbest forma geçişinin artmasının, ekmeklerin bağlı ve toplam fenolik madde miktarlarına bir düşüş olarak yansıdığı düşünülmektedir. Ekmek formülasyonlarında çimlendirilmiş yalancı tahıl unu kullanımı, örneklerin fenolik içeriklerini oldukça zenginleştirmiştir.

Çimlendirilmiş karabuğday unu ikameli ekmek örnekleri, yüksek antioksidan aktiviteleriyle öne çıkmaktadır. Bu durum hem hammaddelerin antioksidan özelliklerinden hem de ekmek üretimi sırasında fenolik bileşiklerin salınımının artması ve yeni antioksidan özellikteki bileşiklerin üretiminden kaynaklanıyor olabilir. US ve Lp ekmek örnekleri ile yüksek oranda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesine sahip örneklerin, yüksek antioksidan aktivite özellikleriyle fonksiyonel kalitesi yüksek bulunmuştur.

Çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmekler; Ca, Mn, Fe, Zn, Na ve Mg mineralleri açısından iyi bir kaynaktır. US ve Lp ekmek örneklerinde, ön işlemlerin hammaddelerde meydana getirdiği doku hasarı sonucu mineral madde migrasyonunun fazla olmasıyla ilişkili olarak, mineral madde kayıplarının daha fazla oranda gerçekleştiği düşünülmektedir. Bununla beraber, ekmek formülasyonunda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu kullanım oranının artması, son ürünü Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K mineralleri açısından oldukça zenginleştirmiştir. Çimlendirilmiş amarant unu ikamesine sahip örneklerin, Ca, Mn, Zn, Se, Na ve Mg minerallerinin ekstrakte edilebilirlikleri, yani biyoyararlılıkları da önemli derecede yüksek bulunmuştur. Lp ekmek örneklerinin ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Na, Mg ve K içeriklerinin diğer örneklerden daha üstün olduğu görülmüştür. Yüksek ikame oranlarında ise ekmek örneklerinin Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, Mg ve K mineral ekstrakte edilebilirlik özellikleri önemli derecede artış göstermiştir.

Çimlendirilmiş amarant unu ikamesi, ekmek örneklerinin protein ve kül sindirilebilirlik özelliklerini geliştirirken, çimlendirilmiş amarant unu ikamesi ürünlerin sindirilebilir nişasta içeriklerini iyileştirmiştir. Lp ekmek örnekleri; protein, kül ve nişasta sindirilebilirlik değerleri açısından üstün bulunmuştur. Çimlendirilmiş yalancı tahıl unu

ikame oranının %0'dan %30'a artması, ürünlerin protein sindirilebilirliğini azaltıcı, kül ve nişasta sindirilebilirliğini ise artırıcı etki göstermiştir.

Duyusal değerlendirmede, yüksek oranlarda çimlendirilmiş yalancı tahıl unu ikamesine sahip ekmek örnekleri, tat olarak daha çok beğeni kazanmıştır. Çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesi ve yüksek ikame oranları, örneklerin koku, görünüş, simetri ve gözenek yapısı puanlarını artırmıştır. Genel beğeni açısından, çimlendirilmiş karabuğday unu ikamesine sahip ekmek örnekleri, çimlendirilmiş amarant unu ikameli ekmeklerden daha albenili bulunmuştur. US ve Lp işlemlerine sahip hammadde kullanımları örneklerin duyusal özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Buna karşın bütün örnekler duyusal olarak kabul edilebilir bulunmuştur.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada çimlendirilmiş karabuğday ve amarantın; kimyasal bileşiminin zengin, biyoaktif bileşik içerikleriyle antioksidan özelliklerinin üstün, mineral maddeler için iyi bir kaynak ve protein, mineral, nişasta gibi besin bileşenlerinin sindirilebilirlik özelliklerinin yüksek olduğu ortaya konmuştur. Çimlendirilmiş yalancı tahıl unlarının yeni gıda formülasyonlarında kullanımı, özellikle glutensiz diyetlerde, üstün besinsel özelliklere sahip ürünlerin geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir.

Karabuğday ve amarantın çimlendirilmesinde ön işlem olarak ultrason ve *L. plantarum* inokülasyonunun uygulanması, çimlendirme sırasında küflenmeyi önlemiş, kimyasal NaOCl kullanımını engellemiş ve çimlendirilmiş unlarının besinsel, fonksiyonel ve sindirilebilirlik özelliklerini geliştirmiştir. Gelecek çalışmalarda, uygulanan çimlendirme ön işlemlerinin dezenfeksiyon etkinliklerinin belirlenmesi için örneklerde mikrobiyolojik analizler yapılabilir. Ayrıca bu çimlendirme ön işlemlerinin endüstriye entegre edilmesi, daha sağlıklı ve çevre dostu çimlenmiş, filizlenmiş ya da malt gıda üretimine imkan tanıyacaktır.

Ekmek ve tarhana gibi fermente tahıl ürünleri ülkemizde oldukça fazla tüketim oranlarına sahip olup, bu çalışmada geliştirilen formülasyonların endüstriyel üretime taşınması, piyasada tüketicilerin ilgisini çekebilecek yeni alternatifler oluşturacaktır. Bunun yanı sıra, bu çalışmada geliştirilen ekmek ve tarhana formülasyonlarının endüstriye taşınmasının, toplum sağlığına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, son ürünlerde duyusal ve besinsel kalitenin sağlanması açısından, tarhana gibi

uzun fermantasyon işlemine tabi tutulan ürünlerde %10, ekmek gibi fırın ürünlerinde ise %30 oranında çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu kullanımı önerilmektedir.

Gelecek çalışmalarda, ultrason ve *L. plantarum* uygulamalarının çimlendirilmiş yalancı tahıllar üzerinde, çimlendirilmiş yalancı tahılların ise ürünler üzerinde oluşturdukları fiziksel, kimyasal ve enzimatik etki mekanizmaları detaylı bir şekilde araştırılabilir. Geliştirilen ürünlerin sağlık üzerindeki etkilerinin *in vivo* çalışmalarla da incelenmesi önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- AACC, 2010, American Association of Cereal Chemists, Approved Methods of the AACC, 10th ed., St. Paul, MN, USA.
- Aadil, R. M., Zeng, X. A., Wang, M. S., Liu, Z. W., Han, Z., Zhang, Z. H., Hong, J., Jabbar, S., 2015, A potential of ultrasound on minerals, micro-organisms, phenolic compounds and colouring pigments of grapefruit juice, *International Journal of Food Science & Technology*, 50(5), 1144-1150.
- Abdel-Aal, E.S., 2008, Effects of baking on protein digestibility of organic spelt products determined by two in vitro digestion methods, *LWT-Food Science and Technology*, 41(7), 1282-1288.
- Abdel-Aal, E. S. M., Rabalski, I., 2022, Changes in phenolic acids and antioxidant properties during baking of bread and muffin made from blends of hairless canary seed, wheat, and corn, *Antioxidants*, 11(6), 1059.
- Abel, E.S., Evivie, E.R., Chigbufue, O.T., 2023, Evaluating the proximate chemical composition and sensory properties of composite bread from wheat and cocoyam flours, *African Journal of Food Science*, 17(5), 74-84.
- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M.M., Hu, B., Lei, S., Zeng, X., 2014, Sonication enhances polyphenolic compounds, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice, *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 93-97.
- Abuajah, C.I., Ogbonna, A.C., Osuji, C.M., 2015, Functional components and medicinal properties of food: A review, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2522-2529.
- Acosta-Estrada, B.A., Gutiérrez-Urbe, J.A., Serna-Saldívar, S.O., 2014, Bound phenolics in foods, a review, *Food Chemistry*, 152, 46-55.
- Acun, S., Gül, H., Ulutürk, Ş., 2022, Yalancı tahıllar ve yenilikçi tahıl ürünlerinin geliştirilmesinde kullanımları.
- Adebiyi, J.A., Obadina, A.O., Adebo, O.A., Kayitesi, E., 2017, Comparison of nutritional quality and sensory acceptability of biscuits obtained from native, fermented, and malted pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour, *Food Chemistry*, 232, 210-217.
- Adebo, O.A., Njobeh, P.B., Kayitesi, E., 2018, Fermentation by *Lactobacillus fermentum* strains (singly and in combination) enhances the properties of ting from two whole grain sorghum types, *Journal of Cereal Science*, 82, 49-56.
- Adebo, O.A., Gabriela Medina-Meza, I., 2020, Impact of fermentation on the phenolic compounds and antioxidant activity of whole cereal grains: A mini review, *Molecules*, 25(4), 927.
- Adebo, J.A., Njobeh, P.B., Gbashi, S., Oyedeji, A.B., Ogundele, O.M., Oyeyinka, S.A., Adebo, O.A., 2022, Fermentation of cereals and legumes: Impact on nutritional constituents and nutrient bioavailability, *Fermentation*, 8(2), 63.

- Adu, M., Adomako, C., Odoi, S.A., 2023, Proximate and sensory characteristics of bread produced from wheat flour and coconut flour, *International Journal of Innovation and Development*, 1(2).
- Affonfere, M., Chadare, F.J., Fassinou, F.T.K., Linnemann, A.R., Duodu, K.G., 2023, In-vitro digestibility methods and factors affecting minerals bioavailability: A review, *Food Reviews International*, 39(2), 1014-1042.
- Agrahar-Murugkar, D., Zaidi, A., Dwivedi, S., 2018, Development of gluten free eggless cake using gluten free composite flours made from sprouted and malted ingredients and its physical, nutritional, textural, rheological and sensory properties evaluation, *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2621-2630.
- Agregán, R., Guzel, N., Guzel, M., Bangar, S.P., Zengin, G., Kumar, M., Lorenzo, J.M., 2023, The effects of processing technologies on nutritional and anti-nutritional properties of pseudocereals and minor cereal, *Food and Bioprocess Technology*, 16(5), 961-986.
- Aguiar, E.V., Santos, F.G., Centeno, A.C.L.S., Capriles, V.D., 2022, Defining amaranth, buckwheat and quinoa flour levels in gluten-free bread: A simultaneous improvement on physical properties, acceptability and nutrient composition through mixture design, *Foods*, 11(6), 848.
- Aguilar-Felices, E.J., Romero-Viacava, M., Enciso-Roca, E., Herrera-Calderon, O., Común-Ventura, P., Yuli-Posadas, R.Á., Chacaltana-Ramos, L., Pari-Olarte, B., 2019, Antioxidant activity of the germinated seed of four varieties of *Amaranthus caudatus* L. from Peru, *Pharmacognosy Journal*, 11(3).
- Akhtar, S., Anjum, F.M., Anjum, M.A., 2011, Micronutrient fortification of wheat flour: Recent development and strategies, *Food Research International*, 44(3), 652-659.
- Aktaş, K., Demirci, T., Akin, N., 2015, Chemical composition and microbiological properties of tarhana enriched with immature wheat grain, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3014-3021.
- Aktaş, K., Akin, N., 2020, Influence of rice bran and corn bran addition on the selected properties of tarhana, a fermented cereal based food product, *LWT*, 129, 109574.
- Aleixandre, A., Benavent-Gil, Y., Velickova, E., Rosell, C.M., 2021, Mastication of crisp bread: Role of bread texture and structure on texture perception, *Food Research International*, 147, 110477.
- Alfeo, V., Bravi, E., Ceccaroni, D., Sileoni, V., Perretti, G., Marconi, O., 2020, Effect of baking time and temperature on nutrients and phenolic compounds content of fresh sprouts breadlike product, *Foods*, 9(10), 1447.
- Ali Abdul, N., Mahmood Abdulrahman, A., Talb, S.S., Mhamad, H.J., 2023, Mineral processing impact on wheat and barley (Tiry bread and samoon as an example), *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 51(2), 36-50.
- Alkandari, S., Bhatti, M.E., Aldughpassi, A., Al-Hassawi, F., Al-Foudari, M., Sidhu, J.S., 2021, Development of functional foods using psyllium husk and wheat bran

- fractions: Phytic acid contents, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(6), 3602-3606.
- Al-Sahlany, S.T.G., Al-musafer, A.M.S., 2020, Effect of substitution percentage of banana peels flour in chemical composition, rheological characteristics of wheat flour and the viability of yeast during dough time, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(1), 87-91.
- Al-Saleh, A., Brennan, C.S., 2012, Bread wheat quality: Some physical, chemical and rheological characteristics of Syrian and English bread wheat samples, *Foods*, 1, 3–17.
- Althwab, S.A., Alhomaïd, R.M., Ali, R.F., Mohammed El-Anany, A., Mousa, H.M., 2021, Effect of migratory locust (*Locusta migratoria*) powder incorporation on nutritional and sensorial properties of wheat flour bread, *British Food Journal*, 123(11), 3576-3591.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E.K., Gallagher, E., 2010a, Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients, *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 106-113.
- Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E.K., Gallagher, E., 2010b, Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking, *Food Chemistry*, 119(2), 770-778.
- Amaral, O., Guerreiro, C.S., Gomes, A., Cravo, M., 2016, Resistant starch production in wheat bread: Effect of ingredients, baking conditions and storage, *European Food Research and Technology*, 242, 1747-1753.
- Amritha, G.K., Venkateswaran, G., 2018, Use of lactobacilli in cereal-legume fermentation and as potential probiotics towards phytate hydrolysis, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10, 647-653.
- Angelino, D., Cossu, M., Marti, A., Zanoletti, M., Chiavaroli, L., Brighenti, F., Del Rio, D., Martini, D., 2017, Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in bread: A review, *Food & Function*, 8(7), 2368-2393.
- Anjum, F.M., Tufail, S., Hussain, S., Khan, M.I., Arshad, M.S., Nadeem, M., 2012, Effect of bioprocesses on phenolic compounds, phytic acid and HCl extractability of minerals in wheat cultivars, *Food Science and Technology Research*, 18(4), 555-562.
- Aphalo, P., Martínez, E.N., Añón, M.C., 2015, Amaranth sprouts: A potential health promoting and nutritive natural food, *International Journal of Food Properties*, 18(12), 2688-2698.
- Argüelles-López, O.D., Reyes-Moreno, C., Gutiérrez-Dorado, R.R., Sánchez-Osuna, M.F., López-Cervantes, J., Cuevas-Rodríguez, E.O., Jorge Milán-Carrillo, J., Perales-Sánchez, J.X.K., 2018, Functional beverages elaborated from amaranth and chia flours processed by germination and extrusion, *Biotecnica*, 20(3), 135-145.

- Arjmand, S., Mollakhalili-Meybodi, N., Akrami Mohajeri, F., Madadzadeh, F., Khalili Sadrabad, E., 2023, Quinoa dough fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria: Changes in saponin, phytic acid content, and antioxidant capacity, *Food Science & Nutrition*.
- Armero, E., Collar, C., 1997, Texture properties of formulated wheat doughs relationships with dough and bread technological quality: Relationships with dough and bread technological quality, *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-forschung A*, 204, 136-145.
- Arora, P., Sehgal, S., Kawatra, A., 2003, Content and HCl-extractability of minerals as affected by acid treatment of pearl millet, *Food Chemistry*, 80(1), 141-144.
- Aryee, A.N.A., Agyei, D., Udenigwe, C.C., 2018, Impact of processing on the chemistry and functionality of food proteins. In *Proteins in food processing*, Woodhead Publishing, pp. 27-45.
- Atasoy, R., Hendek Ertop, M., 2021, Assessment of nutritional and bioactive properties for gluten-free tarhana containing various legumes and cereals, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), e15606.
- Aydın, N., 2012, Keçiboynuzu unu ilavesinin bisküvinin bazı kalite kriterlerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- Aydın, E., 2014, Balkabağı (*Cucurbita moschata*) unu katkısının bisküvinin antioksidan aktivite ve besinsel kalitesine etkileri, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Badamshina, E.V., Leonova, S.A., Gareeva, I.T., Nikulina, N.S., Koschina, E.I., 2023, The use of flour from germinated buckwheat in bread recipes, In *BIO Web of Conferences*, EDP Sciences, 71, 01009.
- Bağdatlıoğlu, N., Berkel Kaşıkçı, M., 2019, Salamuraya işlenen bazı sebzelerde bulunan fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin *in vitro* yöntemlerle araştırılması.
- Ballester-Sánchez, J., Gil, J.V., Haros, C.M., Fernández-Espinar, M.T., 2019, Effect of incorporating white, red or black quinoa flours on free and bound polyphenol content, antioxidant activity and colour of bread, *Plant Foods for Human Nutrition*, 74, 185-191.
- Banerji, A., Ananthanarayan, L., Lele, S., 2018, Rheological and nutritional studies of amaranth enriched wheat chapatti (Indian flat bread), *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13361.
- Baraniak, J., Kania-Dobrowolska, M., 2022, The dual nature of amaranth—Functional food and potential medicine, *Foods*, 11(4), 618.
- Bartkiene, E., Bartkevics, V., Pugajeva, I., Krungleviciute, V., Mayrhofer, S., Domig, K., 2017, The contribution of *P. acidilactici*, *L. plantarum*, and *L. curvatus* starters and L-(+)-lactic acid to the acrylamide content and quality parameters of mixed rye-wheat bread, *LWT*, 80, 43-50.

- Baslar, M., Özçelik, G.N., Caliskan, H., 2022, A Comprehensive review on Beyşehir Tarhana, A Turkish traditional food, *International Journal of Gastronomy Research*, 1(1), 35-43.
- Başataç, R., Yalçın, Z.G., Gülen, F.J., 2023, Investigation of drying methods of tarhana produced in Çankırı region by taguchi method, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(4), 210-216.
- Bayrakçı, H.A., Bilgiçli, N., 2015, Influence of resistant starches on chemical and functional properties of tarhana, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 5335-5340.
- Bei, Q., Liu, Y., Wang, L., Chen, G., Wu, Z., 2017, Improving free, conjugated, and bound phenolic fractions in fermented oats (*Avena sativa* L.) with *Monascus anka* and their antioxidant activity, *Journal of Functional Foods*, 32, 185-194.
- Bejosano, F.P., Corke, H., 1998, Effect of Amaranthus and buckwheat proteins on wheat dough properties and noodle quality, *Cereal Chemistry*, 75(2), 171-176.
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P., 2008, Food Chemistry. Springer Science & Business Media.
- Beniwal, S.K., Devi, A., Sindhu, R., 2019, Effect of grain processing on nutritional and physico-chemical, functional and pasting properties of amaranth and quinoa flours, *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 18(3), 500-507.
- Benzie, I.F., Strain, J.J., 1996, The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay, *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bhat, Z.F., Morton, J.D., Kumar, S., Bhat, H.F., Aadil, R.M., Bekhit, A.E.D.A., 2022, Ultrasonication as an emerging technology for processing of animal derived foods: A focus on in vitro protein digestibility, *Trends in Food Science & Technology*, 124, 309-322.
- Bhinder, S., Singh, N., Kaur, A., 2022, Impact of germination on nutraceutical, functional and gluten free muffin making properties of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*), *Food Hydrocolloids*, 124, 107268.
- Biduski, B., Maçãs, M., Vahedikia, N., O’Connor, P.M., Hussey, K., Simpson, J.C., Mysior, M.M., Gallagher, E., 2024, Dough rheology and internal structure of bread produced with wheat flour partially substituted by buckwheat flour: A step towards enhancing nutritional value, *Food Structure*, 39, 100364.
- Bilgiçli, N., Türker, S., 2004, Tarhanada sindirilebilir protein ve kül miktarı üzerine maya, malt unu ve fitaz katkılarının etkileri, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(33), 90-97.
- Bilgiçli, N., Elgün, A., Türker, S., 2006a, Effects of various phytase sources on phytic acid content, mineral extractability and protein digestibility of tarhana, *Food Chemistry*, 98(2), 329-337.

- Bilgiçli, N., Elgün, A., Herken, E.N., Ertaş, N., İbanoğlu, Ş., 2006b, Effect of wheat germ/bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana, a fermented wheat flour-yoghurt product, *Journal of Food Engineering*, 77(3), 680-686.
- Bilgiçli, N., İbanoğlu, Ş., 2007, Effect of wheat germ and wheat bran on the fermentation activity, phytic acid content and colour of tarhana, a wheat flour–yoghurt mixture, *Journal of Food Engineering*, 78(2), 681-686.
- Bilgiçli, N., 2009a, Effect of buckwheat flour on chemical and functional properties of tarhana, *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 514-518.
- Bilgiçli, N., 2009b, Enrichment of gluten-free tarhana with buckwheat flour, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup4), 1-8.
- Bilgiçli, N., İbanoğlu, Ş., 2015, Effect of pseudo cereal flours on some physical, chemical and sensory properties of bread, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 7525-7529.
- Bilgin, D.G., Özhanlı, H., Mutlu, C., Erbas, M., 2022, Tarhana as a food aid suggestion to the world food program, *Journal of Food & Nutrition Research*, 61(2).
- Bircan, D., Güray, C.T., Bostan, K., 2017, Farklı yöntemlerle ekşitilmiş hamurlardan ekmek yapımı üzerine çalışmalar, *Aydın Gastronomy*, 1(1), 1-8.
- Bognar, A., 1998, Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value, *Grasas y Aceites*, 49(3-4), 250-260.
- Bookwalter, G.N., Kirleis, A.W., Mertz, E.T., 1987, *In vitro* digestibility of protein in milled sorghum and other processed cereals with and without soy-fortification, *Journal of Food Science*, 52(6), 1577-1579.
- Borgonovi, S.M., Chiarello, E., Pasini, F., Picone, G., Marzocchi, S., Capozzi, F., Bordoni, A., Barbiroli, A., Marti, A., Iametti, S., Di Nunzio, M., 2023, Effect of sprouting on biomolecular and antioxidant features of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), *Foods*, 12(10), 2047.
- Bosmans, G.M., Lagrain, B., Fierens, E., Delcour, J.A., 2013, The impact of baking time and bread storage temperature on bread crumb properties, *Food Chemistry*, 141(4), 3301-3308.
- Brand-Williams, W., Cavalier, M.E., Berset, C., 1995, Use of free radical method to evaluate antioxidant activity, *Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Brandt, M.J., Roth, K., Hammes, W.P., 2003, Effect of an exopolysaccharide produced by *Lactobacillus sanfranciscensis* LTH1729 on dough and bread quality, *Sourdough from Fundamentals to Applications*, 80.
- Bredariol, P., de Carvalho, R.A., Vanin, F.M., 2020, The effect of baking conditions on protein digestibility, mineral and oxalate content of wheat breads, *Food Chemistry*, 332, 127399.

- Bressani, R., 2003, Amaranth. In B. Caballero (Eds.), *Encyclopedia of food sciences and nutrition*, Oxford: Academic Press, pp. 166e173.
- Brites, L.T., Rebellato, A.P., Meinhart, A.D., Godoy, H.T., Steel, C.J., 2022a, Antioxidant-enriched gluten-free bread made with buckwheat flour: Evaluation of technological and nutritional quality, *Cereal Chemistry*, 99(5), 995-1006.
- Brites, L.T., Rebellato, A.P., Meinhart, A.D., Godoy, H.T., Pallone, J.A., Steel, C.J., 2022b, Technological, sensory, nutritional and bioactive potential of pan breads produced with refined and whole grain buckwheat flours, *Food Chemistry*, 13, 100243.
- Bui, A.T.H., Cozzolino, D., Zisu, B., Chandrapala, J., 2021, Infrared analysis of ultrasound treated milk systems with different levels of caseins, whey proteins and fat, *International Dairy Journal*, 117, 104983.
- Caballero, P.A., Gómez, M., Rosell, C.M., 2007, Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination, *Journal of Food Engineering*, 81(1), 42-53.
- Cankurtaran, T., Ceylan, H., Bilgiçli, N., 2020, Effect of partial replacement of wheat flour by taro and Jerusalem artichoke flours on chemical and sensory properties of tarhana soup, *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14826.
- Cankurtaran Kömürçü, T., 2023, Impact of different ancient wheats and pseudocereals on physical, chemical, and functional properties of gevrek, cereal-based snack product, *Cereal Chemistry*, 100(3), 643-649.
- Cankurtaran-Kömürçü, T., Bilgiçli, N., 2023, Utilization of germinated ancient wheat (Emmer and Einkorn) flours to improve functional and nutritional properties of bread, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103292.
- Cao, M., Gao, Q., 2020, Effect of dual modification with ultrasonic and electric field on potato starch, *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 637-643.
- Carocho, M., Morales, P., Ciudad-Mulero, M., Fernandez-Ruiz, V., Ferreira, E., Heleno, S., Rodrigues, P., Barros, L., Ferreira, I.C., 2020, Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters, *Food Chemistry*, 310, 125954.
- Carson, L., Sun, X.S., 2001, Creep-recovery of bread and correlation to sensory measurements of textural attributes, *Cereal Chemistry*, 78(1), 101-104.
- Castro, W., Oblitas, J., Chuquizuta, T., Avila-George, H., 2017, Application of image analysis to optimization of the bread-making process based on the acceptability of the crust color, *Journal of Cereal Science*, 74, 194-199.
- Castro-Alba, V., Lazarte, C.E., Perez-Rea, D., Carlsson, N.G., Almgren, A., Bergenståhl, B., Granfeldt, Y., 2019, Fermentation of pseudocereals quinoa, canihua, and amaranth to improve mineral accessibility through degradation of phytate, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(11), 5239-5248.

- Caterina, B., Camelia, V., 2012, Sprouted buckwheat an important vegetable source of antioxidants, *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI-Food Technology*, 36(1), 53-60.
- Chandra, M.V., Shamasundar, B.A., 2015, Texture profile analysis and functional properties of gelatin from the skin of three species of fresh water fish, *International Journal of Food Properties*, 18(3), 572-584.
- Chauhan, A., Singh, S., 2013, Influence of germination on physicochemical properties of Amaranth (*Amaranthus* spp.) flour, *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(3), 215-220.
- Chauhan, A., Saxena, D.C., Singh, S., 2015, Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour, *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 939-945.
- Chauhan, A., Kumari, N., Saxena, D.C., Singh, S., 2022, Effect of germination on fatty acid profile, amino acid profile and minerals of amaranth (*Amaranthus* spp.) grain, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(3), 1777-1786.
- Chavan, M., Gat, Y., Harmalkar, M., Waghmare, R., 2018, Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume, *LWT*, 91, 339-344.
- Chavan, P., Sharma, P., Sharma, S.R., Mittal, T.C., Jaiswal, A.K., 2022, Application of high-intensity ultrasound to improve food processing efficiency: A review, *Foods*, 11(1), 122.
- Chlopicka, J., Pasko, P., Gorinstein, S., Jedryas, A., Zagrodzki, P., 2012, Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads, *LWT-Food Science and Technology*, 46(2), 548-555.
- Chompreeda, P.T., Fields, M.L., 1984, Effects of heat and fermentation on the extractability of minerals from soybean meal and corn meal blends, *Journal of Food Science*, 49(2), 566-568.
- Collar, C., Bollaín, C., 2005, Impact of microbial transglutaminase on the staling behaviour of enzyme-supplemented pan breads, *European Food Research and Technology*, 221, 298-304.
- Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E., Rosell, C.M., 2019, Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination, *Food Research International*, 121, 933-939.
- Coronel, E.B., Guiotto, E.N., Aspiroz, M.C., Tomás, M.C., Nolasco, S.M., Capitani, M.I., 2021, Development of gluten-free premixes with buckwheat and chia flours: Application in a bread product, *LWT*, 141, 110916.
- Corrado, M., Zafeiriou, P., Ahn-Jarvis, J.H., Savva, G.M., Edwards, C.H., Hazard, B.A., 2023, Impact of storage on starch digestibility and texture of a high-amylose wheat bread, *Food Hydrocolloids*, 135, 108139.

- Coşovanu, I., Mironeasa, S., 2021, Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features, *Foods*, 10(7), 1539.
- Coşovanu, I., Ungureanu-Iuga, M., Mironeasa, S., 2021, Investigation of quinoa seeds fractions and their application in wheat bread production, *Plants*, 10(10), 2150.
- Coşovanu, I., Mironeasa, S., 2022, Influence of buckwheat seed fractions on dough and baking performance of wheat bread, *Agronomy*, 12(1), 137.
- Coulter, T.P., 2009, Food: The chemistry of its components, *Royal Society of Chemistry*.
- Çağlar, A., Erol, N., Elgün, M.S., 2013, Effect of carob flour substitution on chemical and functional properties of tarhana, *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 670-675.
- Çalışkan Koç, G., Özçira, N., 2019, Chemical composition, functional, powder, and sensory properties of tarhana enriched with wheat germ, *Journal of Food Science and Technology*, 56, 5204-5213.
- Çelik, E.E., Gökmen, V., 2020, Effects of fermentation and heat treatments on bound-ferulic acid content and total antioxidant capacity of bread crust-like systems made of different whole grain flours, *Journal of Cereal Science*, 93, 102978.
- Çevik, A., Ertaş, N., 2019, Effect of quinoa, buckwheat and lupine on nutritional properties and consumer preferences of tarhana, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11(2), 145-155.
- Dadalı, C., 2023, Fermented cereal soup with artichoke (*Cynara scolymus* L.) bracts: volatile profile, functional, powder, and sensory properties, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(5), 2564-2573.
- Dağlıoğlu, O., 2000, Tarhana as a traditional Turkish fermented cereal food. Its recipe, production, and composition, *Food/Nahrung*, 44(2), 85-88.
- De Bock, P., Daelemans, L., Selis, L., Raes, K., Vermeir, P., Eeckhout, M., Van Bockstaele, F., 2021, Comparison of the chemical and technological characteristics of wholemeal flours obtained from amaranth (*Amaranthus* sp.), quinoa (*Chenopodium quinoa*), and buckwheat (*Fagopyrum* sp.) seeds, *Foods*, 10(3), 651.
- Değirmencioglu, N., Gürbüz, O., Herken, E N., Yıldız, A.Y., 2016, The impact of drying techniques on phenolic compound, total phenolic content, and antioxidant capacity of oat flour tarhana, *Food Chemistry*, 194, 587-594.
- Demir, M.K., Olcay, N., 2020, Ekmek üretiminde farklı turunçgil aldebolarının kullanım imkanları, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1545-1553.
- Demir, M.K., Bilgiçli, N., Türker, S., Demir, B., 2021, Enriched Turkish noodles (Erişte) with stabilized wheat germ: Chemical, nutritional and cooking properties, *LWT*, 149, 111819.

- Demirci, A.S., Palabıyık, I., Özalp, S., Tirpancı Sivri, G., 2018, Effect of using kefir in the formulation of traditional Tarhana, *Food Science and Technology*, 39, 358-364.
- Desai, A., Beibeia, T., Brennan, M.A., Guo, X., Zeng, X.A., Brennan, C.S., 2018, Protein, amino acid, fatty acid composition, and in vitro digestibility of bread fortified with *Oncorhynchus tshawytscha* powder, *Nutrients*, 10, 1923.
- Di, C., Jinshui, W., Feng, J., Changfu, Z., 2018, Effects of sourdough addition on the quality and shelf life of Chinese steamed bread, *Grain & Oil Science and Technology*, 1(2), 85-90.
- Di Cairano, M., Condelli, N., Caruso, M.C., Marti, A., Cela, N., Galgano, F., 2020, Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours, *LWT*, 133, 109860.
- Dinçer, E., Tekin, T., 2023, Fermentation of commercial resistant starch products by lactic acid bacteria isolated from various foods, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 66, e23230168.
- Ding, J., Feng, H., 2019, Controlled germination for enhancing the nutritional value of sprouted grains, in *Sprouted grains*, AACC International Press, pp. 91-112.
- Ding, S., Peng, B., Li, Y., Yang, J., 2019, Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol, *Food Chemistry*, 283, 123-130.
- Ding, Y., Xiao, Y., Ouyang, Q., Luo, F., Lin, Q., 2021, Modulating the *in vitro* digestibility of chemically modified starch ingredient by a non-thermal processing technology of ultrasonic treatment, *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105350.
- Dong, Q., Saneoka, H., 2020, Physiological characteristics, phytase activity, and mineral bioavailability of a low-phytate soybean line during germination, *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 383-389.
- Dong, Y., Karboune, S., 2021, A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1937-1981.
- Donkor, O.N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J., Vasiljevic, T., 2012, Germinated grains—Sources of bioactive compounds, *Food Chemistry*, 135(3), 950-959.
- Drago, S.R., 2022, Minerals, in *Nutraceutical and functional food components*, Academic Press, pp. 153-181.
- Dueñas, M., Fernández, D., Hernandez, T., Estrella, I., Muñoz, R., 2005, Bioactive phenolic compounds of cowpeas (*Vigna sinensis* L). Modifications by fermentation with natural microflora and with *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(2), 297-304.
- Duhan, A., Khetarpaul, N., Bishnoi, S., 2002, Changes in phytates and HCl extractability of calcium, phosphorus, and iron of soaked, dehulled, cooked, and sprouted pigeon pea cultivar (UPAS-120), *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 275-284.

- Dyner, L., Drago, S.R., Piñeiro, A., Sánchez, H., González, R., Villaamil, E., Valencia, M.E., 2007, Composition and potential contribution of iron, calcium, and zinc of bread and pasta made with wheat and amaranth flours, *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 57(1), 69-77.
- Dziki, D., Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., 2014, Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds, *Trends in Food Science & Technology*, 40(1), 48-61.
- Egli, I., Davidsson, L., Juillerat, M.A., Barclay, D., Hurrell, R.F., 2002, The influence of soaking and germination on the phytase activity and phytic acid content of grains and seeds potentially useful for complementary feeding, *Journal of Food Science*, 67(9), 3484-3488.
- Elgeti, D., Nordlohne, S.D., Föste, M., Besl, M., Linden, M.H., Heinz, V., Becker, T., 2014, Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour, *Journal of Cereal Science*, 59(1), 41-47.
- Elgün, A., Türker, S., Bilgiçli, N., 2001, Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü, Konya Ticaret Borsası, Yayın No:2, Konya.
- Elkhalifa, A.E.O., Schiffler, B., Bernhard, R., 2004, Effect of fermentation on the starch digestibility, resistant starch and some physicochemical properties of sorghum flour, *Food/Nahrung*, 48(2), 91-94.
- Elkhalil, E.A.I., El Tinay, A.H., Mohamed, B.E., Elsheikh, E.A., 2001, Effect of malt pretreatment on phytic acid and in vitro protein digestibility of sorghum flour, *Food Chemistry*, 72(1), 29-32.
- ElMaki, H.B., AbdelRahaman, S.M., Idris, W.H., Hassan, A.B., Babiker, E.E., El Tinay, A.H., 2007, Content of antinutritional factors and HCl-extractability of minerals from white bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars: Influence of soaking and/or cooking, *Food Chemistry*, 100(1), 362-368.
- Encina-Zelada, C.R., Cadavez, V., Monteiro, F., Teixeira, J.A., Gonzales-Barron, U., 2019, Physicochemical and textural quality attributes of gluten-free bread formulated with guar gum, *European Food Research and Technology*, 245, 443-458.
- Erbaş, M., Certel, M., Uslu, M.K., 2005, Microbiological and chemical properties of Tarhana during fermentation and storage as wet—sensorial properties of Tarhana soup, *LWT-Food Science and Technology*, 38(4), 409-416.
- Ersus, S., Yılmaz, B., Akyüz, A., Visali, R., Allahverdiyeva, Z., Askerova, I., Aliyeva, D., 2023, The effect of amaranth and fennel addition on the physical and chemical properties of breads, *Cereal Research Communications*, 1-10.
- Ertaş, N., Bilgiçli, N., Özcan, S., Sarı, Ş., 2014, Influence of lupin (*Lupinus albus* L.) yoghurt on mineral content and functional properties of tarhana, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 6(4), 395-401.

- Ertuş, N., Sert, D., Demir, M.K., 2015, Functional properties of tarhana enriched with whey concentrate, *Agronomy Research*, 13(4).
- Ertop, M.H., Cerit, Z.G., Atasoy, R., 2019, Evaluation of physicochemical, nutritional and sensory properties of the wet tarhana, *Evaluation*, 83, 61-67.
- Ertugay, Z., 2010, Buğday, un ve ekmek arasındaki kalite ilişkileri, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(1-2).
- Estivi, L., Brandolini, A., Condezo-Hoyos, L., Hidalgo, A., 2022a, Impact of low-frequency ultrasound technology on physical, chemical and technological properties of cereals and pseudocereals, *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 106044.
- Estivi, L., Pellegrino, L., Hogenboom, J.A., Brandolini, A., Hidalgo, A., 2022b, Antioxidants of amaranth, quinoa and buckwheat wholemeals and heat-damage development in pseudocereal-enriched einkorn water biscuits, *Molecules*, 27(21), 7541.
- Ewunetu, M.G., Atnafu, A.Y., Fikadu, W., 2023, Nutritional enhancement of bread produced from wheat, banana, and carrot composite flour, *Journal of Food Quality*, 2023.
- Febles, C.I., Arias, A., Hardisson, A., Rodríguez-Alvarez, C., Sierra, A., 2002, Phytic acid level in wheat flours, *Journal of Cereal Science*, 36(1), 19-23.
- Ferjančič, B., Korošec, M., Piskernik, S., Bertoneclj, J., 2023, Effects of particle size on determination of the contents of grain and legume dietary fibre and resistant starch, *Acta Agriculturae Slovenica*, 119(4), 1-9.
- Fik, M., Surówka, K., 2002, Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(11), 1268-1275.
- Francis, F.J., 1995, Quality as influenced by color, *Food Quality and Preference*, 6(3), 149-155.
- Francis, F.J., 1998, Colour analysis, in: Food Analysis, S.S. Nielsen (Eds.), An Aspen Publishers, Maryland, Gaithersburg, USA, pp. 599-612.
- Francis, H., Debs, E., Koubaa, M., Alrayess, Z., Maroun, R.G., Louka, N., 2022, Sprouts use as functional foods: Optimization of germination of wheat (*Triticum aestivum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), and radish (*Raphanus sativus* L.) seeds based on their nutritional content evolution, *Foods*, 11(10), 1460.
- Galan, M.G., Drago, S.R., Armada, M., Gonzalez Jose, R., 2013, Iron, zinc and calcium dialyzability from extruded product based on whole grain amaranth (*Amaranthus caudatus* and *Amaranthus cruentus*) and amaranth/*Zea mays* blends, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(4), 502-507.
- Gamel, T.H., Linszen, J.P., Mesallem, A.S., Damir, A.A., Shekib, L.A., 2005, Effect of seed treatments on the chemical composition and properties of two amaranth

- species: starch and protein, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(2), 319-327.
- Ganguly, S., Sabikhi, L., Singh, A.K., 2022, Effect of probiotic fermentation on physico-chemical and nutritional parameters of milk-cereal based composite substrate, *Journal of Food Science and Technology*, 59(8), 3073-3085.
- Gänzle, M.G., Vermeulen, N., Vogel, R.F., 2007, Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough, *Food Microbiology*, 24(2), 128-138.
- Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Dziki, D., Sugier, D., 2013, Improvement of nutraceutical value of broccoli sprouts by natural elicitors, *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(1), 129-140.
- Gawlik-Dziki, U., Baraniak, B., Sikora, M., Jakubczyk, A., Kapusta, I., Świeca, M., 2021, Potentially bioaccessible phenolic and antioxidant potential of fresh and stored lentil sprouts—Effect of *Lactobacillus plantarum* 299v enrichment, *Molecules*, 26(8), 2109.
- Gerits, L.R., Pareyt, B., Delcour, J.A., 2014, A lipase-based approach for studying the role of wheat lipids in bread making, *Food Chemistry*, 156, 190-196.
- Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F., Özcan, M.M., Babiker, E.E., Ahmed, I.A.M., Alsawmahi, O.N., 2021, Bioactive compounds, antioxidant activity and sensory properties of Tarhana, a traditional fermented food, enriched with pickling herb (*Echinophora tenuifolia* L.), *International Journal of Food Science & Technology*, 56(7), 3600-3606.
- Gharibzahedi, S.M.T., Jafari, S.M., 2017, The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation, *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119-132.
- Ghimire, A., Aryal, L., Poudel, R., 2021, Preparation and quality evaluation of buckwheat incorporated bread, *Journal of Nutrition and Food Processing*, 4(5).
- Gomez-Coronado, F., Almeida, A.S., Santamaria, O., Cakmak, I., Poblaciones, M.J., 2019, Potential of advanced breeding lines of bread-making wheat to accumulate grain minerals (Ca, Fe, Mg and Zn) and low phytates under Mediterranean conditions, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(3), 341-352.
- Göncü, A., 2024, The effect of using sour cherry (*Prunus cerasus* L.) puree in tarhana formulations on nutritional value and functional properties of tarhana, *Food Science & Nutrition*.
- Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N., Gulli, M., 2022, Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 125, 154-165.
- Guardianelli, L.M., Salinas, M.V., Puppo, M.C., 2019a, Chemical and thermal properties of flours from germinated amaranth seeds, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1078-1088.

- Guardianelli, L.M., Salinas, M.V., Puppo, M.C., 2019b, Hydration and rheological properties of amaranth-wheat flour dough: Influence of germination of amaranth seeds, *Food Hydrocolloids*, 97, 105242.
- Guardianelli, L.M., Salinas, M.V., Puppo, M.C., 2022, Quality of wheat breads enriched with flour from germinated amaranth seeds, *Food Science and Technology International*, 28(5), 388-396.
- Gül, H., Sultan, A., Hayıt, F., Şirikçi, B.S., 2021, Geleneksel ekşi mayalı Isparta ekmeğinin bazı kalite karakteristikleri açısından değerlendirilmesi, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 34-45.
- Gülçin, I., 2012, Antioxidant activity of food constituents: An overview, *Archives of Toxicology*, 86, 345-391.
- Gürbüz, O., Göçmen, D., Özmen, N., Dagdelen, F., 2010, Effects of yeast, fermentation time, and preservation methods on tarhana, *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 40(4), 263-275.
- Hameed, A., Ahmed, M.Z., Gulzar, S., Khan, M.A., 2009, Effect of disinfectants in improving seed germination of *Suaeda fruticosa* under saline conditions, *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2639-2644.
- Harasym, J., Satta, E., Kaim, U., 2020, Ultrasound treatment of buckwheat grains impacts important functional properties of resulting flour, *Molecules*, 25(13), 3012.
- Haros, M., Bielecka, M., Honke, J., Sanz, Y., 2008, Phytate-degrading activity in lactic acid bacteria, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 58(1), 33-40.
- Hasan, M.N., Sultan, M.Z., Mar-E-Um, M., 2014, Significance of fermented food in nutrition and food science, *Journal of Scientific Research*, 6(2).
- Hassan, S., Imran, M., Ahmad, M.H., Khan, M.I., Xu, C., Khan, M.K., Muhammad, N., 2020, Phytochemical characterization of ultrasound-processed sorghum sprouts for the use in functional foods, *International Journal of Food Properties*, 23(1), 853-863.
- Haug, W., Lantzsch, H.J., 1983, Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 1423-1426.
- Haydersah, J., Chevallier, I., Rochette, I., Mouquet-Rivier, C., Picq, C., Marianne-Pépin, T., Guyot, J.P., 2012, Fermentation by amylolytic lactic acid bacteria and consequences for starch digestibility of plantain, breadfruit, and sweet potato flours, *Journal of Food Science*, 77(8), 466-472.
- Hayıt, F., Gül, H., 2017, Çölyak ve çölyak hastaları için üretilen ekmeklerin kalite özellikleri, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(1), 163-169.
- Hayta, M., Alpaslan, M., Baysar, A., 2002, Effect of drying methods on functional properties of tarhana: A wheat flour-yogurt mixture, *Journal of Food Science*, 67(2), 740-744.

- Hejazi, S.N., Orsat, V., Azadi, B., Kubow, S., 2016, Improvement of the in vitro protein digestibility of amaranth grain through optimization of the malting process, *Journal of Cereal Science*, 68, 59-65.
- Henry, P., Edward, M.J., Essien, N.A., Emmanuel, I.C., 2016, Nutritional evaluation of breadfruit and beniseed composite flours, *American Journal of Food Science and Technology*, 4(6), 182-187.
- Herken, E.N., Çon, A.H., 2014, Use of different lactic starter cultures in the production of tarhana, *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 59-67.
- Herrera-Ponce, A.L., Salmeron-Ochoa, I., Rodriguez-Figueroa, J.C., Santellano-Estrada, E., Garcia-Galicia, I.A., Alarcon-Rojo, A.D., 2021, High-intensity ultrasound as pre-treatment in the development of fermented whey and oat beverages: Effect on the fermentation, antioxidant activity and consumer acceptance, *Journal of Food Science and Technology*, 1-9.
- Hooda, S., Jood, S., 2005, Organoleptic and nutritional evaluation of wheat biscuits supplemented with untreated and treated fenugreek flour, *Food Chemistry*, 90(3), 427-435.
- Horstmann, S.W., Atzler, J.J., Heitmann, M., Zannini, E., Lynch, K.M., Arendt, E.K., 2019, A comparative study of gluten-free sprouts in the gluten-free bread-making process, *European Food Research and Technology*, 245, 617-629.
- Horszwald, A., Morales, F.J., Castillo, M., Zielinski, H., 2010, Evaluation of antioxidant capacity and formation of processing contaminants during rye bread making, *Journal of Food and Nutrition Research*, 49(3), 149-159.
- Hoseney, R.C., 1994, Principles of cereal science and technology (2nd ed.), American Association of Cereal Chemists (AACC).
- Hou, Y., Wei, M., Wu, Y., Ouyang, J., 2024, *In vitro* digestibility of starch and protein in cooked wheat and oat whole flours: A comparative study, *Food Chemistry*, 440, 138203.
- Huang, D., Ou, B., Prior, R.L., 2005, The chemistry behind antioxidant capacity assays, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Huda, M.N., Lu, S., Jahan, T., Ding, M., Jha, R., Zhang, K., Zhou, M., 2021, Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat, *Food Chemistry*, 335, 127653.
- Hung, P.V., Trinh, L.N.D., Thuy, N.T.X., Morita, N., 2021, Changes in nutritional composition, enzyme activities and bioactive compounds of germinated buckwheat (*Fagopyrum esculantum* M.) under unchanged air and humidity conditions, *International Journal of Food Science & Technology*, 56(7), 3209-3217.
- Hur, S.J., Lee, S.Y., Kim, Y.C., Choi, I., Kim, G.B., 2014, Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods, *Food Chemistry*, 160, 346-356.

- Hussein, A.S., Fouad, M., El-Shenawy, M., 2022, Production of functional pan bread from mixture of tiger nut flour, milk permeate and hard wheat flour, *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(3), 517-525.
- Iglesias-Puig, E., Monedero, V., Haros, M., 2015, Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability, *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 71-77.
- Ikedo, S., Yamashita, Y., Kusumoto, K., Kreft, I., 2005, Nutritional characteristics of minerals in various buckwheat groats, *Fagopyrum*, 22, 71-75.
- Ilowefah, M., Chinma, E.C., Bakar, J., Ghazali, H.M., Muhammad, K., 2018, Enhancement of extruded brown rice flour functionality through fermentation, *Acta Scientific Nutritional Health*, 2, 2-10.
- Irakli, M., Katsantonis, D., Kleisiaris, F., 2015, Evaluation of quality attributes, nutraceutical components and antioxidant potential of wheat bread substituted with rice bran, *Journal of Cereal Science*, 65, 74-80.
- Ispiryan, L., Kuktaite, R., Zannini, E., Arendt, E. K., 2021, Fundamental study on changes in the FODMAP profile of cereals, pseudo-cereals, and pulses during the malting process, *Food Chemistry*, 343, 128549.
- Işık, F., Yapar, A., 2017, Effect of tomato seed supplementation on chemical and nutritional properties of tarhana, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 667-674.
- Jalali, M., Sheikholeslami, Z., Elhamirad, A.H., Haddad Khodaparast, M.H., Karimi, M., 2020, The effect of the ultrasound process and pre-gelatinization of the corn flour on the textural, visual, and sensory properties in gluten-free pan bread, *Journal of Food Science and Technology*, 57, 993-1002.
- Jayasooriya, S.D., Bhandari, B.R., Torley, P., D'Arcy, B.R., 2004, Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review, *International Journal of Food Properties*, 7(2), 301-319.
- Jensen, S., Skibsted, L.H., Kidmose, U., Thybo, A.K., 2015, Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural evaluation, *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 292-299.
- Ji, D., Wang, Q., Lu, T., Ma, H., Chen, X., 2022a, The effects of ultrasonication on the phytochemicals, antioxidant, and polyphenol oxidase and peroxidase activities in coffee leaves, *Food Chemistry*, 373, 131480.
- Ji, W., Yang, F., Yang, M., 2022b, Effect of change in pH, heat and ultrasound pre-treatments on binding interactions between quercetin and whey protein concentrate, *Food Chemistry*, 384, 132508.
- Joshi, P., 2001, Physical aspects of color in foods, in: *Chemistry and Physiology of Selected Food Colorants*, 43-53.
- Joye, I., 2019, Protein digestibility of cereal products, *Foods*, 8(6), 199.

- Kahve, A., Bayrak, E., 2023, Çimlendirilen tane ve filiz ürünlerin beslenmedeki rolü ve önemi, *Gıda*, 48(2), 333-346.
- Kaim, U., Goluch, Z.S., 2023, Health benefits of bread fortification: A systematic review of clinical trials according to the PRISMA statement, *Nutrients*, 15(20), 4459.
- Kanensi, O.J., Ochola, S., Gikonyo, N.K., Makokha, A., 2013, Effect of steeping and germination on the diastatic activity and sugar content in amaranth grains and viscosity of porridge, *Journal of Agriculture and Food Technology*, 3(1), 1-7.
- Karademir, E., Yalçın, E., 2019, Effect of fermentation on some quality properties of cornelian cherry tarhana produced from different cereal/pseudocereal flours, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11(2), 127-135.
- Katina, K., Liukkonen, K.H., Kaukovirta-Norja, A., Adlercreutz, H., Heinonen, S.M., Lampi, A.M., Poutanen, K., 2007, Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye, *Journal of Cereal Science*, 46(3), 348-355.
- Kaur, H., Gill, B.S., 2019, Effect of high-intensity ultrasound treatment on nutritional, rheological and structural properties of starches obtained from different cereals, *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 367-375.
- Keskin, H.K., Bilgiçli, N., Yaver, E., 2022, Development of gluten-free tarhana formulations: Part II. utilization of legume composite flours and baker's yeast, *Food Bioscience*, 47, 101692.
- Keyata, E.O., Tola, Y.B., Bultosa, G., Forsido, S.F., 2021, Premilling treatments effects on nutritional composition, antinutritional factors, and *in vitro* mineral bioavailability of the improved Assosa I sorghum variety (*Sorghum bicolor* L.), *Food Science & Nutrition*, 9(4), 1929-1938.
- Kılınçer, F.N., Demir, M.K., 2019, Çimlendirmiş bazı tahıl ve baklagillerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, *Gıda*, 44(3), 419-429.
- Kılıcı, A., Göçmen, D., 2014a, Changes in antioxidant activity and phenolic acid composition of tarhana with steel-cut oats, *Food Chemistry*, 145, 777-783.
- Kılıcı, A., Göçmen, D., 2014b, Phenolic acid composition, antioxidant activity and phenolic content of tarhana supplemented with oat flour, *Food Chemistry*, 151, 547-553.
- Kılıç Keskin, H., Bilgiçli, N., Yaver, E., 2022, Development of gluten-free tarhana formulations: Part I. effect of legume flour type and level on physical, chemical, and sensory properties, *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(3), e16415.
- Kıvanç, M., Funda, E.G., 2017, A functional food: A traditional Tarhana fermentation, *Food Science and Technology*, 37, 269-274.
- Kim, Y.A., In, S.J., Rho, J., 2017, Effect of germinated grain flours on physicochemical characteristics of rice cakes, Seolgitteok, *Food Science and Biotechnology*, 26, 21-28.

- Kowalski, S., Mikulec, A., Mickowska, B., Skotnicka, M., Mazurek, A., 2022, Wheat bread supplementation with various edible insect flours. Influence of chemical composition on nutritional and technological aspects, *LWT*, 159, 113220.
- Kömürcü, T.C., Bilgiçli, N., 2022, Effect of ancient wheat flours and fermentation types on tarhana properties, *Food Bioscience*, 50, 101982.
- Köten, M., 2021, Development of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] based gluten-free tarhana, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e15133.
- Krahl, M., Back, W., Zarnkow, M., Kreis, S., 2008, Determination of optimised malting conditions for the enrichment of rutin, vitexin and orientin in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), *Journal of the Institute of Brewing*, 114(4), 294-299.
- Kulathunga, J., Reuhs, B.L., Zwinger, S., Şimşek, S., 2021, Comparative study on kernel quality and chemical composition of ancient and modern wheat species: Einkorn, emmer, spelt and hard red spring wheat, *Foods*, 10(4), 761.
- Kulathunga, J., Whitney, K., Simsek, S., 2023, Impact of starter culture on biochemical properties of sourdough bread related to composition and macronutrient digestibility, *Food Bioscience*, 53, 102640.
- Kumari, S., Bhinder, S., Singh, B., Kaur, A., 2023, Physicochemical properties, non-nutrients and phenolic composition of germinated freeze-dried flours of foxtail millet, proso millet and common buckwheat, *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 105043.
- Kurek, M.A., Karp, S., Wyrwicz, J., Niu, Y., 2018, Physicochemical properties of dietary fibers extracted from gluten-free sources: quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*) and millet (*Panicum miliaceum*), *Food Hydrocolloids*, 85, 321-330.
- Kutlu, N., Pandiselvam, R., Kamiloglu, A., Saka, I., Sruthi, N.U., Kothakota, A., Maerescu, C.M., 2022, Impact of ultrasonication applications on color profile of foods, *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106109.
- Landete, M.J., Hernández, T., Robredo, S., Duenas, M., de Las Rivas, B., Estrella, I., Munoz, R., 2015, Effect of soaking and fermentation on content of phenolic compounds of soybean (*Glycine max* cv. Merit) and mung beans (*Vigna radiata* [L] Wilczek), *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(2), 203-209.
- Langyan, S., Khan, F.N., Kumar, A., 2023, Advancement in nutritional value, processing methods, and potential applications of pseudocereals in dietary food: A review, *Food and Bioprocess Technology*, 1-20.
- Lavoignat, M., Denis, S., Faye, A., Halupka, L., Perrochon, S., Rhazi, L., Ravel, C., 2022, Differences in bread protein digestibility traced to wheat cultivar traits, *Journal of Cereal Science*, 107, 103533.
- Layla, A., Syed, Q.A., Zahoor, T., Shahid, M., 2023, Investigating the role of *Lactiplantibacillus plantarum* vs. spontaneous fermentation in improving

- nutritional and consumer safety of the fermented white cabbage sprouts, *International Microbiology*, 1-12.
- Lee, M.H., Lee, J.S., Lee, T.H., 2004, Germination of buckwheat grain: Effects on minerals, rutin, tannins and colour, *Advances in Buckwheat Research*, 50-54.
- Lemmens, E., Moroni, A.V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Delcour, J.A., 2019, Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 305-328.
- Levent, H., 2019, Physical, chemical and sensory evaluation of gluten-free tarhana with legume hulls and flours, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11(4), 401-409.
- Li, L., Shewry, P.R., Ward, J.L., 2008, Phenolic acids in wheat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 9732-9739.
- Li, F., Zhang, X., Zheng, S., Lu, K., Zhao, G., Ming, J., 2016, The composition, antioxidant and antiproliferative capacities of phenolic compounds extracted from tartary buckwheat bran [*Fagopyrum tartaricum* (L.) Gaerth], *Journal of Functional Foods*, 22, 145-155.
- Li, Z., Teng, J., Lyu, Y., Hu, X., Zhao, Y., Wang, M., 2018, Enhanced antioxidant activity for apple juice fermented with *Lactobacillus plantarum* ATCC14917, *Molecules*, 24(1), 51.
- Li, R., Li, Z.J., Wu, N.N., Tan, B., 2022, Effect of pre-treatment on the functional properties of germinated whole grains: A review, *Cereal Chemistry*, 99(2), 253-269.
- Liang, Q., Chen, X., Ren, X., Yang, X., Raza, H., Ma, H., 2021, Effects of ultrasound-assisted enzymolysis on the physicochemical properties and structure of arrowhead-derived resistant starch, *LWT*, 147, 111616.
- Lin, L.Y., Liu, H.M., Yu, Y.W., Lin, S.D., Mau, J.L., 2009, Quality and antioxidant property of buckwheat enhanced wheat bread, *Food Chemistry*, 112(4), 987-991.
- Lin, S., Gao, J., Jin, X., Wang, Y., Dong, Z., Ying, J., Zhou, W., 2020, Whole-wheat flour particle size influences dough properties, bread structure and *in vitro* starch digestibility, *Food & Function*, 11(4), 3610-3620.
- Liu, H., Li, Z., Zhang, X., Liu, Y., Hu, J., Yang, C., Zhao, X., 2021, The effects of ultrasound on the growth, nutritional quality and microbiological quality of sprouts, *Trends in Food Science & Technology*, 111, 292-300.
- Liyana-Pathirana, C.M., Shahidi, F., 2006, Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(4), 1256-1264.

- Lopez, H.W., Ouvry, A., Bervas, E., Guy, C., Messenger, A., Demigne, C., Remesy, C., 2000, Strains of lactic acid bacteria isolated from sourdoughs degrade phytic acid and improve calcium and magnesium solubility from whole wheat flour, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2281-2285.
- Lopez, H.W., Duclos, V., Coudray, C., Krespine, V., Feillet-Coudray, C., Messenger, A., Rémésy, C., 2003, Making bread with sourdough improves mineral bioavailability from reconstituted whole wheat flour in rats, *Nutrition*, 19(6), 524-530.
- Lukaski, H.C., 2004, Vitamin and mineral status: Effects on physical performance, *Nutrition*, 20, 632e644.
- Luthar, Z., Zhou, M., Golob, A., Germ, M., 2020, Breeding buckwheat for increased levels and improved quality of protein, *Plants*, 10(1), 14.
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., Hernández-Ledesma, B., 2020, Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods, *Food and Chemical Toxicology*, 137, 111178.
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., 2023, Innovative processing technologies for developing functional ingredients and food products with health benefits from grains, *Foods*, 12(7), 1356.
- Martins, Z.E., Pinto, E., Almeida, A.A., Pinho, O., Ferreira, I.M., 2017, Fibre fortification of wheat bread: Impact on mineral composition and bioaccessibility, *Food & Function*, 8(5), 1979-1987.
- Mateo Anson, N., Aura, A.M., Selinheimo, E., Mattila, I., Poutanen, K., Van Den Berg, R., Haenen, G.R., 2011, Bioprocessing of wheat bran in whole wheat bread increases the bioavailability of phenolic acids in men and exerts antiinflammatory effects *ex vivo*, *The Journal of Nutrition*, 141(1), 137-143.
- Mauer, L., 2003, Protein| Heat treatment for food proteins, *Food Science and Technology*, 4868-4872.
- Mazza, G., Oomah, B.D., 2003, Buckwheat, In B. Caballero (Eds.), *Encyclopedia of food sciences and nutrition*, Oxford: Academic Press, 692e699,
- Meena, L., Gowda, N.N., Sunil, C.K., Rawson, A., Janghu, S., 2023, Effect of ultrasonication on food bioactive compounds and their bio-accessibility: A review, *Journal of Food Composition and Analysis*, 105899.
- Menteş Yılmaz, Ö., Bakkalbaşı, E., Ercan, R., 2018, Phenolic acid contents and antioxidant activities of wheat milling fractions and the effect of flour extraction rate on antioxidant activity of bread, *Journal of Food Biochemistry*, 42(6), e12637.
- Miao, M., Jiang, B., Cui, S.W., Zhang, T., Jin, Z., 2015, Slowly digestible starch—A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(12), 1642-1657.
- Mir, N.A., Riar, C.S., Singh, S., 2018, Nutritional constituents of pseudocereals and their potential use in food systems: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 75, 170-180.

- Miranda-Ramos, K.C., Sanz-Ponce, N., Haros, C.M., 2019, Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour, *LWT*, 114, 108418.
- Mita, T., Ishida, E., Matsumoto, H., 1978, Physicochemical studies on wheat protein foams. II. relationship between bubble size and stability of foams prepared with gluten and gluten components, *Journal of Colloid and Interface Science*, 64(1), 143-153.
- Mohammadi, F., Marti, A., Nayebzadeh, K., Hosseini, S.M., Tajdar-Oranj, B., Jazaeri, S., 2021, Effect of washing, soaking and pH in combination with ultrasound on enzymatic rancidity, phytic acid, heavy metals and coliforms of rice bran, *Food Chemistry*, 334, 127583.
- Moharram, H.A., Youssef, M.M., 2014, Methods for determining the antioxidant activity: A review, *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 11(1), 31-42.
- Molinari, R., Costantini, L., Timperio, A.M., Lelli, V., Bonafaccia, F., Bonafaccia, G., Merendino, N., 2018, Tartary buckwheat malt as ingredient of gluten-free cookies, *Journal of Cereal Science*, 80, 37-43.
- Molska, M., Reguła, J., Rudzińska, M., Świeca, M., 2020, Fatty acids profile, atherogenic and thrombogenic health lipid indices of lyophilized buckwheat sprouts modified with the addition of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 19(4), 483-490.
- Molska, M., Reguła, J., Zielińska-Dawidziak, M., Tomczak, A., Świeca, M., 2022, Starch and protein analysis in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) sprouts enriched with probiotic yeast, *LWT*, 168, 113903.
- Monteiro, A.B.P., Prados, C.R.M.G., Silva, M.D.L.R., Silva, E.P., Damiani, C., Vendruscolo, F., 2021a, Production of *Monascus* pigments by solid-state cultivation of wheat grains and application in bread formulations, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100313.
- Monteiro, J.S., Farage, P., Zandonadi, R.P., Botelho, R.B., de Oliveira, L.D.L., Raposo, A., Araújo, W.M., 2021b, A systematic review on gluten-free bread formulations using specific volume as a quality indicator, *Foods*, 10(3), 614.
- Montoya-Rodríguez, A., Gómez-Favela, M.A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., González de Mejía, E., 2015, Identification of bioactive peptide sequences from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed proteins and their potential role in the prevention of chronic diseases, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 139-158.
- Moon, J.K., Shibamoto, T., 2009, Antioxidant assays for plant and food components, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1655-1666.
- Moretton, M., Alongi, M., Melchior, S., Anese, M., 2023, Adult and elderly *in vitro* digestibility patterns of proteins and carbohydrates as affected by different commercial bread types, *Food Research International*, 167, 112732.

- Morita, N., Miyake, K., Maeda, T., Van Hung, P., 2013, Germinated buckwheat for functional foods, In *Advances in Cereal and Pseudocereal Research for Functional Foods*, 75-90.
- Mospah, W., Abd El-Sattar, A., El-Hadidy, G., 2023, Preparation of pan bread supplemented with amaranth cereal and soybean flour, *Egyptian Journal of Food Science*, 51(1), 139-150.
- Mota, C., Nascimento, A.C., Santos, M., Delgado, I., Coelho, I., Rego, A., Castanheira, I., 2016, The effect of cooking methods on the mineral content of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 57-64.
- Muhtadi, M., Wiyono, A.A.F., 2021, Testing antioxidant activity of *Plumeria alba* and *Plumeria rubra* ethanolic extracts using DPPH and FRAP methods and determining their total flavonoid and phenolic levels, *Journal of Nutraceuticals and Herbal Medicine*, 3(2), 38-50.
- Muñoz, R., de Las Rivas, B., de Felipe, F.L., Reverón, I., Santamaría, L., Esteban-Torres, M., Landete, J.M., 2017, Biotransformation of phenolics by *Lactobacillus plantarum* in fermented foods, In *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*, Academic Press, 63-83.
- Muyonga, J.H., Andabati, B., Ssepuuya, G., 2014, Effect of heat processing on selected grain amaranth physicochemical properties, *Food Science & Nutrition*, 2(1), 9-16.
- Müller, C.P., Hoffmann, J.F., Ferreira, C.D., Diehl, G.W., Rossi, R.C., Ziegler, V., 2021, Effect of germination on nutritional and bioactive properties of red rice grains and its application in cupcake production, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100379.
- Naczki, M., Shahidi, F., 2004, Extraction and analysis of phenolics in food, *Journal of Chromatography A*, 1054, 95-111.
- Najdi Hejazi, S., Orsat, V., 2017, Optimization of the malting process for nutritional improvement of finger millet and amaranth flours in the infant weaning food industry, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68(4), 429-441.
- Nasir, S., Allai, F.M., Gani, M., Ganaie, S., Gul, K., Jabeen, A., Majeed, D., 2020, Physical, textural, rheological, and sensory characteristics of amaranth-based wheat flour bread, *International Journal of Food Science*, 2020.
- Nasiri, F.D., Mohebbi, M., Yazdi, F.T., Khodaparast, M.H.H., 2011, Kinetic modeling of mass transfer during deep fat frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step, *Food and Bioproducts Processing*, 89(3), 241-247.
- Naumenko, N., Potoroko, I., Kalinina, I., 2022, Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product, *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 106000.

- Ndlovu, P.F., Magwaza, L.S., Tesfay, S.Z., Mphahlele, R.R., 2021, Vis-NIR spectroscopic and chemometric models for detecting contamination of premium green banana flour with wheat by quantifying resistant starch content, *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 104035.
- Ni, Q., Ranawana, V., Hayes, H.E., Hayward, N.J., Stead, D., Raikos, V., 2020, Addition of broad bean hull to wheat flour for the development of high-fiber bread: Effects on physical and nutritional properties, *Foods*, 9(9), 1192.
- Nimse, S.B., Pal, D., 2015, Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms, *RSC Advances*, 5(35), 27986-28006.
- Nkhata, S.G., Ayua, E., Kamau, E.H., Shingiro, J.B., 2018, Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes, *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2446-2458.
- Nnam, N.M., Obiakor, P.N., 2003, Effect of fermentation on the nutrient and antinutrient composition of baobab (*Adansonia digitata*) seeds and rice (*Oryza sativa*) grains, *Ecology of Food and Nutrition*, 42(4-5), 265-277.
- Nogueira, A., Puga, H., Gerós, H., Teixeira, A., 2024, Seed germination and seedling development assisted by ultrasound: Gaps and future research directions, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(2), 583-597.
- Nosworthy, M.G., Franczyk, A., Zimoch-Korzycka, A., Appah, P., Utioh, A., Neufeld, J., House, J.D., 2017, Impact of processing on the protein quality of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) flours and blends, as determined by *in vitro* and *in vivo* methodologies, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(19), 3919-3925.
- Obasi, B.C., Zakka, R., 2023, Evaluation of proximate composition, physical and sensory properties of soybean supplemented wheat bread, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 18(1), 907-914.
- Ogodo, A.C., Ugbogu, O.C., Onyeagba, R.A., Okereke, H.C., 2017, Effect of lactic acid bacteria consortium fermentation on the proximate composition and *in-vitro* starch/protein digestibility of maize (*Zea mays*) flour, *American Journal of Microbiology and Biotechnology*, 4(4), 35-43.
- Ogodo, A.C., Ugbogu, O.C., Onyeagba, R.A., Okereke, H.C., 2018, *In-vitro* starch and protein digestibility and proximate composition of soybean flour fermented with lactic acid bacteria (LAB) consortia, *Agriculture and Natural Resources*, 52(5), 503-509.
- Ojha, K.S., Mason, T.J., O'Donnell, C.P., Kerry, J.P., Tiwari, B.K., 2017, Ultrasound technology for food fermentation applications, *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410-417.
- Olawoye, B.T., Gbadamosi, S.O., 2017, Effect of different treatments on *in vitro* protein digestibility, antinutrients, antioxidant properties and mineral composition of *Amaranthus viridis* seed, *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1296402.

- Olawoye, B., Gbadamosi, S.O., 2020, Influence of processing on the physiochemical, functional and pasting properties of Nigerian *Amaranthus viridis* seed flour: A multivariate analysis approach, *SN Applied Sciences*, 2(4), 607.
- Olcay, N., Demir, M.K., 2021, Effect of kumquat (*Fortunella margarita*) powders dried by different methods on some physical and chemical properties of cake, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6), 5360-5368.
- Olubunmi, I.P., Babatunde, K.S., Bolanle, O.O., Seyioba, S.O., Taiwo, L.T., Olukayode, O.A., Nwankego, E.G., 2015, Quality evaluation of fibre-enriched bread, *International Journal of Nutrition and Food Science*, 4, 503.
- Omary, M.B., Fong, C., Rothschild, J., Finney, P., 2012, Effects of germination on the nutritional profile of gluten-free cereals and pseudocereals: A review, *Cereal Chemistry*, 89(1), 1-14.
- Onyango, C., Luvitaa, S.K., Lagat, K., Hüsken, A., Smit, I., Schmidt, M., 2022, Utilisation of amaranth and finger millet as ingredients in wheat dough and bread for increased agro-food biodiversity, *Foods*, 11(7), 911.
- Ovando-Martinez, M., Daglioglu, O., Gecgel, U., Simsek, S., 2014, Analysis of the fatty acids and phenolic compounds in a cereal-based fermented food (Tarhana), *Food and Nutrition Sciences*, 2014.
- Oyetayo, V., Oyedeji, R., 2017, Proximate and mineral composition of bread fortified with mushroom (*Plerotus ostreatus* and *Calocybe indica*), *Microbiology Research Journal International*, 19(4), 1-9.
- Öncel, E., Demir, M.K., 2019, Farklı oran ve kombinasyonlarda kullanılan yalancı tahıl unlarının erişte özelliklerine etkisi, *Akademik Gıda*, 17(4), 468-475.
- Örü, F., Ertop, M.H., 2021, Siyez ve ekmeklik buğday kepeğinin ekşi hamur üretiminde kullanım olanağının değerlendirilmesi, *Gıda*, 46(2), 396-407.
- Palmai, M., Buchanan, R.L., 2002, Growth of *Listeria monocytogenes* during germination of alfalfa sprouts, *Food Microbiology*, 19(2-3), 195-200.
- Paredes-Lopez, O., Mora-Escobedo, R., 1989, Germination of amaranth seeds: Effects on nutrient composition and color, *Journal of Food Science*, 54(3), 761-762.
- Parenti, O., Guerrini, L., Cavallini, B., Baldi, F., Zanoni, B., 2020, Breadmaking with an old wholewheat flour: Optimization of ingredients to improve bread quality, *LWT*, 121, 108980.
- Paucar-Menacho, L.M., Castillo-Martínez, W.E., Simpalo-Lopez, W.D., Verona-Ruiz, A., Lavado-Cruz, A., Martínez-Villaluenga, C., Schmiele, M., 2022, Performance of thermoplastic extrusion, germination, fermentation, and hydrolysis techniques on phenolic compounds in cereals and pseudocereals, *Foods*, 11(13), 1957.
- Peers, F.G., 1953, The phytase of wheat, *Biochemical Journal*, 53(1), 102.

- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M., Brighenti, F., 2003, Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different *in vitro* assays, *The Journal of Nutrition*, 133(9), 2812-2819.
- Perales-Sánchez, J.X., Reyes-Moreno, C., Gómez-Favela, M.A., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E.O., Valdez-Ortiz, A., Gutiérrez-Dorado, R., 2014, Increasing the antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds, *Plant Foods for Human Nutrition*, 69, 196-202.
- Pico, J., Bernal, J., Gómez, M., 2015, Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review, *Food Research International*, 75, 200-215.
- Piga, A., Conte, P., Fois, S., Catzeddu, P., Del Caro, A., Sanguinetti, A.M., Fadda, C., 2021, Technological, nutritional and sensory properties of an innovative gluten-free double-layered flat bread enriched with amaranth flour, *Foods*, 10(5), 920.
- Pongrac, P., Potisek, M., Fraš, A., Likar, M., Budič, B., Myszka, K., Kreft, I., 2016, Composition of mineral elements and bioactive compounds in tartary buckwheat and wheat sprouts as affected by natural mineral-rich water, *Journal of Cereal Science*, 69, 9-16.
- Popoola, O.O., 2022, Phenolic compounds composition and *in vitro* antioxidant activity of Nigerian *Amaranthus viridis* seed as affected by autoclaving and germination, *Measurement: Food*, 6, 100028.
- Pranoto, Y., Anggrahini, S., Efendi, Z., 2013, Effect of natural and *Lactobacillus plantarum* fermentation on *in-vitro* protein and starch digestibilities of sorghum flour, *Food Bioscience*, 2, 46-52.
- Punia, S., Sandhu, K.S., Siroha, A.K., 2019, Difference in protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.): Effect on functional, pasting, color and antioxidant properties, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 378-384.
- Qazi, W.M., Ballance, S., Kousoulaki, K., Uhlen, A.K., Kleinegris, D.M., Skjånes, K., Rieder, A., 2021, Protein enrichment of wheat bread with microalgae: *Microchloropsis gaditana*, *Tetraselmis chui* and *Chlorella vulgaris*, *Foods*, 10(12), 3078.
- Qi, K., Yi, X., Li, C., 2022, Effects of endogenous macronutrients and processing conditions on starch digestibility in wheat bread, *Carbohydrate Polymers*, 295, 119874.
- Qin, P., Wang, Q., Shan, F., Hou, Z., Ren, G., 2010, Nutritional composition and flavonoids content of flour from different buckwheat cultivars, *International Journal of Food Science & Technology*, 45(5), 951-958.
- Que, F., Mao, L., Pan, X., 2006, Antioxidant activities of five Chinese rice wines and the involvement of phenolic compounds, *Food Research International*, 39(5), 581-587.

- Raes, K., Knockaert, D., Struijs, K., Van Camp, J., 2014, Role of processing on bioaccessibility of minerals: Influence of localization of minerals and anti-nutritional factors in the plant, *Trends in Food Science & Technology*, 37(1), 32-41.
- Revanappa, S.B., Salimath, P.V., 2011, Phenolic acid profiles and antioxidant activities of different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties, *Journal of Food Biochemistry*, 35(3), 759-775.
- Rifna, E.J., Ramanan, K.R., Mahendran, R., 2019, Emerging technology applications for improving seed germination, *Trends in Food Science & Technology*, 86, 95-108.
- Rosa, C.S., Prestes, R.C., Tessele, K., Crauss, M., 2015, Influence of the different addition levels of amaranth flour and rice flour on pasta buckwheat flour, *International Food Research Journal*, 22(2), 691.
- Rózyło, R., Laskowski, J., 2011, Predicting bread quality (bread loaf volume and crumb texture), *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(1).
- Ruden, D.M., 1992, Activating regions of yeast transcription factors must have both acidic and hydrophobic amino acids, *Chromosoma*, 101(5-6), 342-348.
- Rui, X., Wen, D., Li, W., Chen, X., Jiang, M., Dong, M., 2015, Enrichment of ACE inhibitory peptides in navy bean (*Phaseolus vulgaris*) using lactic acid bacteria, *Food & Function*, 6(2), 622-629.
- Sadeghzadeh Benam, N., Goli, M., Seyedain Ardebili, S.M., Vaezshoushtari, N., 2021, The quality characteristics of dough and toast bread prepared with wheat flour containing different levels of *Portulaca oleracea* leaf powder, *Food Science and Technology*, 42, e60820.
- Sahagun, M., Benavent-Gil, Y., Rosell, C.M., Gomez, M., 2020, Modulation of *in vitro* digestibility and physical characteristics of protein enriched gluten free breads by defining hydration, *LWT*, 117, 108642.
- Saharan, K., Khetarpaul, N., Bishnoi, S., 2001, HCl-extractability of minerals from ricebean and fababean: Influence of domestic processing methods, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(4), 323-325.
- Saka, M., Özkaya, B., Saka, İ., 2021, The effect of bread-making methods on functional and quality characteristics of oat bran blended bread, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 100439.
- Salgado, V., Zago, L., Antunes, A.E.C., Miyahira, R.F., 2022, Chia (*Salvia hispanica* L.) seed germination: A brief review, *Plant Foods for Human Nutrition*, 77(4), 485-494.
- Salih, K.H.H., Rasheed, M.S., Mohammed, H.J., Saeed, A.A., 2021, The estimation of iron, zinc, phytic acid contents and their molar ratios in different types of bread and rice consumed in Halabja city, In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, November, 910(1), IOP Publishing, pp. 012131.

- Sandez Penidez, S.H., De Moreno De Le Blanc, A., Gerez, C.L., Rollán, G.C., 2024, Quinoa snack elaborated with *Lactiplantibacillus plantarum* CRL 1964 sourdough increases the mineral bioavailability in mice, *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Santetti, G.S., da Silva Lima, L.R., Biduski, B., Santos, M.C.B., dos Santos D'Almeida, C.T., Cameron, L.C., Amboni, R.D.D.M.C., 2022, Untargeted metabolomics analysis reveals improved phenolic profile in whole wheat bread with yerba mate and the effects of the bread-making process, *Food Research International*, 159, 111635.
- Sanz-Penella, J.M., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., Haros, M., 2013, Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value, *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 679-685.
- Sawettanun, S., Ogawa, M., 2022, Influences of rare sugar D-allulose on the fermentation ability of baker's yeast and the physical properties of bread, *International Journal of Food Science & Technology*, 57(9), 6004-6015.
- Schakel, S.F., Buzzard, I.M., Gebhardt, S.E., 1997, Procedures for estimating nutrient values for food composition databases, *Journal of Food Composition and Analysis*, 10(2), 102-114.
- Scherer, R., Godoy, H.T., 2014, Effects of extraction methods of phenolic compounds from *Xanthium strumarium* L. and their antioxidant activity, *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16, 41-46.
- Schmidt, D., Verruma-Bernardi, M.R., Forti, V.A., Borges, M.T.M.R., 2023, Quinoa and amaranth as functional foods: A review, *Food Reviews International*, 39(4), 2277-2296.
- Schopf, M., Scherf, K.A., 2021, Water absorption capacity determines the functionality of vital gluten related to specific bread volume, *Foods*, 10(2), 228.
- Sciarini, L.S., Bustos, M.C., Vignola, M.B., Paesani, C., Salinas, C.N., Perez, G.T., 2017, A study on fibre addition to gluten free bread: Its effects on bread quality and *in vitro* digestibility, *Journal of Food Science and Technology*, 54, 244-252.
- Selimović, A., Miličević, D., Jašić, M., Selimović, A., Ačkar, Đ., Pešić, T., 2014, The effect of baking temperature and buckwheat flour addition on the selected properties of wheat bread, *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 43-50.
- Sert, D., Aygün, A., Demir, M.K., 2011, Effects of ultrasonic treatment and storage temperature on egg quality, *Poultry Science*, 90(4), 869-875.
- Servi, S., Özkaya, H., Colakoglu, A.S., 2008, Dephytinization of wheat bran by fermentation with bakers' yeast, incubation with barley malt flour and autoclaving at different pH levels, *Journal of Cereal Science*, 48(2), 471-476.
- Setiarto, R.H.B., Jenie, B.S.L., Faridah, D.N., Saskiawan, I., 2018, Effect of lactic acid bacteria fermentation and autoclaving-cooling for resistant starch and prebiotic

- properties of modified taro flour, *International Food Research Journal*, 25(4), 1691-1697.
- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S.K., Kulshrestha, S., 2020, Microbial fermentation and its role in quality improvement of fermented foods, *Fermentation*, 6(4), 106.
- Shebis, Y., Iluz, D., Kinel-Tahan, Y., Dubinsky, Z., Yehoshua, Y., 2013, Natural antioxidants: Function and sources, *Food and Nutrition Sciences*, 4(6), 7.
- Shen, Y., Tebben, L., Chen, G., Li, Y., 2019, Effect of amino acids on Maillard reaction product formation and total antioxidant capacity in white pan bread, *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 1372-1380.
- Shobha, D., Kumar, H.D., Sreeramasetty, T.A., Puttaramanaik, Gowda, K.P., Shivakumar, G.B., 2014, Storage influence on the functional, sensory and keeping quality of quality protein maize flour, *Journal of Food Science and Technology*, 51, 3154-3162.
- Shreeja, K., Devi, S.S., Suneetha, W.J., Prabhakar, B.N., 2021, Effect of germination on nutritional composition of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 22(1), 1-7.
- Shumoy, H., Gabaza, M., Vandavelde, J., Raes, K., 2017, Soluble and bound phenolic contents and antioxidant capacity of tef injera as affected by traditional fermentation, *Journal of Food Composition and Analysis*, 58, 52-59.
- Singh, J., Dartois, A., Kaur, L., 2010, Starch digestibility in food matrix: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 21(4), 168-180.
- Singh, A.K., Rehal, J., Kaur, A., Jyot, G., 2015, Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11), 1575-1589.
- Sivam, A.S., Sun-Waterhouse, D., Perera, C.O., Waterhouse, G.I.N., 2012, Exploring the interactions between blackcurrant polyphenols, pectin and wheat biopolymers in model breads; a FTIR and HPLC investigation, *Food Chemistry*, 131(3), 802-810.
- Siwath, M., Yadav, R.B., Yadav, B.S., 2019, Chemical, physicochemical, pasting and microstructural properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) flour as affected by different processing treatments, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11(1), 3-13.
- Skrabanja, V., Liljeberg Elmståhl, H.G., Kreft, I., Björck, I.M., 2001, Nutritional properties of starch in buckwheat products: Studies *in vitro* and *in vivo*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(1), 490-496.
- Skrajda-Brdak, M., Konopka, I., Tańska, M., Czaplicki, S., 2019, Changes in the content of free phenolic acids and antioxidative capacity of wholemeal bread in relation to cereal species and fermentation type, *European Food Research and Technology*, 245, 2247-2256.

- Skujins, S., 1998, Handbook for ICP-AES (Vartian-Vista), A Short Guide to Vista Series ICP-AES Operation, Variant Int. AG, Zug, Switzerland.
- Sosulski, F., McCurdy, A., 1987, Functionality of flours and protein fractions isolated from field peas and faba bean, *Journal of Food Science*, 52, 1010-1014.
- Srivastava, U., Saini, P., Singh, A., Singh, Z., Ahmed, M., Iqbal, U., 2021, Enhancement in iron and folate by optimizing fermentation of barnyard millet by *Lactobacillus plantarum* using response surface methodology (RSM), *Plant Archives*, 21(1), 09725210.
- Štěrbová, L., Bradová, J., Sedláček, T., Holasová, M., Fiedlerová, V., Dvořáček, V., Smrčková, P., 2016, Influence of technological processing of wheat grain on starch digestibility and resistant starch content, *Starch-Stärke*, 68(7-8), 593-602.
- Stevenson, L.E.O., Phillips, F., O'Sullivan, K., Walton, J., 2012, Wheat bran: Its composition and benefits to health, a European perspective, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8), 1001-1013.
- Sturza, A., Păucean, A., Chiș, M.S., Mureșan, V., Vodnar, D.C., Man, S.M., Muste, S., 2020, Influence of buckwheat and buckwheat sprouts flours on the nutritional and textural parameters of wheat buns, *Applied Sciences*, 10(22), 7969.
- Subaşı, A.S., Ercan, R., 2023, The effects of wheat variety, sourdough treatment and sourdough level on nutritional characteristics of whole wheat bread, *Journal of Cereal Science*, 110, 103637.
- Sujka, M., Jamroz, J., 2013, Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour, *Food Hydrocolloids*, 31(2), 413-419.
- Sujka, K., Cacak-Pietrzak, G., Sułek, A., Murgrabia, K., Dziki, D., 2022, Buckwheat hull-enriched pasta: Physicochemical and sensory properties, *Molecules*, 27(13), 4065.
- Suliburska, J., Krejpcio, Z., Reguła, J., Grochowicz, A., 2013, Evaluation of the content and the potential bioavailability of minerals from gluten-free products, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 12(1), 75-80.
- Sun, L., Sun, X., Du, Y., Fang, Y., Yang, W., Hu, Q., Pei, F., 2022, Effect of the starch structure fermented by *Lactobacillus plantarum* LB-1 and yeast on rheological and thermomechanical characteristics of dough, *Food Chemistry*, 369, 130877.
- Suresh, S., Sivaramakrishnan, R., Radha, K.V., Incharoensakdi, A., Pugazhendhi, A., 2021, Ultrasound pretreated rice bran for *Rhizopus* sp. phytase production as a feed, *Food Bioscience*, 43, 101281.
- Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Baraniak, B., Czyż, J., 2013, The influence of protein-flavonoid interactions on protein digestibility in vitro and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin, *Food Chemistry*, 141(1), 451-458.
- Świeca, M., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., 2017, Starch and protein analysis of wheat bread enriched with phenolics-rich sprouted wheat flour, *Food Chemistry*, 228, 643-648.

- Świeca, M., Kordowska-Wiater, M., Pytka, M., Gawlik-Dziki, U., Bochnak, J., Złotek, U., Baraniak, B., 2018, *Lactobacillus plantarum* 299V improves the microbiological quality of legume sprouts and effectively survives in these carriers during cold storage and *in vitro* digestion, *PLoS One*, 13(11), e0207793.
- Swieca, M., Kordowska-Wiater, M., Pytka, M., Gawlik-Dziki, U., Seczyk, L., Złotek, U., Kapusta, I., 2019a, Nutritional and pro-health quality of lentil and adzuki bean sprouts enriched with probiotic yeast *Saccharomyces cerevisiae* var. bouldardii, *LWT*, 100, 220-226.
- Swieca, M., Gawlik-Dziki, U., Jakubczyk, A., Bochnak, J., Sikora, M., Suliburska, J., 2019b, Nutritional quality of fresh and stored legumes sprouts—Effect of *Lactobacillus plantarum* 299V enrichment, *Food Chemistry*, 288, 325-332.
- Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Złotek, U., Kapusta, I., Kordowska-Wiater, M., Baraniak, B., 2020a, Effect of cold storage on the potentially bioaccessible isoflavones and antioxidant activities of soybean sprouts enriched with *Lactobacillus plantarum* 299V, *LWT*, 118, 108820.
- Świeca, M., Herok, A., Piwowarczyk, K., Sikora, M., Ostanek, P., Gawlik-Dziki, U., Czyż, J., 2020b, Potentially bioaccessible phenolics from mung bean and adzuki bean sprouts enriched with probiotic—antioxidant properties and effect on the motility and survival of AGS human gastric carcinoma cells, *Molecules*, 25(13), 2963.
- Szydłowska-Czerniak, A., Łaszewska, A., 2015, Effect of refining process on antioxidant capacity, total phenolics and prooxidants contents in rapeseed oils, *LWT-Food Science and Technology*, 64(2), 853-859.
- Şahin, B., Ertop, M.H., 2023, Siyez (*Triticum monococcum*) ve buğday (*Triticum aestivum*) unu içerikli yaş tarhana ile üretilen çöreklerin biyoaktif, fizikokimyasal, duyuşsal ve raf ömrü kalite parametrelerinin incelenmesi, *Gıda*, 48(4), 698-714.
- Şimşek, S., Martinez, M. O., Daglioglu, O., Guner, K. G., Gecgel, U., 2014, Physicochemical properties of starch from a cereal-based fermented food (tarhana), *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 4(2), 1.
- Tang, Y., Chen, W., Zhu, H., Yi, C., Yuan, J., Liu, Y., Cheng, H., 2023, Digestibility of indica rice and structural changes of rice starch during fermentation by *Lactobacillus plantarum*, *LWT*, 187, 115392.
- Tangüler, H., Tatlısoy, A., 2022, Evaluation of shalgam residuals as a partial wheat flour substitution in tarhana production as a green food product, *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17267.
- Tanwar, B., Lamsal, N., Goyal, A., Kumar, V., 2019, Functional and physicochemical characteristics of raw, roasted and germinated buckwheat flour, *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 38(2).
- Tarakçı, Z., Dogan, I.S., Faik Koca, A., 2004, A traditional fermented Turkish soup, tarhana, formulated with corn flour and whey, *International Journal of Food Science & Technology*, 39(4), 455-458.

- Tarakçı, Z., Anil, M., Koca, I., Islam, A., 2013, Effects of adding cherry laurel (*Laurocerasus officinalis*) on some physicochemical and functional properties and sensorial quality of tarhana, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 5(4), 347-355.
- Taylor, J.R.N., Parker, M.L., 2002, Quinoa, in P.S. Belton & J.R.N. Taylor (Eds.), *Pseudocereals and Less Common Cereals: Grain Properties and Utilization*, Berlin: Springer Verlag, pp. 93-122.
- Tebben, L., Chen, G., Tilley, M., Li, Y., 2020, Individual effects of enzymes and vital wheat gluten on whole wheat dough and bread properties, *Journal of Food Science*, 85(12), 4201-4208.
- Tekgöl, Y., Çalışkan Koç, G., Erten, E.S., Akdoğan, A., 2021, Determination of the effect of wheat germ on the mineral and fatty acid composition and aroma compounds of tarhana: A traditional fermented cereal food, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15144.
- Temiz, H., Tarakçı, Z., 2017, Composition of volatile aromatic compounds and minerals of tarhana enriched with cherry laurel (*Laurocerasus officinalis*), *Journal of Food Science and Technology*, 54, 735-742.
- Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Rizvi, Q. U. E. H., Jan, S., Dhaliwal, H.S., 2021, Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.), *Current Research in Food Science*, 4, 917-925.
- Tharifikhan, S.A., Perumal, A.B., Elumalai, A., Moses, J.A., Anandharamakrishnan, C., 2021, Improvement of nutrient bioavailability in millets: Emphasis on the application of enzymes, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 4869-4878.
- Tian, W., Chen, G., Tilley, M., Li, Y., 2021, Changes in phenolic profiles and antioxidant activities during the whole wheat bread-making process, *Food Chemistry*, 345, 128851.
- Tiwari, B.K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C.P., Cullen, P.J., 2008, Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology, *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1876-1883.
- Tok, H., Ertaş, N., 2021, The effects of germinated seeds on nutritional and technological properties of bread, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1183-1193.
- Tomar, O., Çağlar, A., Akarca, G., 2020, Quality characteristics of tarhana produced with different ratios of whole wheat and buckwheat flour, *Gıda*, 45(3), 421-432.
- Tuluk, K., Ertaş, N., 2019, The effects of different gluten-free flours on the physical, chemical, functional and sensorial properties of tarhana, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(3), 301-312.

- Turkut, G.M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., Tavman, S., 2016, Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality, *Journal of Cereal Science*, 69, 174-181.
- Türk, M., Carlsson, N.G., Sandberg, A.S., 1996, Reduction in the levels of phytate during wholemeal bread making; effect of yeast and wheat phytases, *Journal of Cereal Science*, 23(3), 257-264.
- Türk Aslan, S., Işık, F., 2022, Effects of pseudocereal flours addition on chemical and physical properties of gluten-free crackers, *Food Science and Technology*, 42, e52521.
- Türksoy, S., Özkaya, B., Akbas, S., 2010, The effect of wheat variety and flour extraction rate on phytic acid content of bread, *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 178-181.
- Uluko, H., Li, H., Cui, W., Zhang, S., Liu, L., Chen, J., Lv, J., 2013, Response surface optimization of angiotensin converting enzyme inhibition of milk protein concentrate hydrolysates *in vitro* after ultrasound pretreatment, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 133-139.
- Ulyarti, U., Yulia, A., Nazarudin, N., Armando, Y. G., Erawaty, L., 2021, Functional properties of purple water yam flour modified by *Lactobacillus plantarum*, *Makara Journal of Science*, 25(1), 1.
- Vaibhav, D., Arunkumar, W., Abhijit, M.P., Arvind, S., 2011, Antioxidants as immunomodulator: An expanding research, *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 3, 8-10.
- Valadez-Vega, C., Lugo-Magaña, O., Figueroa-Hernández, C., Bautista, M., Betanzos-Cabrera, G., Bernardino-Nicanor, A., González-Cruz, L., 2022, Effects of germination and popping on the anti-nutritional compounds and the digestibility of *Amaranthus hypochondriacus* seeds, *Foods*, 11(14), 2075.
- Vamadevan, V., Bertoft, E., 2018, Impact of different structural types of amylopectin on retrogradation, *Food Hydrocolloids*, 80, 88-96.
- Van Hung, P., Yamamori, M., Morita, N., 2005, Formation of enzyme-resistant starch in bread as affected by high-amylose wheat flour substitutions, *Cereal Chemistry*, 82(6), 690-694.
- Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P.A., Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Ronda, F., 2024, Flours from microwave-treated buckwheat grains improve the physical properties and nutritional quality of gluten-free bread, *Food Hydrocolloids*, 149, 109644.
- Vinco Pimenta, A., Agrizzi Verediano, T., Souza Carneiro, J.C., Brunoro Costa, N.M., Vasconcelos Costa, A.G., 2021, Bioaccessibility and bioavailability of calcium in sprouted brown and golden flaxseed, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2788-2798.

- Vitali, D., Vedrına Dragojević, I., Šebečić, B., 2009, Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits, *Food Chemistry*, 114, 1462–1469.
- Vogrincic, M., Timoracka, M., Melichacova, S., Vollmannova, A., Kreft, I., 2010, Degradation of rutin and polyphenols during the preparation of tartary buckwheat bread, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8), 4883-4887.
- Vora, J.D., Rane, A.G., Jadhav, P., 2014, Biochemical, antimicrobial and organoleptic studies on the germination profile of finger millet (*Eleusine coracana*), *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research*, 3(4), 123.
- Wang, J., Ma, H., Wang, S., 2019, Application of ultrasound, microwaves, and magnetic fields techniques in the germination of cereals, *Food Science and Technology Research*, 25(4), 489-497.
- Wang, J., Bian, Z., Wang, S., Zhang, L., 2020, Effects of ultrasonic waves, microwaves, and thermal stress treatment on the germination of Tartary buckwheat seeds, *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13494.
- Wang, N., Maximiuk, L., Fenn, D., Nickerson, M.T., Hou, A., 2020, Development of a method for determining oil absorption capacity in pulse flours and protein materials, *Cereal Chemistry*, 97(6), 1111-1117.
- Wang, M., Zhang, F., Wang, D., Zhao, M., Cui, N., Gao, G., Zhang, Q., 2021, Optimization of the process parameters of ultrasound on inhibition of polyphenol oxidase activity in whole potato tuber by response surface methodology, *LWT*, 144, 111232.
- Wang, S., Xu, X., Wang, S., Wang, J., Peng, W., 2022, Effects of microwave treatment on structure, functional properties and antioxidant activities of germinated tartary buckwheat protein, *Foods*, 11(10), 1373.
- Wang, L., Li, X., Gao, F., Liu, Y., Lang, S., Wang, C., Zhang, D., 2023, Effect of ultrasound combined with exogenous GABA treatment on polyphenolic metabolites and antioxidant activity of mung bean during germination, *Ultrasonics Sonochemistry*, 94, 106311.
- Woo, S.H., Shin, Y.J., Jeong, H.M., Kim, J.S., Ko, D.S., Hong, J.S., Shim, J.H., 2020, Effects of maltogenic amylase from *Lactobacillus plantarum* on retrogradation of bread, *Journal of Cereal Science*, 93, 102976.
- Wronkowska, M., Troszynska, A., Soral-Śmietana, M., Wolejszo, A., 2008, Effects of buckwheat flour (*Fagopyrum esculentum* Moench) on the quality of gluten-free bread, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 58(2).
- Wronkowska, M., Haros, M., Soral-Śmietana, M., 2013, Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality, *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1820-1827.

- Xia, Q., Tao, H., Li, Y., Pan, D., Cao, J., Liu, L., Barba, F.J., 2020, Characterizing physicochemical, nutritional and quality attributes of wholegrain *Oryza sativa* L. subjected to high intensity ultrasound-stimulated pre-germination, *Food Control*, 108, 106827.
- Xu, F.Y., Gao, Q.H., Ma, Y.J., Guo, X.D., Wang, M., 2014, Comparison of tartary buckwheat flour and sprouts steamed bread in quality and antioxidant property, *Journal of Food Quality*, 37(5), 318-328.
- Yadav, B.S., Sharma, A., Yadav, R.B., 2007, Study of effect of natural fermentation on the resistant starch content of legume-based fermented foods, *Journal of Agricultural Technology*, 3(1), 21-27.
- Yagoub, A.E.G.A., Mohamed, B.E., Ahmed, A.H.R., El Tinay, A.H., 2004, Study on Furundu, a traditional Sudanese fermented Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed: Effect on *in vitro* protein digestibility, chemical composition, and functional properties of the total proteins, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20), 6143-6150.
- Yaldagard, M., Mortazavi, S.A., Tabatabaie, F., 2007, The effectiveness of ultrasound treatment on the germination stimulation of barley seed and its alpha-amylase activity, *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 23, 489-492.
- Yamsaengsung, R., Berghofer, E., Schoenlechner, R., 2012, Physical properties and sensory acceptability of cookies made from chickpea addition to white wheat or whole wheat flour compared to gluten-free amaranth or buckwheat flour, *International Journal of Food Science & Technology*, 47(10), 2221-2227.
- Yang, H., Gao, J., Yang, A., Chen, H., 2015, The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts, *Food Research International*, 77, 704-710.
- Yang, Q., Luo, Y., Wang, H., Li, J., Gao, X., Gao, J., Feng, B., 2021, Effects of germination on the physicochemical, nutritional and *in vitro* digestion characteristics of flours from waxy and nonwaxy proso millet, common buckwheat and pea, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 67, 102586.
- Yaver, E., Bilgiçli, N., 2018, Utilisation of cereal-legume flour blends in commercial and traditional bread, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(3), 297-306.
- Yaver, E., Bilgiçli, N., 2019, Effects of different dephytinisation methods on chemical properties of commercial and traditional breads prepared from composite flour, *Food Chemistry*, 276, 77-83.
- Yaver, E., Bilgiçli, N., 2020, Effect of transglutaminase on quality attributes of noodle enriched with germinated mung bean flour, *Gıda*, 45(6), 1097-1108.
- Yaver, E., Bilgiçli, N., 2021a, Farklı yöntemlerle acılığI giderilmiş lüpen unu ve dirençli nişasta içeren ekmeklerin kalite özellikleri üzerine vital gluten ve emülgatörün etkisi, *Gıda*, 46(2), 243-255.

- Yaver, E., Bilgiçli, N., 2021b, Ultrasound-treated lupin (*Lupinus albus* L.) flour: Protein- and fiber-rich ingredient to improve physical and textural quality of bread with a reduced glycemic index, *LWT*, 148, 111767.
- Yaver, E., 2022, Nutritional and textural properties and antioxidant activity of breads prepared from immature, mature, germinated, fermented and black chickpea flours, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(15), 7164-7171.
- Yaver, E., 2023, Dephytinized flaxseed flours by phytase enzyme and fermentation: Functional ingredients to enhance the nutritional quality of noodles, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(4), 1946-1953.
- Yeşil, S., Levent, H., 2022, The influence of fermented buckwheat, quinoa and amaranth flour on gluten-free bread quality, *LWT*, 160, 113301.
- Yetim, H., Öztürk, İ., Törnük, F., Sağdıç, O., Hayta, M., 2010, Yenilebilir bitki ve tohum filizlerinin fonksiyonel özellikleri, *Gıda*, 35(3), 205-210.
- Yıldız, G., Bilgiçli, N., 2012, Effects of whole buckwheat flour on physical, chemical, and sensory properties of flat bread, lavaş, *Czech Journal of Food Sciences*, 30(6), 534-540.
- Yılmaz, H., Erden, G., 2017, Renklerin çorbaların tat algısı üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik bir araştırma, *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 5(Special Issue 2), 265-275.
- Ying, R., Zhou, T., Xie, H., Huang, M., 2023, Synergistic effect of arabinoxylan and (1, 3)(1, 4)- β -glucan reduces the starch hydrolysis rate in wheat flour, *Food Hydrocolloids*, 141, 108668.
- Yörükoğlu, T., Dayısoylu, K.S., 2016, Yöresel Maraş tarhanasının fonksiyonel ve kimyasal bazı özellikleri, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47(1), 53-63.
- Yu, L., Haley, S., Perret, J., Harris, M., Wilson, J., Qian, M., 2002, Free radical scavenging properties of wheat extracts, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(6), 1619-1624.
- Yu, L., Nanguet, A. L., Beta, T., 2013, Comparison of antioxidant properties of refined and whole wheat flour and bread, *Antioxidants*, 2(4), 370-383.
- Yu, L., Beta, T., 2015, Identification and antioxidant properties of phenolic compounds during production of bread from purple wheat grains, *Molecules*, 20(9), 15525-15549.
- Zehiroğlu, C., Öztürk Sarıkaya, S.B., 2019, The importance of antioxidants and place in today's scientific and technological studies, *Journal of Food Science and Technology*, 56, 4757-4774.
- Zhang, G., Hamaker, B.R., 2009, Slowly digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(10), 852-867.

- Zhang, G., Xu, Z., Gao, Y., Huang, X., Zou, Y., Yang, T., 2015, Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat, *Journal of Food Science*, 80(5), 1111-1119.
- Zhang, Z., Zhu, M., Xing, B., Liang, Y., Zou, L., Li, M., Qin, P., 2023a, Effects of extrusion on structural properties, physicochemical properties and *in vitro* starch digestibility of Tartary buckwheat flour, *Food Hydrocolloids*, 135, 108197.
- Zhang, J., Guo, J., Dang, B., Zhang, W., Zheng, W., Yang, X., 2023b, Enhancement of polyphenols and antioxidant activity in germinated black highland barley by ultrasonication, *Molecules*, 28(9), 3679.
- Zhao, Q., She, Z., Hou, D., Wang, J., Lan, T., Lv, X., Ma, T., 2024, Effect of partial substitution of wheat flour with kiwi starch on dough rheology, microstructure, the quality attributes and shelf life of Chinese steamed bread, *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 128920.
- Zhao, Y., Zhang, J., Wei, Y., Ai, L., Ying, D., Xiao, X., 2020, Improvement of bread quality by adding wheat germ fermented with *Lactobacillus plantarum* dy-1, *Journal of Food Quality*, 2020, 1-8.
- Zhu, H., Liu, S., Yao, L., Wang, L., Li, C., 2019, Free and bound phenolics of buckwheat varieties: HPLC characterization, antioxidant activity, and inhibitory potency towards α -glucosidase with molecular docking analysis, *Antioxidants*, 8(12), 606.
- Živković, A., Polak, T., Cigić, B., Požrl, T., 2021, Germinated buckwheat: Effects of dehulling on phenolics profile and antioxidant activity of buckwheat seeds, *Foods*, 10(4), 740.
- Zlateva, D., Stefanova, D., Chochkov, R.M., Ivanova, P., 2022, Study on the impact of pumpkin seed flour on mineral content of wheat bread, *Food Science and Applied Biotechnology*, 5(2), 131-139.
- Złotek, U., Świeca, M., Reguła, J., Jakubczyk, A., Sikora, M., Gawlik-Dziki, U., Kapusta, I., 2019, Effects of probiotic *L. plantarum* 299v on consumer quality, accumulation of phenolics, antioxidant capacity and biochemical changes in legume sprouts, *International Journal of Food Science & Technology*, 54(7), 2437-2446.
- Zou, L., Wu, D., Ren, G., Hu, Y., Peng, L., Zhao, J., Xiao, J., 2023, Bioactive compounds, health benefits, and industrial applications of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*), *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(5), 657-673.
- Zula, A.T., Ayele, D.A., Egigayhu, W.A., 2020, Proximate, antinutritional, microbial, and sensory acceptability of bread formulated from wheat (*Triticum aestivum*) and amaranth (*Amaranthus caudatus*), *International Journal of Food Science*, 2020(1), 9429584.

EKLER**EK-1** Farklı ön işlemler uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unları**Buğday unu****DKB****USKB****LpKB**

DKB: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday unu

USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu

LpKB: *Lactobacillus plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş karabuğday unu



Buğday unu



DA



USA



LpA

DA: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant unu

USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday unu

LpA: *Lactobacillus plantarum* inokülasyonu ile çimlendirilmiş amarant unu

EK-2 Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli tarhana örnekleri**Kontrol****%10 DKB****%20 DKB****%30 DKB**

Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen tarhana örneği

%10 DKB: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %10 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%20 DKB: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %20 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%30 DKB: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneği

**Kontrol****%10 USKB****%20 USKB****%30 USKB**

Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen tarhana örneği

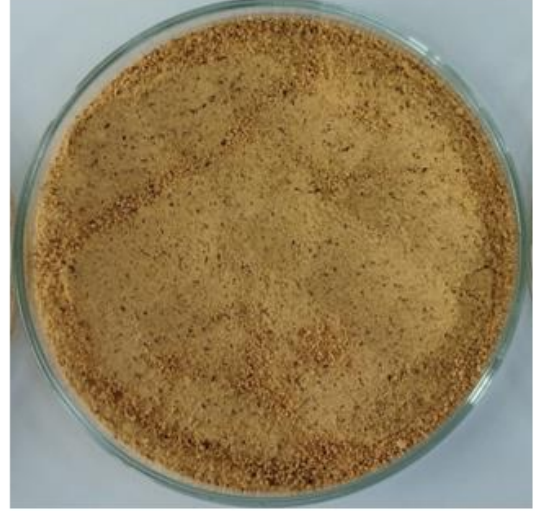
%10 USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %10 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%20 USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %20 oranında ikame edildiği tarhana örneği

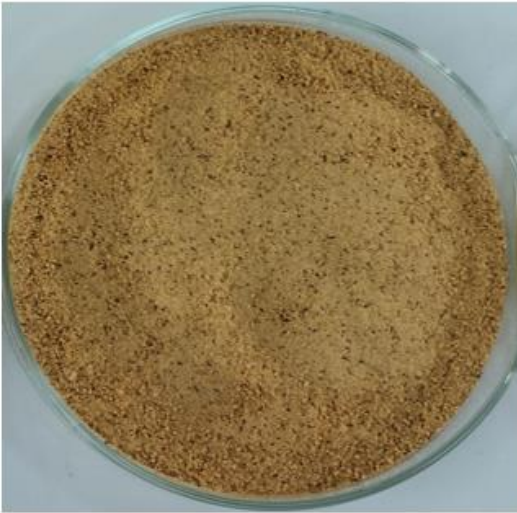
%30 USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneği



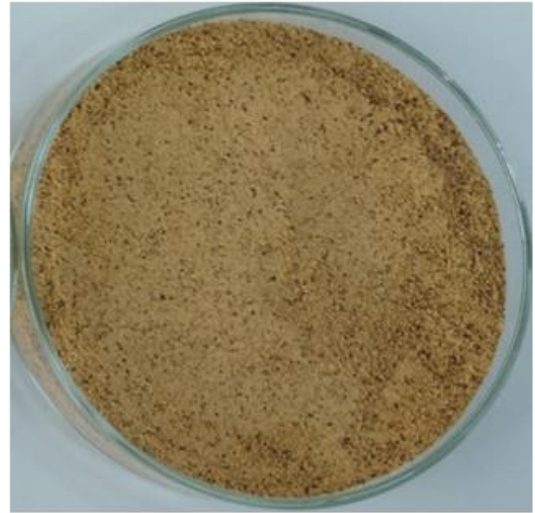
Kontrol



%10 LpKB



%20 LpKB



%30 LpKB

Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen tarhana örneği

%10 LpKB: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %10 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%20 LpKB: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %20 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%30 LpKB: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneği



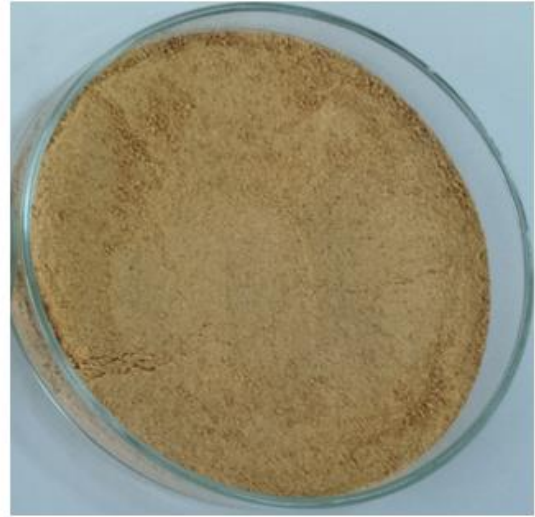
Kontrol



%10 DA



%20 DA



%30 DA

Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen tarhana örneği

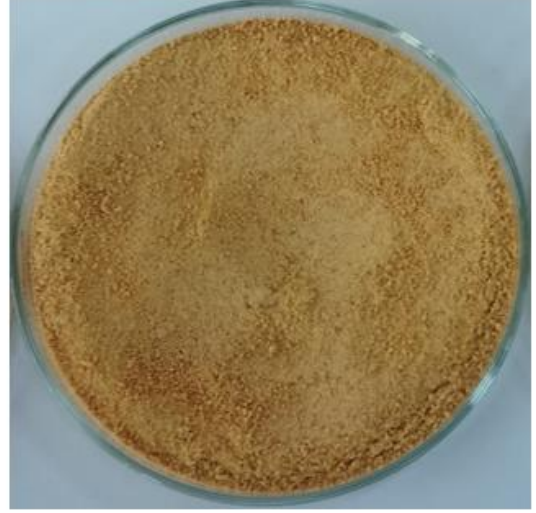
%10 DA: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%20 DA: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %20 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%30 DA: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneği



Kontrol



%10 USA



%20 USA



%30 USA

Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen tarhana örneği

%10 USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%20 USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant ununun %20 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%30 USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneği



Kontrol



%10 LpA



%20 LpA



%30 LpA

Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen tarhana örneği

%10 LpA: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%20 LpA: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant ununun %20 oranında ikame edildiği tarhana örneği

%30 LpA: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği tarhana örneği

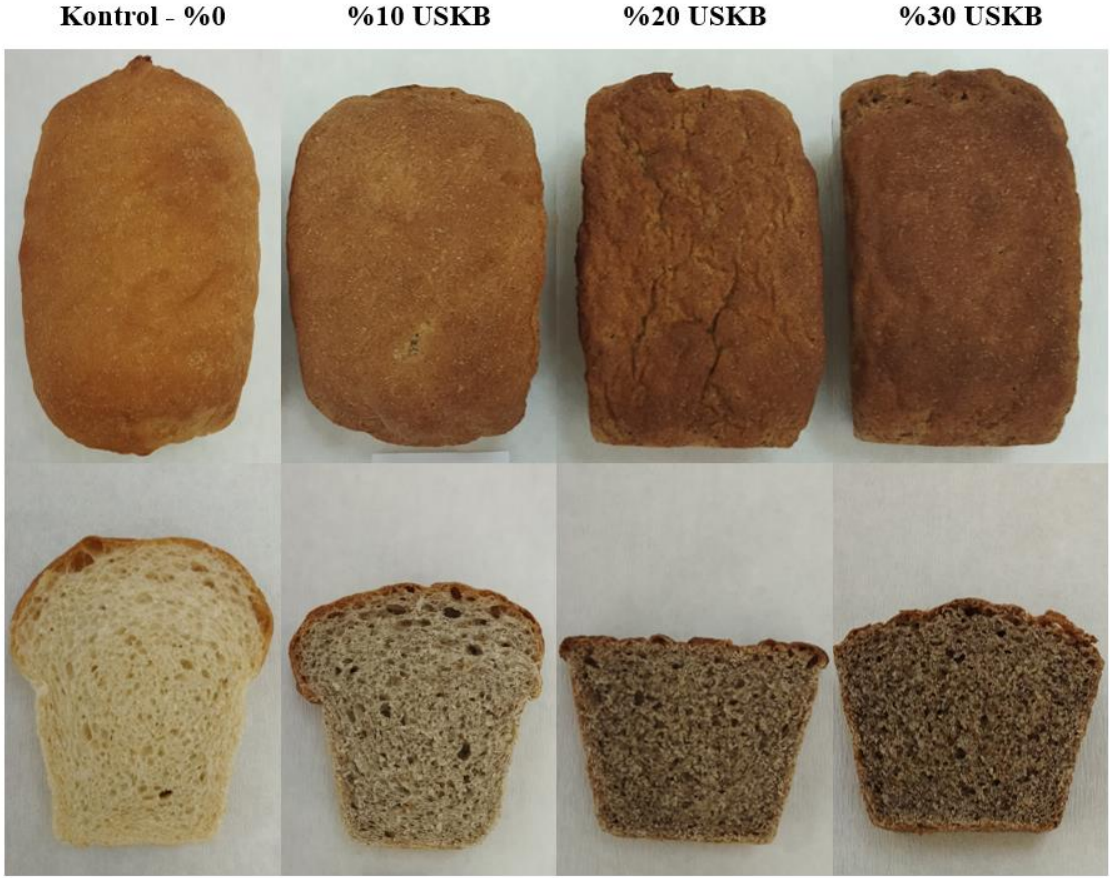
EK-3 Çimlendirilmiş karabuğday ve amarant unu ikameli ekmek örnekleri

Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen ekmek örneği

%10 DKB: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %10 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%20 DKB: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %20 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%30 DKB: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği ekmek örneği



Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen ekmek örneği

%10 USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %10 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%20 USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %20 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%30 USKB: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği ekmek örneği

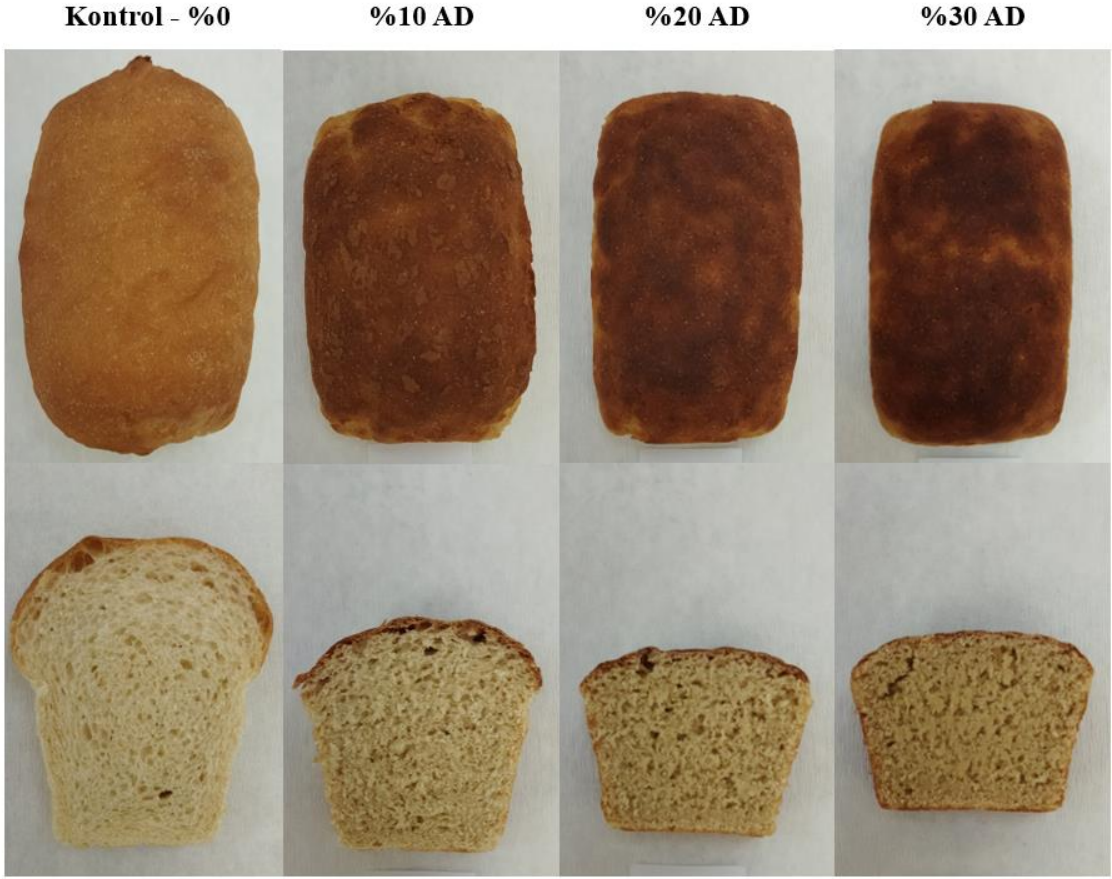


Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen ekmek örneği

%10 LpKB: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %10 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%20 LpKB: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %20 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%30 LpKB: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş karabuğday ununun %30 oranında ikame edildiği ekmek örneği

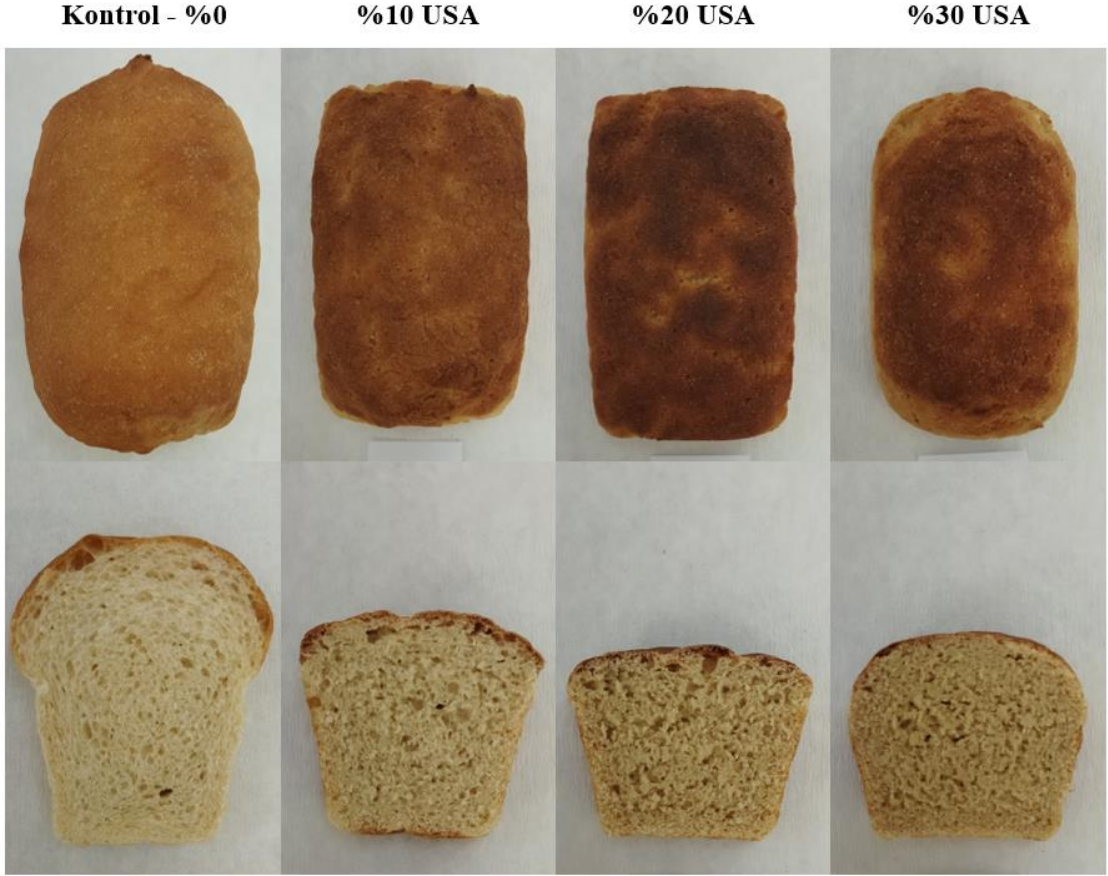


Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen ekmek örneği

%10 DA: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%20 DA: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %20 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%30 DA: Kimyasal dezenfektan kullanılarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği ekmek örneği

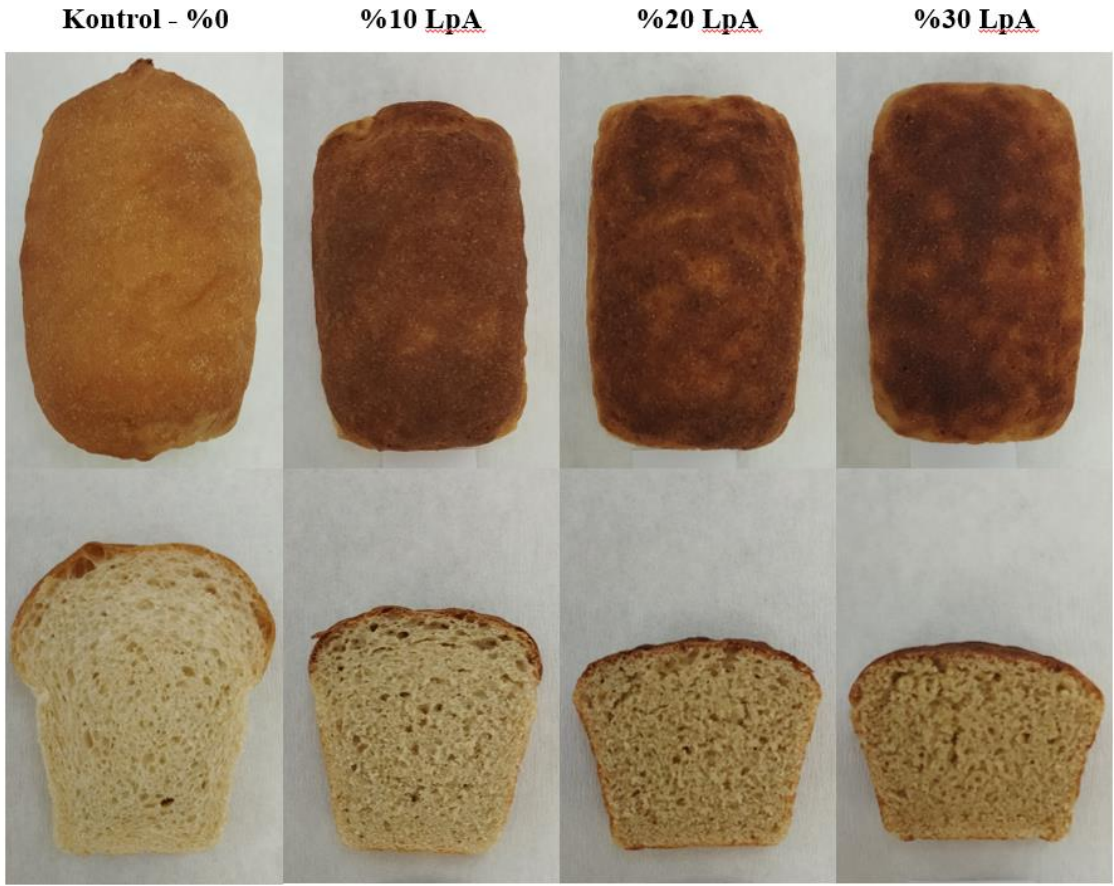


Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen ekmeğ örneği

%10 USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği ekmeğ örneği

%20 USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant ununun %20 oranında ikame edildiği ekmeğ örneği

%30 USA: Ultrason uygulanarak çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği ekmeğ örneği



Kontrol: %100 buğday unu ile üretilen ekmek örneği

%10 LpA: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant ununun %10 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%20 LpA: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant ununun %20 oranında ikame edildiği ekmek örneği

%30 LpA: *L.platarum* inoküle edilerek çimlendirilmiş amarant ununun %30 oranında ikame edildiği ekmek örneği