



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**MODERN TEKNOLOJİLERİN KULLANILMASI İLE BİTKİSEL SÜT ELDESİ
VE FARKLI TEKNİKLERLE KURUTULARAK ELDE EDİLEN BİTKİSEL
SÜT TOZLARININ KEK ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

Sara Ibrahim Hussein ABDALLAH

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

**Mayıs- 2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Sara Ibrahim Hussein Abdallah tarafından hazırlanan “Modern Teknolojilerin Kullanılması İle Bitkisel Süt Eldesi ve Farklı Tekniklerle Kurutularak Elde Edilen Bitkisel Süt Tozlarının Kek Üretiminde Kullanımı” adlı tez çalışması 09.05.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmza****Başkan**

Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ

.....

Danışman

Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

.....

Üye

Prof. Dr. M. Kürşat DEMİR

.....

Üye

Doç. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLAN BAYRAKÇI

.....

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

Prof. Dr.Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 23DR19006 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

Sara Ibrahim Hussein ABDALLAH

Tarih: 28/05/2025

ÖZET**DOKTORA TEZİ****MODERN TEKNOLOJİLERİN KULLANILMASI İLE BİTKİSEL SÜT ELDESİ
VE FARKLI TEKNİKLERLE KURUTULARAK ELDE EDİLEN BİTKİSEL
SÜT TOZLARININ KEK ÜRETİMİNDE KULLANIMI****Sara Ibrahim Hussein ABDALLAH****Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ****2025, 294 Sayfa****Jüri****Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ****Prof. Dr. Nermin BİLGİÇLİ****Prof. Dr. M. Kürşat DEMİR****Doç. Dr. Sultan ARSLAN TONTUL****Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLAN BAYRAKÇI**

Son yıllarda tüketicilerin sağlıklı ve sürdürülebilir beslenme eğilimlerinin artmasıyla, bitkisel bazlı süt alternatiflerine olan ilgi büyümüştür. Bu çalışmada, yulaf, nohut ve bademden elde edilen bitkisel sütlerin enzim ilavesi ve süte uygulanan farklı yöntemler (geleneksel, ultrason, mikrodalga) ile fizikokimyasal stabilite ve duyu özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen bitkisel sütler, farklı kurutma teknolojileri (dondurarak kurutma ve kırınım pencere kurutma gibi) ile kurutulmuş bitkisel süt tozu elde edilmiş ve kek üretiminde kullanılarak duyu ve fonksiyonel özellikler açısından inek sütü tozu ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, uygun şekilde işlenen bitkisel süt tozlarının fırıncılık ürünlerinde başarılı bir süt ikamesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Çalışma 3 aşamadan oluşmuş olup, ilk aşamasında yulaf, badem ve nohut gibi 3 farklı bitkisel kaynaktan elde edilen süte; 4 farklı yönteminin uygulanması (kontrol, ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntem) ve enzim ilavesi (enzimli ve enzimsiz) ile bitkisel sütler elde edilmiştir. Amilaz enzimi ilavesi yulaf sütü; proteaz enzimi badem sütü pHsını düşürmüş, fitaz enzimi ise nohut sütünde pH_y artırmıştır. Süte uygulanan tüm yöntemler pH_y düşürmüştür. Enzim ilavesi yulaf ve nohut sütlerinde suda çözünür madde miktarını ve stabiliteyi artırırken badem sütünde düşüşe sebep olmuştur. Nohut sütünde uygulanan tüm yöntemler kontrole kıyasla stabiliteyi artırmıştır. Enzim ilavesi tüm bitkisel sütlerde katı parçacık sedimentasyonunun artmasına neden olmuştur. Uygulanan tüm yöntemler yulaf ve badem sütlerinde

kontrole oranla sedimantasyonun düşmesini sağlamıştır. Enzim uygulaması ve ultrason uygulaması, partikül boyutunu azaltarak homojen yapılar elde edilmesini sağlamış, protein ve polisakkarit yapılarını modifiye ederek mikro yapıda değişikliklere sebep olmuştur. Enzim ilavesi tüm bitkisel sütlerde ekstraksiyon verimini artırmıştır. Duyusal açıdan en beğenilen süt örnekleri ultrason uygulaması ile elde edilen yulaf, nohut ve badem sütleri olmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise; yulaf, nohut ve bademden üstün özellikler gösteren 3 farklı yöntem ve 2 farklı kurutma yöntemi (kırınım pencereleli kurutma ve dondurarak kurutma) ile kurutularak toz haline getirilmiş, bitkisel süt tozları elde edilmiştir. Bitkisel süt tozu örneklerinin yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri dondurarak kurutma yöntemi (DK) ile düşüş, kırınım pencereleli kurutma yöntemi (KPK) ile artış göstermiştir. Geleneksel yöntem; ultrason ve mikrodalga uygulamasına göre daha yüksek Hausner oranı değerleri vermiştir. DK yöntemi; Hausner oranı, Carr indeks, porozite, su absorpsiyonu, yağ absorpsiyonu, köpük kapasitesi ve emülsiyon kapasitesi değerlerini KPK yöntemine göre daha fazla artırmıştır. Geleneksel uygulama köpük ve emülsiyon kapasitesinin düşmesine, ultrason uygulaması ise artışına neden olmuştur. Ultrason genellikle daha yüksek zeta potansiyeli değerleri ile daha stabil ürünler elde edilmesini sağlamıştır. FTIR analizleri sonucunda 3300 cm^{-1} bölgesinde O-H (hidroksil) gruplarına ait geniş bantlar, 2900 cm^{-1} 'de C-H gerilme titreşimleri, 1700 cm^{-1} 'de karbonil (C=O) gerilme titreşimleri ve $1600\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ arasında amid grupları belirlenmiştir. Ultrason işlemi, partikül boyutunun küçülmesine ve protein ile karbonhidrat çözünürlüğünün artmasına neden olmuştur. Geleneksel yöntemle üretilen yulaf, nohut ve badem sütü tozlarında partiküller büyük, düzensiz ve kümelenmiş yapıda gözlenmiştir. Mikrodalga, partikül boyutunda küçülmeye neden olmuş ve yüzey morfolojisinde daha düzenli yapılar ortaya çıkarmıştır. Ultrason uygulaması ile elde edilen örneklerde partiküller en küçük boyutlara ulaşmış, yüzey pürüzsüzleşmiş ve homojen bir dağılım sağlanmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise üstün özellikler gösteren yulaf, nohut ve badem sütlerinin ultrason ve mikrodalga yöntemi ile edilen 6 farklı bitkisel süt tozu ve inek sütü tozu (kontrol) ile karşılaştırılmak üzere kek formülasyonuna eklenmiş ve kek örneklerinde fiziksel, tekstürel ve besinsel özellikleri incelenmiştir. Bitkisel süt tozu ikamesiyle kek hamurunda pH genel olarak düşerken, özgül ağırlıkta hafif bir artış gözlenmiştir. Bitkisel süt tozu ikamesi, keklerin sertlik ve elastikiyet değerlerini anlamlı düzeyde etkilememiştir. Hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunmazken, simetri indeksi yulaf sütü tozu içeren keklerde daha düşük ölçülmüştür. Kek örnekleri kimyasal bileşim açısından incelendiğinde; yulaf sütü tozu eklenen keklerde yağ içeriğinin düştüğü, badem ve nohut sütü tozu ilavesiyle yağ içeriğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Badem sütü tozu eklenen keklerde protein içeriği daha yüksek, yulaf sütü tozu eklenenlerde daha düşük bulunmuştur. Badem ve nohut sütü tozu ilavesi fenolik madde miktarında artışa neden olmuştur. Antioksidan aktivite değerlerinde yulaf, badem ve nohut sütü tozu ilavesiyle artış gözlenmiştir. Yulaf sütü ikameli keklerde fitik asit en yüksek, kontrol grubunda en düşük seviyede tespit edilmiştir. En yüksek magnezyum, potasyum, demir ve çinko değerleri N-US içeren keklerde, En yüksek kalsiyum içeriği N-MW örneğinde tespit edilmiştir. Kek örnekleri duyusal açıdan değerlendirildiğinde; N-MW, B-MW ve N-US örnekleri en çok beğenilmiştir. Bitkisel süt tozu ilavesiyle kekler, duyusal açıdan kontrol grubuna göre daha çok tercih edilmiştir.

Sonuç olarak ultrason yöntemiyle üretilip dondurarak kurutulan bitkisel süt tozları, daha küçük partikül boyutu ve daha stabil yapı sayesinde kek kalitesi üzerinde olumlu etkiler sağlamıştır. Bu çalışma, bitkisel bazlı sütlerin geleneksel süt tozuna sağlıklı ve fonksiyonel bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitkisel süt, Ultrason, Mikrodalga, Kırınım Pencere Kurutma, Dondurarak Kurutma, Bitkisel süt tozu, Kek



ABSTRACT**Ph.D THESIS****PLANT BASED MILK PRODUCTION USING MODERN TECHNOLOGIES
AND THE USE OF PLANT BASED MILK POWDERS OBTAINED BY
DRYING WITH DIFFERENT TECHNIQUES IN CAKE PRODUCTION****Sara Ibrahim Hussein ABDALLAH****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF DOCTOR OF
PHILOSOPHY IN FOOD ENGINEERING****Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ
2025, 294 Pages****Jury****Advisor Prof. Nilgün ERTAŞ
Prof. Nermin BİLGİÇLİ
Prof. M. Kürşat DEMİR
Assoc. Prof. Sultan ARSLAN TONTUL
Assist. Prof. Hilal ARSLAN BAYRAKÇI**

In recent years, with the growing consumer trends toward healthy and sustainable nutrition, interest in plant-based milk alternatives has significantly increased. In this study, the effects of enzyme addition and different processing methods (conventional, ultrasound, and microwave) on the physicochemical stability and sensory properties of plant-based milks obtained from oat, chickpea, and almond were evaluated. The resulting plant-based milks were then dried using different drying technologies (such as freeze-drying and refractance window drying) to produce plant-based milk powders. These powders were used in cake production and compared with cow milk powder in terms of sensory and functional properties. The results demonstrated that properly processed plant-based milk powders can serve as successful milk substitutes in bakery products.

The study was consisted of three stages. In the first stage, plant-based milks were produced from three different sources—oat, almond, and chickpea—by applying four different processing methods (control, ultrasound, microwave, and conventional) and with or without enzyme addition. The addition of amylase enzyme decreased the pH of oat milk, while protease reduced the pH of almond milk. In contrast, the addition of phytase increased the pH of chickpea milk. All processing methods applied to the plant-based milks resulted in a decrease in pH.

Enzyme addition increased the soluble solid content and stability in oat and chickpea milks, whereas it caused a decrease in almond milk. All methods applied to chickpea milk improved its stability compared to the control. Enzyme addition led to an increase in solid particle sedimentation in all plant-based milks. All applied methods reduced sedimentation in oat and almond milks compared to the control. Enzyme addition and ultrasound application decreased particle size, resulting in more homogeneous structures and modifying protein and polysaccharide structures, which caused changes in the microstructure. Enzyme addition enhanced the extraction yield in all plant-based milks. Sensory evaluation revealed that the most preferred milk samples were those obtained by ultrasound treatment for oat, chickpea, and almond milks. In the second stage of the study, plant-based milk powders were produced by selecting the three most promising extraction methods for oat, chickpea, and almond milks, followed by two different drying techniques: refractance window drying (RWD) and freeze-drying (FD). The bulk and tapped density values of the plant-based milk powder samples decreased with freeze-drying, whereas they increased with refractance window drying. The conventional extraction method resulted in higher Hausner ratio values compared to ultrasound and microwave treatments. Freeze-drying led to greater increases in Hausner ratio, Carr index, porosity, water absorption capacity, oil absorption capacity, foaming capacity, and emulsion capacity compared to refractance window drying. The conventional extraction method caused a decrease in foaming and emulsion capacities, while ultrasound treatment resulted in an enhancement of these functional properties. Ultrasound-assisted extraction generally yielded products with higher zeta potential values, indicating improved stability. FTIR analysis revealed broad bands around 3300 cm^{-1} corresponding to O–H (hydroxyl) groups, C–H stretching vibrations at approximately 2900 cm^{-1} , C=O stretching vibrations near 1700 cm^{-1} , and amide group absorptions between 1600 and 1500 cm^{-1} . Ultrasound treatment contributed to a reduction in particle size and an increase in the solubility of proteins and carbohydrates. In powders produced via the conventional method, particles were observed to be large, irregularly shaped, and prone to agglomeration. Microwave treatment led to a decrease in particle size and generated more uniform surface morphologies. In samples obtained through ultrasound treatment, the particles exhibited the smallest sizes, smoother surfaces, and more homogeneous distributions.

In the third stage of the study, six different plant-based milk powders obtained from oat, chickpea, and almond milk processed by ultrasound and microwave methods were incorporated into cake formulations and compared to a control sample prepared with cow's milk powder. The physical, textural, and nutritional properties of the resulting cake samples were evaluated. The substitution of plant-based milk powders generally led to a decrease in the pH of the cake batters, while a slight increase in specific gravity was observed. The replacement of cow's milk powder with plant-based alternatives did not significantly affect the hardness or elasticity values of the cakes. No significant differences were found among the groups regarding volume, symmetry, and uniformity indices, although the symmetry index was measured to be lower in cakes containing oat milk powder. In terms of chemical composition, cakes supplemented with oat milk powder showed a reduction in fat content, whereas those containing almond and chickpea milk powders had higher fat levels. Protein content was highest in cakes with almond milk powder addition and lowest in those containing oat milk powder. The incorporation of almond and chickpea milk powders led to an increase in total phenolic content. An enhancement in antioxidant

activity was also observed with the addition of oat, almond, and chickpea milk powders. Phytic acid content was found to be highest in cakes formulated with oat milk powder and lowest in the control group. Cakes containing chickpea milk powder produced via ultrasound (N-US) exhibited the highest magnesium, potassium, iron, and zinc levels, while the highest calcium content was detected in cakes formulated with chickpea milk powder produced by microwave treatment (N-MW). Sensory evaluation indicated that cakes containing N-MW (chickpea milk powder via microwave), B-MW (almond milk powder via microwave), and N-US (chickpea milk powder via ultrasound) were the most preferred by panelists. Overall, cakes prepared with plant-based milk powders were preferred over the control sample in sensory assessments.

In conclusion, plant-based milk powders produced using ultrasound-assisted extraction followed by freeze-drying exhibited smaller particle sizes and more stable structures, resulting in improved cake quality. This study demonstrates that plant-based milks can serve as healthy and functional alternatives to conventional milk powders in bakery products.

Keywords: Plant milk, Ultrasound, Microwave, Microwave, Refractance window drying, Freeze Drying, Plant milk powder, Cake

ÖNSÖZ

Bu araştırmanın her aşamasında kıymetli bilgi, deneyim ve rehberliğiyle bana yol gösteren; çalışmamın planlanmasından yürütülmesine, değerlendirilmesinden yazım sürecine kadar her adımda desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu işi başarabilmem için bana sağlık ve sabır veren Allah'a hamd olsun.

Laboratuvar çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen, ihtiyacım olduğunda yardımına kıymetli arkadaşlarıma Dr.Merve AYDIN, Dr.Öğr.Üyesi Nezahat OLCAY, Dr.Öğr.Üyesi Mine ASLAN, Doç. Dr.Tekmile CANKURTARAN KÖMÜRCÜ, Dr. Asma AHMED ve Emine ESEN'e

Hayatım boyunca maddi ve manevi büyük fedakârlıklarda bulunarak bu noktaya gelmemi sağlayan aileme,

Bana bu fırsatı veren Necmettin Erbakan Üniversitesi'ne, başta Gıda Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ediyorum.

Sara Ibrahim Hussein ABDALLAH

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ	x
İÇİNDEKİLER	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1 Bitkisel Bazlı Sütler	3
2.1.1 Bitkisel süt eldesinde kullanılan kaynaklar	3
2.1.1.1 Badem sütü	3
2.1.1.2 Nohut sütü.....	5
2.1.1.3 Yulaf sütü.....	6
2.1.2 Bitkisel süt üretim yöntemleri.....	7
2.1.3 Bitkisel bazlı sülerin üretiminde uygulanan yeni teknolojiler:	12
2.1.3.1 Ultrason (Ultrasen, Sonikasyon)	13
2.1.3.2 Mikrodalga uygulaması	18
2.1.4 Bitkisel sütlerin kurutulmasında kullanılan yöntemler	20
2.1.4.1 Kırınım pencereleli kurutma (KPK)	21
2.1.4.2 Dondurarak kurutma	24
2.1.5 Bitkisel bazlı sütlerin (BBS) faydaları ve besinsel yönleri.....	26
2.2 Kek.....	28

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1 Materyal.....	32
3.2. Yöntem.....	32
3.2.1 Deneme deseni	32
3.2.2. Bitkisel süt üretimi.....	33
3.2.2.1. Yulaf sütü üretimi	33
3.2.2.2 Nohut sütü üretimi	34
3.2.2.3 Badem sütü üretimi.....	35
3.2.3 Süte uygulanan işlemler.....	36
3.2.3.1 Geleneksel yöntem.....	36
3.2.3.2 Mikrodalga yöntemi.....	37
3.2.3.3. Ultrason yöntemi.....	37
3.2.4 Bitkisel sütlerden süt tozu eldesinde kullanılan kurutma yöntemleri	38
3.2.4.1. Dondurarak kurutma yöntemi	38
3.2.4.2. Kırınım pencereleli kurutma yöntemi.....	38
3.2.5. Bitkisel süt analizleri	39
3.2.5.1 pH tayini	39
3.2.5.2 Suda çözünür kuru madde (Briks)	39
3.2.5.3 Stabilite (Kararlılık).....	39
3.2.5.4 Katı parçacık sedimentasyonu	39
3.2.5.5. Protein çözünürlüğü.....	40
3.2.5.6. Renk.....	40
3.2.5.7. Mikro yapı.....	41

3.2.5.8. Ekstraksiyon verimi	41
3.2.5.9. Duyusal değerlendirme	41
3.2.6. Süt tozu analizleri	41
3.2.6.1. Yığın yoğunluğu, parçacık yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk.....	41
3.2.6.2 Hausner oranı ve Carr indeksi	42
3.2.6.3. Porozite	42
3.2.6.4 Higroskopisite	43
3.2.6.5. Fonksiyonel özellikler.....	43
3.2.6.6 Renk tayini	44
3.2.6.7 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FTIR)	44
3.2.6.8 Zeta (ζ) potansiyel.....	44
3.2.6.9 Partikül boyutu analizi	45
3.2.6.10 Mikroskopik morfoloji.....	45
3.2.7 Kek.....	45
3.2.7.1. Kek örneklerinde gerçekleştirilen fiziksel analizler	46
3.2.7.2. Kek örneklerinde gerçekleştirilen kimyasal analizler.....	49
3.2.7.3. Kek örneklerinde gerçekleştirilen besinsel analizler	50
3.2.7.4. Duyusal değerlendirme	51
3.2.7.5. İstatistikî analizler.....	51
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	52
4.1 Bitkisel Süt Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları.....	52
4.1.1 pH.....	52
4.1.2 Suda çözünür kuru madde miktarı (Briks).....	60

4.1.3. Stabilite	64
4.1.4 Katı parçacık sedimantasyonu	68
4.1.5. Protein çözünürlüğü	74
4.1.6 Renk	78
4.1.6.1 L* (parlaklık) değeri	78
4.1.6.2. a*(Kırmızılık) değeri	85
4.1.6.4. SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değeri	93
4.1.7 Mikro yapı.....	97
4.1.8. Duyusal değerlendirme	99
4.1.9. Ekstraksiyon verimi	103
4.2. Bitkisel Süt Tozu Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	105
4.2.1. Yığın yoğunluğu, parçacık yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk.....	105
4.2.2 Hausner oranı (HR) ve Carr indeksi (CI).....	117
4.2.3 Porozite (Gözeneklilik).....	129
4.2.4. Higroskopisite	133
4.2.5 Fonksiyonel özellikler.....	135
4.2.5.1. Su absorpsiyonu	135
4.2.5.2. Yağ absorpsiyonu	135
4.2.5.3. Köpük kapasitesi.....	139
4.2.5.4.Emülsiyon kapasitesi	143
4.2.6. Renk	145
4.2.6.1 L* (parlaklık) değeri	145
4.2.6.2 a*(Kırmızılık) değeri	153

4.2.6.3 b* (Sarılık) değeri	156
4.2.6.4 SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değeri	159
4.2.7. Mikroskopik morfoloji (FE-SEM).....	162
4.2.8. Partikül boyutu.....	166
4.2.9. Zeta potansiyeli (Partikül yükü ζ).....	171
4.2.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) Spektroskopi.....	176
4.3. Kek Analiz Sonuçları.....	180
4.3.1. Fiziksel analizler	180
4.3.1.1. Özgül ağırlık	181
4.3.1.2. pH.....	183
4.3.1.3 Keklerde kabuk renkleri.....	185
4.3.1.4 Keklerde iç renk.....	189
4.3.1.5 Tekstürel özellikleri	195
4.3.1.6 Hacim indeksi, simetri indeksi ve tekdüzelik indeksi.....	198
4.3.1.7 Kek ağırlıkları	200
4.3.2 Kek örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları	202
4.3.2.1. Nem.....	202
4.3.2.2. Ham yağ.....	205
4.3.2.3. Protein.....	206
4.3.2.4. Kül	207
4.3.2.5. Karbonhidrat	208
4.3.2.6. Enerji.....	209
4.3.3. Fonksiyonel özellikler.....	210

4.3.3.1. Toplam fenolik madde miktarı	210
4.3.3.2. Antioksidan aktivite	212
4.3.3.3 Fitik asit	214
4.3.3.4 Mineral madde	215
4.3.4 Duyusal değerlendirme	218
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	224
5.1 Sonuçlar	224
5.2 Öneriler	230
6. KAYNAKLAR	231

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μL	: Mikrolitre
μm	: Mikrometre
a^*	: (a+) kırmızı ve (a-) yeşil renk değeri
α	: Alfa
b^*	: (b+) sarı ve (b-) mavi renk değeri
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
g	: Gram
kg	: Kilogram
L	: Litre
L^*	: (0-100) Parlaklık renk değeri
m	: Metre
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
nm	: Nanometre
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
s	: Saniye
%	: Yüzde

Kısaltmalar

AACC	: Amerikan Klinik Kimya Derneği
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
EM	: Elektromanyetik
KPK	: Kırınım Pencereli Kurutma
MD	: Mikrodalga
MFPU	: Multi-Frekanslı Güç Ultrasonu
TFM	: Toplam fenolik madde

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Bitkisel bazlı süt üretiminde kullanılan bitkisel hammaddeler	2
Şekil 2. 1. Bitkisel bazlı süt alternatiflerinin üretim sürecinin genel taslağı	8
Şekil 2. 2. Ultrason uygulama yöntemi.....	14
Şekil 2. 3. Elektromanyetik dalga spektrumu.....	19
Şekil 2. 4. KPK Sisteminin Şematik Diyagramı.....	22
Şekil 2. 5. Denge faz diyagramı (üçlü nokta)	26
Şekil 2. 6. Dondurarak kurutma sistemi şeması.....	26
Şekil 3. 1. Yulaf sütü tozu elde etme aşamaları.....	33
Şekil 3. 2. Nohut sütü tozu elde etme aşamaları.....	35
Şekil 3. 3. Badem sütü tozu elde etme aşamaları.....	36
Şekil 3. 4. Ultrason işlemi.....	37
Şekil 3. 5. Bitkisel süte uygulanan yöntemler	38
Şekil 3. 6. (A) kaplama aşaması (B) Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu	45
Şekil 3. 7. Farklı bitkisel süt tozları ikame edilen kek örnekleri	47
Şekil 3. 8. Hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri formülü kullanılarak hesaplanması	48
Şekil 4. 1. Nohut sütü örneklerinin pH değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu	58
Şekil 4. 2. Badem sütü örneklerinin pH değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu	60
Şekil 4. 3. Yulaf sütü örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarı üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu	62
Şekil 4. 4. Nohut sütü örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarı üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu	63
Şekil 4. 5. Yulaf sütü örneklerinin stabilite değerleri üzerinde etkili ‘Enzim İlavesi x Yöntemleri interaksiyonu.	66
Şekil 4. 6. Nohut sütü örneklerinin stabilite değerleri üzerinde etkili ‘Enzim İlavesi x Yöntemleri interaksiyonu	67

Şekil 4. 7. Yulaf sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri üzerinde etkili ‘Enzim İlavesi x Yöntemleri’ interaksiyonu	71
Şekil 4. 8. Nohut sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel.....	72
Şekil 4. 9. Badem sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu	73
Şekil 4. 10. Yulaf sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	75
Şekil 4. 11. Badem sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	77
Şekil 4. 12. Yulaf sütü örneklerinin L* (parlaklık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.....	79
Şekil 4. 13. Badem sütü örneklerinin L* (parlaklık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.....	85
Şekil 4. 14. Yulaf sütü örneklerinin a* (Kırmızılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	87
Şekil 4. 15. Nohut sütü örneklerinin a*(Kırmızılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.....	88
Şekil 4. 16. Yulaf sütü örneklerinin b* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	90
Şekil 4. 17. Nohut sütü örneklerinin b* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	91
Şekil 4. 18. Badem sütü örneklerinin b* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.....	92
Şekil 4. 19. Yulaf sütü örneklerinin SI (doygunluk indeksi) ve hue angle (ton açısı) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	95
Şekil 4. 20. Nohut sütü örneklerinin SI (doygunluk indeksi) ve hue angle (ton açısı) değeri değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	96
Şekil 4. 21. Badem sütü örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değeri değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu.	97

Şekil 4. 22. Bitkisel süt numunelerinin mikro yapısı.....	99
Şekil 4. 23. Yulaf sütü örneklerine ait duyuşal analiz sonuçları.....	101
Şekil 4. 24. Nohut sütü örneklerine ait duyuşal analiz sonuçları.....	101
Şekil 4. 25. Badem sütü örneklerine ait duyuşal analiz sonuçları	102
Şekil 4. 26. Bitkisel süt numunelerinin enzim ilavesine göre ekstraksiyon verimleri..	104
Şekil 4. 27. Yulaf sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	112
Şekil 4. 28. Yulaf sütü tozu örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	112
Şekil 4. 29. Nohut sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	114
Şekil 4. 30. Nohut sütü tozu örneklerinin parçacık yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	115
Şekil 4. 31. Badem sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	116
Şekil 4. 32. Badem sütü tozu örneklerinin parçacık yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	117
Şekil 4. 33. Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	125
Şekil 4. 34. Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	127
Şekil 4. 35. Nohut sütü tozu örneklerinin Carr indeks değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	127
Şekil 4. 36. Badem sütü tozu örneklerinin Hausner değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	129
Şekil 4. 37. Bademsütü tozu örneklerinin Carr indeks değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	129
Şekil 4. 38. Nohut sütü tozu örneklerinin porozite değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	131
Şekil 4. 39. Badem sütü tozu örneklerinin porozite değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu.	132

Şekil 4. 40. Badem sütü tozu örneklerinin higroskopisite değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	135
Şekil 4. 41. Badem sütü tozu örneklerinin su absorpsiyonu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	135
Şekil 4. 42. Nohut sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonunu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	137
Şekil 4. 43. Badem sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonunu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	139
Şekil 4. 44. Nohut sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	141
Şekil 4. 45. Badem sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	142
Şekil 4. 46. Nohut sütü tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	145
Şekil 4. 47. Yulaf sütü tozu örneklerinin L* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	150
Şekil 4. 48 Nohut sütü tozu örneklerinin L* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	151
Şekil 4. 49. Badem sütü tozu örneklerinin L* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	152
Şekil 4. 50. Nohut sütü tozu örneklerinin a* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	155
Şekil 4. 51. Badem sütü tozu örneklerinin a* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu	156
Şekil 4. 52. Nohut sütü tozu örneklerinin b* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	158
Şekil 4. 53. Nohut sütü tozu örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve Hue angle değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	161
Şekil 4. 54. Badem sütü tozu örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve Hue angle değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.	162

Şekil 4. 55. Yulaf sütü tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri	164
Şekil 4. 56. Nohut sütü tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri	164
Şekil 4. 57. Badem sütü tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	165
Şekil 4. 58. Yulaf süt tozu örneklerine ait partikül boyut dağılım grafiği	167
Şekil 4. 59. Nohut sütü tozu örneklerine ait partikül boyut dağılım grafiği	169
Şekil 4. 60. Badem süt tozu örneklerine ait partikül boyut dağılım grafiği.....	170
Şekil 4. 61. Yulaf sütü tozu örneklerine ait ζ -potansiyeli grafiği.....	173
Şekil 4. 62. Nohut sütü tozu örneklerine ait ζ -potansiyeli grafiği	174
Şekil 4. 63. Badem sütü tozu örneklerine ait ζ -potansiyeli grafiği.....	175
Şekil 4. 64. Yulaf sütü tozu örneklerine ait FTIR grafiği	178
Şekil 4. 65. Nohut sütü tozu örneklerine ait FTIR grafiği	178
Şekil 4. 66. Badem sütü tozu örneklerine ait FTIR grafiği.....	180
Şekil 4. 67. Kek örneklerinin duyuşal analiz sonuçları	220

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2. 1. Yeni teknolojiler, işlenmiş ürün, süreç koşulları ve yeni teknolojinin ürün üzerindeki etkisi	12
Çizelge 3. 1. Kek formülasyonu	46
Çizelge 4. 1. Yulaf sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait sonuçlar ¹	53
Çizelge 4. 2. Nohut sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait sonuçlar ¹	53
Çizelge 4. 3. Badem sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait sonuçlar ¹	53
Çizelge 4. 4 Yulaf sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	54
Çizelge 4. 5 Nohut sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	54
Çizelge 4. 6 Badem sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	54
Çizelge 4. 7 Yulaf sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	56
Çizelge 4. 8 Nohut sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	56
Çizelge 4. 9 Badem sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	56
Çizelge 4. 10 Yulaf sütü örneklerinin renk değerleri sonuçları ¹	79
Çizelge 4. 11 Nohut sütü örneklerinin renk değerleri sonuçları ¹	80
Çizelge 4. 12 Badem sütü örneklerinin renk değerleri sonuçları ¹	80
Çizelge 4. 13 Yulaf sütü örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	81
Çizelge 4. 14 Nohut sütü örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹ ..	81

Çizelge 4. 15 Badem sütü örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	81
Çizelge 4. 16 Yulaf sütü örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	83
Çizelge 4. 17 Nohut sütü örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	83
Çizelge 4. 18 Badem sütü örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	83
Çizelge 4. 19 Yulaf sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait sonuçlar ¹	108
Çizelge 4. 20 Nohut sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait sonuçlar ¹	108
Çizelge 4. 21 Badem sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait sonuçlar ¹	108
Çizelge 4. 22 Yulaf sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	109
Çizelge 4. 23 Nohut sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	109
Çizelge 4. 24 Badem sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	109
Çizelge 4. 25 Yulaf sütü tozu örneklerinin yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	110
Çizelge 4. 26 Nohut sütü tozu örneklerinin yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	110
Çizelge 4. 27 Badem sütü tozu örneklerinin yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	110
Çizelge 4. 28 Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait sonuçlar ¹	119
Çizelge 4. 29 Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait sonuçlar ¹	119
Çizelge 4. 30 Badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait sonuçlar ¹	119

Çizelge 4. 31 Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	122
Çizelge 4. 32 Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	122
Çizelge 4. 33 Badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları ¹	122
Çizelge 4. 34 Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	124
Çizelge 4. 35 Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	124
Çizelge 4. 36 Badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	124
Çizelge 4. 37 Yulaf sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar ¹	137
Çizelge 4. 38 Nohut sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar ¹	137
Çizelge 4. 39 Badem sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar ¹ ...	137
Çizelge 4. 40 Yulaf sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	131
Çizelge 4. 41 Nohut sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	131
Çizelge 4. 42 Badem sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	131
Çizelge 4. 43 Yulaf sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerinin çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	132
Çizelge 4. 44 Nohut sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerinin çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	132
Çizelge 4. 45 Badem sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerinin çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	132
Çizelge 4. 46 Yulaf sütü tozu örneklerinin renk sonuçları ¹	146

Çizelge 4. 47 Nohut sütü tozu örneklerinin renk sonuçları ¹	146
Çizelge 4. 48 Badem sütü tozu örneklerinin renk sonuçları ¹	146
Çizelge 4. 49 Yulaf sütü tozu örneklerinin renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	147
Çizelge 4. 50 Nohut sütü tozu örneklerinin renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	147
Çizelge 4. 51 Badem sütü tozu örneklerinin renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları ¹	147
Çizelge 4. 52 Yulaf sütü tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	149
Çizelge 4. 53 Nohut sütü tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	149
Çizelge 4. 54 Badem sütü tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	149
Çizelge 4. 55 Yulaf sütü tozu örneklerinin partikül boyutu ve zeta potansiyeli sonuçları ¹	167
Çizelge 4. 56 Nohut sütü tozu örneklerinin partikül boyutu ve zeta potansiyeli sonuçları ¹	169
Çizelge 4. 57 Badem sütü tozu örneklerinin partikül boyutu ve zeta potansiyeli sonuçları ¹	171
Çizelge 4. 58 Bitkisel süt tozu ilave edilmiş kek hamuru örneklerine ait özgül ağırlık ve pH değerleri	182
Çizelge 4. 59 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait kabuk rengi değerleri ¹	186
Çizelge 4. 60 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait iç renk değerleri ¹ ..	191
Çizelge 4. 61 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait tekstürel analiz değerleri ¹	196

Çizelge 4. 62 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait fiziksel analiz değerleri	199
Çizelge 4. 63 Kek örneklerinin kimyasal özelliklerine ait sonuçlar ¹	204
Çizelge 4. 64 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait fonksiyonel özellikler ¹	210
Çizelge 4. 65 Kek örneklerinin mineral madde miktarlarına (mg/100g) ait sonuçlar ¹ .	216



1. GİRİŞ

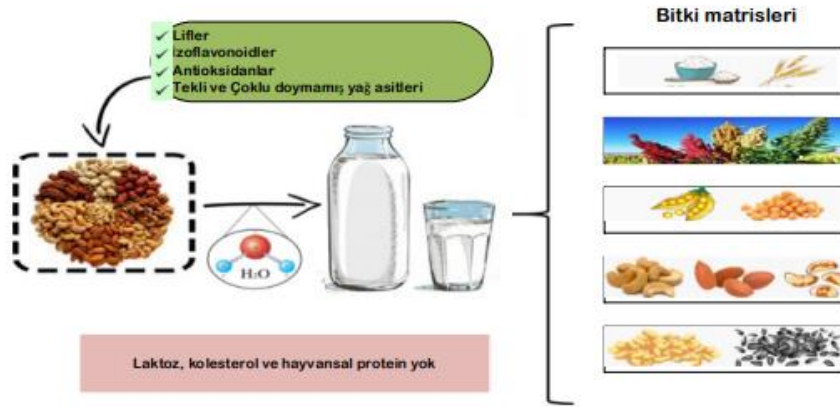
Son yıllarda alternatif gıdaların artmasıyla tüketiciler sağlıklarını ilgilendiren ürünlere daha fazla ilgi duymaya başlamışlardır. Gıdaların içerisinde bileşikler farklılaştırılıp, biyoyararlılığının artırılması ile üretilen fonksiyonel gıdalar, sağlık üzerinde ek faydalar oluşturup hastalıklara karşı bağışıklık sağlama ve daha konforlu bir hayata ulaşmayı sağlamaktadır (Korthals, 2002; Meral, Doğan, ve Saydan Kanberoğlu, 2012).

Süt yerine kullanılan bitkisel bazlı süt içecekleri, laktoz ve kolesterol içermedikleri için gıda pazarında öne çıkmakta; bunun dışında, hayvansal süte benzer bir görsel görünüm, farklı duyuşsal özellikler, kinetik, stabilite ve besinsel kompozisyon sunmaktadırlar.

Bitkisel bazlı süt (BBS) ikameleri, tahıllar (yulaf, pirinç), baklagiller (soya fasulyesi, nohut), fındık (badem, kaju fıstığı) ve tohumlar (susam) gibi bitkisel matrislerin homojenleştirilmiş ekstraktları olarak tanımlanabilir (Şekil 1) (Silva, ve Ribeiro 2020). Bu ürün, sudan oluşan sürekli bir faz ve parçacıkların dağılmış bir fazından oluşan kolloidal bir sistemdir. Bu parçacıklar protein fraksiyonları, nişasta granülleri, bitki matrislerinin katı kısımları ve lipit damlacıklarından oluşmaktadır. Genel olarak, bitkisel bazlı sütleri formüle etmek için kullanılan en önemli bileşenler bitki kaynakları, su, emülgatörler ve katkı maddeleridir. Her bileşen istenen işlevsel özelliklere sahip bir son ürün oluşturmak için dikkatlice seçilmelidir. Ayrıca, suyun kalitesi de çok önemlidir çünkü su, ana bileşendir. Bitkisel bazlı sütlerin içerikleri inek sütüne göre oldukça değişkendir. Bitkisel sütteki besin öğeleri ve şeker miktarı, üretim prosesine ve ürün formülasyonuna göre önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Jeske, Zannini, ve Arendt, 2018; Munekata ve ark. 2020 ; Paul ve ark. 2020) .

Bitkisel bazlı sütler (BBS) biyoaktif bileşikler açısından zengindir, ancak belirli biyoaktif bileşik içecek türüne göre farklılık göstermektedir. Bu tür ürünlerde bulunan biyoaktif bileşikler arasında kan şekeri ve insülin direncinin iyileştirilmesiyle ilişkili olan β -glukan ve kardiyovasküler durumu iyileştirebilen ve ilgili hastalıklarla ilişkili riski azaltabilen fitosteroller bulunmaktadır. Kardiyovasküler hastalıklar, kanser ve osteoporoz ilerlemesi ile ilişkili riski azaltabilen izoflavonlar, kan kolesterol seviyesini düşürme yeteneğine sahip olan lignanlar ve örneğin kardiyovasküler hastalıkların

gelişimine karşı yeterli gelişme ve korumada rol oynayan omega-3 yağ asitleri, (Omoni ve Aluko 2005; Pineli ve ark. 2015)



Şekil 1. 1. Bitkisel bazlı süt üretiminde kullanılan bitkisel hammaddeler (Bocker ve Silva, 2022).

Mevcut pazar analizi verilerine göre bitkisel bazlı süt ikamesinin tüketimi giderek artmakta ve bu ikamelerin duyusal ve kalitesinin geliştirilmesi, ürün farkındalığının artmasında kilit bir rol oynamaktadır. Bitkisel sütlerin birkaç dezavantajı vardır: düşük mikro besin içeriği, düşük protein içeriği, antibesinsel içeriği (fitik asit, inositol fosfatlar ve tripsin inhibitörleri) ve tüketici kabul edilebilirliği olarak sayılabilir (Dhakal ve ark., 2014; Silva ve ark., 2020). Bitkisel sütlerde bulunan diğer antibesinsel maddelerden fitat ve oksalat vitamin ve minerallerin biyoyararlanımını engellemektedirler (Karimidastjerd ve Kilic-Akyılmaz 2021; Silva ve ark., 2020).

Bu çalışmada bitkisel süt eldesinde yulaf, nohut ve badem kullanılmıştır. Bitkisel bazlı sütlerde fiziksel stabiliteyi artırmak, mikroorganizmaları ve enzimleri inaktif hale getirmek, partikül boyutunu küçültmek ve viskoziteyi azaltmak amacıyla süt üretiminde uygulanan farklı yöntemlerin etkisi ile enzim ilavesinin etkisi araştırılmıştır. İnek sütüne kıyasla eksik olan Ca miktarı da takviye edilerek besinsel açıdan zenginleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde seçilen bitkisel bazlı sütler farklı kurutma yöntemleri ile kurutularak optimum kurutma yöntemi belirlenmiş ve kek üretiminde kullanılarak inek sütü tozu ile kıyaslanmıştır. Sektörel olarak fırıncılık ürünlerinde özellikle kek üretiminde bitkisel bazlı süt kullanılabilirliğinin, kalıcılığının, tat ve aroma profilinin inek sütü kullanımına oranla karşılaştırılması önem arz etmektedir

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Bitkisel Bazlı Sütler

2.1.1 Bitkisel süt eldesinde kullanılan kaynaklar

Bitkisel sütler, hayvansal süte alternatif olarak bitkilerden üretilen ve laktoz içermeyen içeceklerdir. En yaygın bitkisel süt çeşitleri arasında soya sütü, badem sütü, yulaf sütü, hindistancevizi sütü, kaju sütü, fındık sütü, pirinç sütü yer almaktadır. Her biri farklı tat, besin içeriği ve kullanım alanlarına sahiptir. Örneğin, yulaf sütü kahveyle iyi uyum sağlarken, badem sütü hafif ve tatlı bir aroma sunar. Soya sütü ise yüksek protein içeriğiyle dikkat çekmektedir. Günümüzde artan vegan beslenme eğilimleri ve laktoz intoleransı nedeniyle bitkisel sütlere olan talep giderek artmaktadır.

2.1.1.1 Badem sütü

Badem (*Prunus amygdalus*), Rosaceae (gülğiller) familyasının Prunoideae alt familyasındandır. Ağaçta yetişen sert kabuklu bir meyvedir. Türkiye'de badem üretimi Akdeniz Bölgesi, Marmara Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi'nde, özellikle Ege Bölgesi'nde yapılmaktadır (Badıllı 2020; Erol, 2020). Günümüzde dünyada en fazla badem üretimi ABD'nin Kaliforniya eyaletinde gerçekleştirilmektedir (Esfahlan ve ark., 2010). Bademin yağ, mineral, protein, diyet lifi ve karbonhidrat açısından zengin bir meyve olduğu bilinmektedir (Silva ve ark. 2020). 100 gram bademin besin değeri 575 kalori olup, bileşiminde yaklaşık %50 yağ, %25 protein bulunmaktadır (Badıllı, 2020; Bocker ve Silva, 2022). Badem; potasyum, magnezyum, fosfor, selenyum, çinko, kalsiyum, ve bakır gibi diğer besin maddeleri açısından da zengindir. Yüksek potasyum içeriği sayesinde düşük sodyumlu ve yüksek potasyumlu diyetlere uygun bir besindir. Ayrıca bademin yapısında gluten bulunmaması, onu çölyak hastalarının beslenmesinde önemli besin gruplarından biri haline getirmektedir (Silva ve ark., 2020). Bademin glisemik indeksi yüksek besinlerle birlikte tüketilmesinin, bu besinlerin glisemik indeksini düşürdüğü ve dolayısıyla kan şekerini düşürdüğü belirtilmiştir (Erol, 2020). Badem meyvesi bütün, çiğ ya da kavrulmuş çerez olarak yenebilmekte ve özellikle fırın ürünleri ve şekerleme ürünleri olmak üzere çeşitli işlenmiş gıdalarda atıştırılabilirlik ve

bileşenler olarak kullanılmaktadır (Esfahlan ve ark., 2010; Yılmaz-Ersan ve Topçuoğlu, 2019). Son yıllarda badem sütünün süt yerine kullanımı da yaygınlaşmıştır. Ayrıca badem sütü, fasulyeye benzeyen kokusu ve yaygın olarak kullanılan soya sütünde bulunan bazı besin bileşenlerini içermemesi nedeniyle soya sütüne tercih edilmeye başlanmıştır (Akpınar, ve ark., 2019). Badem sütünden probiyotik yoğurt (Yılmaz-Ersan ve Topçuoğlu, 2019) ballı, muzlu kefir (Erol, 2020) yoğurt (Rai ve ark., 2018).

Badem sütü eldesinde iki farklı yöntem kullanılabilir. Meyveleri suda bekletip öğütüp sonra süzmek veya meyveleri ıslatmadan öğütüp un haline getirip su eklemektedir (Yılmaz-Ersan ve Topçuoğlu, 2019).

Sezgin (2021) yaptığı bir çalışmada, soyulmuş fındık, ceviz, badem ve hindistan cevizi ile bitkisel süt üretimi gerçekleştirilmiştir. Hammaddelerin 30°C'de 24 saat süreyle kurutulduktan sonra meyve kabukları kırılarak kabukları ayrılmıştır. Cevizler yumuşatılmak için üzerine içme suyu ilave edilerek 120 dakika kadar suda bekletilmiştir. Meyveler ağırlıklarının 6,6 katı sıcak içme suyuyla (50°C) yıkanmış, karışım çift katlı tülbentten süzülmuş ve hazırlanan badem sütü cam şişelere doldurularak 4°C'de saklanmıştır (Sezgin, 2021).

Badem sütü, günlük tüketim için gerekli olan ve probiyotik mikroorganizmalar için besin öğeleri olabilen yüksek kaliteli protein, düşük glisemik indeksli karbonhidratlar, doymamış yağ asitleri, vitaminler, mineraller, diyet lifi, fenolik asitler ve flavonoidler içermektedir (Yılmaz-Ersan ve Topçuoğlu, 2019).

Magsudlu ve ark. (2016), badem sütünde ultrason uygulamasının, modifiye nişasta, lesitin, agar kullanımının ve ultrason kullanılarak badem sütü parçacık boyutunun küçültülmesinin stabiliteyi artırmanın en iyi yolu olacağını bildirmiştir. Aynı çalışmada badem sütüne şeker (%8), yapay tatlandırıcı (%0,55) ve tatlandırıcı olarak gül suyu kullanılmasının yüksek duyuusal beğeni yarattığı bulunmuştur

Bitkisel süt kullanılarak probiyotik ürünler geliştirildiğinde, içerdiği prebiyotikler ve beslenme ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle simbiyotik bir ürün ortaya çıkarmaktadır. He ve Hekmat (2014), çalışmalarında soya, badem ve fıstık sütü örneklerini kullanarak formülasyonlar hazırlamış ve her birinin duyuusal analizinde en çok tercih edilen organik içeceğin organik badem sütü olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmada badem sütünü *L. reuteri* ve *St. thermophilus* ile fermente ettikten sonra sütün viskozitesinde artış olduğu ve badem sütünde probiyotik mikroorganizmanın yüksek bir popülasyon (>10⁷ KOB/mL) gösterdiğini belirtmişlerdir (Bernat ve ark., 2015).

2.1.1.2 Nohut sütü

Nohut (*Cicer arietinum* L.), baklagiller familyasından tek yıllık bir bitkidir. Nohut, protein, karbonhidrat, lif, riboflavin, tiamin, niasin, folat ve A vitamini gibi vitaminler ve fosfor, magnezyum, demir (diğer baklagillerden daha yüksek miktarlarda), çinko, kalsiyum potasyum, bakır ve potasyum gibi minerallerin iyi bir kaynağıdır. Kuru bazda bileşiminin yaklaşık %80'i protein ve karbonhidratlardan oluşmaktadır. Diğer baklagillerle karşılaştırıldığında antibesinsel içeriği daha düşüktür (Kishor ve ark., 2018; Silva ve ark., 2020; Bocker ve Silva 2022).

Nohutun proteini diğer baklagillere göre daha yüksek biyoyararlanıma (%20.9-25.27) sahiptir. Ancak metionin ve sistein gibi bazı aminoasitler nohutta genelde bulunmamaktadır. Ayrıca çözünür ve çözünmez lif içermekte, bu da toplam kolesterol ve kötü kolesterolün düşürülmesine katkıda bulunmaktadır. Nohut, doymamış yağ asitleri, özellikle linoleik asit ve oleik asit açısından da zengindir (Bocker ve Silva 2022).

Literatürde nohut sütü hazırlanmasında 2 kg çiğ tanenin 12 saat suda bekletildiği, antibesinsel etkenlerin azaltılması amacıyla suda bekletilen suyun uzaklaştırıldığı belirtilmektedir. Daha sonra 1:3 oranında su eklenerek 120 °C'de düdüklü tencerede pişirilmiştir. Bu aşamadan sonra haşlanmış nohutlar daha sonra kullanılmak üzere haşlama suyundan ayrılmış, kabukları soyulmamış nohutlar 3 dakika öğütüldükten sonra üzerine 1:6 oranında süzölmüş kaynamış su ilave edilerek, elde edilen karışım tülbentten süzölmüş ve nohut sütü elde edilmiştir (Rincon ve ark., 2020).

Nohut sütü inek sütüne göre daha koyu, daha sarı renktedir. Nohut, insanlarda kolon ve rektum kanseri riskini azaltmaya yardımcı olan folik asit açısından zengin bir besindir. Nohut sütü inatçı ishalin tedavisinde de oldukça etkilidir. Baklagiller arasında

nohut, kan kolesterol düzeyini düşürmede en etkili maddelerden biri olarak kabul edilmektedir. (Kishor ve ark., 2018; Lopes ve ark., 2020 ; Rincon ve ark., 2020).

İnek sütü yerine nohut sütü ve hindistan cevizi sütüne dayalı bitkisel bazlı bir süt geliştirmek için yapılan bir çalışmada, elde edilen içeceğin inek sütüne ikame edilebilecek diğer popüler alternatiflerle (Yulaf, badem ve pirinç sütleri gibi) karşılaştırıldığında daha iyi bir besin profiline (karbonhidrat, yağ, protein ve kalsiyum) sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle inek sütüne potansiyel bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Rincon ve ark., 2020).

2.1.1.3 Yulaf sütü

Yulaf (*Avena sativa*), *Poaceae/Gramineae* familyasının *Aveneae* alt grubunun bir üyesidir. Tahıl ailesine ait, gıda, hayvan yemi ve endüstriyel amaçlarla kullanılan bir tahıl türüdür. Mısır, buğday, pirinç, sorgum, arpa ve darıdan sonra ekonomik açıdan yedinci en önemli tahıldır (Tian ve ark. 2024). Yulaf, kabuk (%25), perikarp, testa ve aleuron (%9), nişastalı endosperm (%63) ve embriyodan (%3) oluşmaktadır. Yulafın %50'sini oluşturan nişasta en bol bulunan bileşendir. Nişastanın yüksek oranda bulunması emülsifikasyon işlemini zorlaştırır. Yulaf sütü, yulafın su ekstraksiyonu olup, yeni ortaya çıkan bir besin ve biyoaktif gıda olarak kabul edilmektedir (Gangopadhyay ve ark., 2015 ; Martínez-Villaluenga ve Peñas 2017).

Yulaf, yulaf gevreği, yulaf lapası, kurabiye, erişte, ekmek, yoğurt, yulaf sütü ve içecekleri gibi gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tahıl tanesi olarak yulaf (*Avena sativa L.*), dengeli amino asit profiline sahip protein, doymamış yağ asitleri ve diyet lifi (özellikle β -glukan) dahil olmak üzere mükemmel besin profili nedeni ile artan bir ilgi görmektedir. Ayrıca biyoaktif fitokimyasallar, vitaminler, fenolik asitleri gibi fenolik bileşikler ve diğer mikro besinleri pek çok bileşimin iyi bir kaynağıdır (Martínez-Villaluenga ve Peñas, 2017; Grundy ve ark. 2018 ;). Antioksidan, antikanserijen, antialerjik gibi çeşitli biyolojik ve sağlık açısından faydalı etkilere sahiptir.

Su-yulaf karışımı ısıtıldığında, içindeki nişasta jelatinleşmeye başlayarak oldukça viskoz bir jel oluşturmakta ve bu da kabul edilebilirliğinin azalmasına neden olmaktadır. Nişastanın akışkanlığını sağlamak ve jelatinleşmeyi önlemek için ön

hidroliz işlemi uygulanması tavsiye edilmektedir (Bocker ve Silva, 2022; Silva ve ark., 2020). Yulaf sütünün bileşimi kullanılan yulaf tanelerinin çeşitliliğine ve işleme faktörlerine bağlı olarak değişim göstermektedir (Xu ve ark., 2009; Yue ve ark., 2021)

Yulaf, kronik hastalıklara faydalı olduğu kanıtlanmış yüksek β -glukan içeriğinden dolayı sağlıklı gıdalar olarak kabul edilir. Beta-glukan formundaki çözünür lifin günde 2.9 gram veya daha fazla tüketilmesinin LDL kolesterolü düşürdüğü belirtilmiştir. 0.5g/100g beta-glukan içeren bir yulaf sütü alternatifinin günlük 750 mL tüketimiyle LDL kolesterol düzeylerinin azaldığı gösterilmiştir. Bu durum, LDL kolesterolünü düşürmek isteyen bireyler için yulaf sütünü uygun bir inek sütü alternatifi haline getirebilir. Ancak, ticari yulaf sütü alternatiflerinin beta-glukan seviyelerinden kaynaklı olarak günlük önerilen 3 gram çözünür lif miktarına ulaşmanın zor olabileceği vurgulanmıştır (Chalupa-Krebzdak ve ark. 2018).

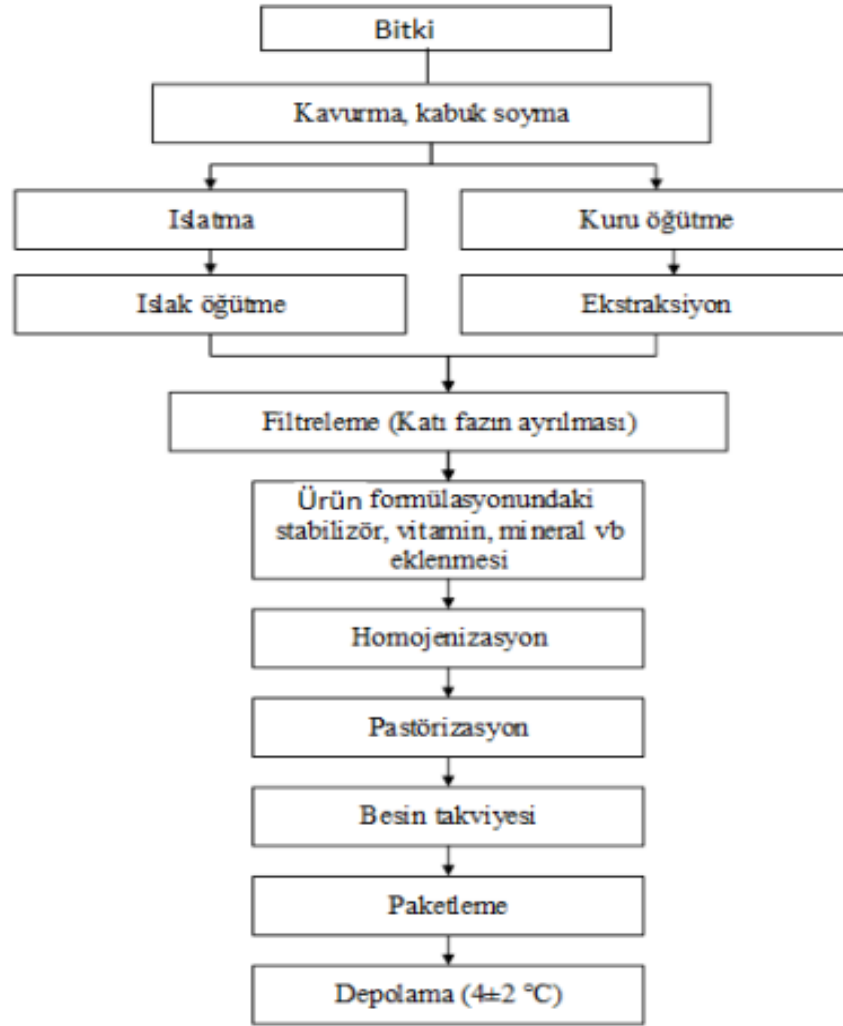
Başka bir çalışmada, yulaf sütü üretiminde enzimatik hidroliz kullanılarak yulaf sütü ikamesinin üretim süreci iyileştirilmiş ve enzim konsantrasyonunun artırılmasıyla nişasta sıvılaştırma işlemi sonucu yulafta suda çözünen ekstrakt üretiminin arttığı bildirilmiştir (Silva ve ark., 2020).

Yulaf sütü, inek sütüne göre daha az şeker ve yağ içermekte ve inek sütüyle aynı miktarda kalsiyum sağlamaktadır. Yulaf sütü badem sütüne benzer protein içeriğine sahiptir (Collard ve McCormick 2021).

2.1.2 Bitkisel süt üretim yöntemleri

Son zamanlarda tüketicilerin gıda seçimleri ve bunların olası sağlık ve çevresel etkileri konusundaki endişeler, beslenme düzenlerinde gözle görülür değişikliklere ve çoğunlukla sağlıklı yaşamı teşvik eden, hayvan yaşamını koruyan ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak amacıyla bitkisel bazlı besinler tüketimine doğru artan bir yönelime yol açmıştır.

Beslenme, insan vücudunun yaşamsal işlevlerini sürdürebilmesi için mikro ve makro besin öğelerini özümsemesidir. Dolayısıyla, günümüzde dünya nüfusunun tüketim alışkanlıklarında bir değişim yaşandığından, gıda ürünlerinin besin içeriği, bunların geliştirilmesinde en önemli kaygılardan birini oluşturmaktadır.



Şekil 2. 1. Bitkisel bazlı süt alternatiflerinin üretim sürecinin genel taslağı (ReyesJurado ve ark., 2021; Penha ve ark., 2021 Bocker ve Silva, 2022).

Bitkisel bazlı süt (BBS) ikameleri vegan gıda endüstrisinde önemli bir bileşen olup, çok sayıda vegan gıda ürünüde temel bir bileşen olarak hizmet vermektedir (Yadav, 2017). BBS'ler, çözülmüş ve parçalanmış bitki materyalinden oluşan koloidal süspansiyonlar veya emülsiyonlardır (Mäkinen ve ark. 2016). BBS'ler, çıkarılan hammaddelerin su içerisinde parçalanması ve ardından homojenleştirilmesi yoluyla hazırlanmaktadır. Fakat parçacık bileşimi ve boyutu homojen değildir. Sulu bitki özütünün parçacık boyutu dağılımı, görünüm ve kıvam açısından inek sütünü taklit ederek 5 ila 20 μm arasında değişmektedir. Parçacık boyutu ve nihai ürün kararlılığı, hammaddenin doğasına, parçalanma yöntemine, termal veya homojenizasyon işlemlerine ve depolama koşullarına bağlıdır (Sethi, ve ark., 2016 ; Silva ve ark. 2020). Süreçte farklılıklar olmasına rağmen, modern endüstriyel ölçekli bir sürecin genel

taslağı, farklı bitki materyalleri için esasen aynıdır (Şekil 2.1). Sulu ekstrakt elde etmek için iki işlem kullanılır: birincisi bitki kaynaklarının ıslatılması ve ıslak öğütülmesidir (ıslak işlem) ve ikincisi ham maddelerin kuru öğütülmesi ve unun suda çıkarılmasıdır (kuru işlem). BBS'leri elde etmek için ayrıntılı adımlar aşağıda açıklanmıştır.

Ön işlem: Bitkisel süt üretiminde ön işlem, hammaddeyi ekstraksiyona hazırlamak amacıyla uygulanan fiziksel, kimyasal veya enzimatik işlemleri kapsar. Bu işlemler, bitkisel kaynağın hücre yapısını parçalayarak çözünür bileşenlerin (protein, yağ, karbonhidrat vb.) sıvıya geçişini kolaylaştırır. Ön işlemler, ekstraksiyon verimini artırarak bitkisel sütlerin besin değerini, tekstürünü ve stabilitesini iyileştirmeye yardımcı olur.

Ham maddelere, ekstraksiyonunu artırmak, besin kalitesini artırmak, duysal özellikleri yükseltmek ve/veya istenmeyen tatları ortadan kaldırmak için ön işlem uygulanabilir. Ön işlemler arasında, kabuk soyma ve 3–18 saat suda bekletme (örn. bakla, kaju, soya fasulyesi, yulaf ve susam) veya 1:2 ila 1:12 oranlarında % 0.2–%2 sodyum bikarbonat (NaHCO_3) (soya fasulyesi, fıstık ve kaplan fıstığı, fasulye ve fındıksız tatları gidermek için) içeren alkali çözeltilerde bekletmek gelmektedir. Ayrıca, haşlama (örn. badem [kabuğu çıkarmak için] susam ve fıstık [istenmeyen tatları gidermek için]), yağdan arındırma veya fermantasyon (örn. soya fasulyesi, badem, pirinç, yulaf ve fasulye [besin özelliklerini iyileştirmek için]) ön işlem olarak kullanılmaktadır (Paul ve ark. 2020 ve Sethi ve ark., 2016).

Yapılan bir çalışmada kinoa tohumlarının tuzlu çözeltide (pH 5'e asitleştirilmiş 0.03 mol/L NaCl) bekletilmesi ve otoklavlanması, kinoa sütü protein içeriğini ticari alternatiflere kıyasla %36 oranında artırmıştır (Pineli ve ark. 2015). Haşlama, soya sütü ve fıstık sütünün istenmeyen tatlar üreten tripsin inhibitörlerini ve lipoksijenazları etkisizleştirmek için uygulanan bir yöntemdir. Ayrıca, fıstıklar ıslatılmadan önce basınçlı haşlama (121°C, 15 psi ve 3 dk) yapılırsa, ıslatma süresi %66'ya kadar azaltılabilmektedir (Jain ve ark. 2013). Kurutulmuş kaplan fındıklarına uygulanan ışınlama işlemi, elde edilen süt alternatiflerindeki toplam katı madde ekstraksiyonunu işlenmemiş fındıklara kıyasla önemli ölçüde (%18'den %60'a) artırmıştır (Okyere ve Odamtten, 2014).

Ekstraksiyon: Ekstraksiyon aşaması, elde edilen ürünün bileşimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Prosesin verimini arttırmak için, bikarbonat veya NaOH ile pH'ın artırılması, yüksek sıcaklıklar veya enzimlerin kullanılmasıyla geliştirilebilmektedir. Ekstraksiyon sırasında alkali pH, proteinin ekstrakte edilebilirliğini artırmaktadır. Daha yüksek bir ekstraksiyon sıcaklığı yağın ekstrakte edilebilirliğini artırmakta, ancak proteinlerin denatürasyonu çözünürlüklerini ve verimlerini azaltmaktadır. Ancak proteinin bitkisel, hayvansal veya mikrobiyal bazlı enzimler kullanılarak hidrolize edilmesiyle proteinin ekstraksiyonu artırılabilir (Varghese ve Pare 2019). Enzimatik hidroliz, yulaf sütü alternatifinin hazırlanmasında çok faydalıdır (Sethi ve ark., 2016). Bu işlemde, ana bileşen olan nişasta, sulu öğütme sırasında oldukça viskoz bir jel oluşturmak üzere jelatinize edilmektedir. α -amilaz gibi enzimler, pirinç veya kinoa sütü hazırlamak için de kullanılmış, ardından glukozidaz ve/veya β -amilaz varlığında sakkarifikasyon yapılmıştır. Protein miktarı artırılmış ve glisemik indeksi düşürülmüş kinoa sütü geliştirilmiştir. Bitkisel süt tüketmesi gereken tüketici grubu pirinç sütüne kıyasla kinoa sütüne daha yüksek genel kabul edilebilirlik skorları vermiştir. Koku açısından tüketici kabulünü iyileştirmek için lezzet maddelerinin eklenmesi önerilmiştir (Silva ve ark. 2020 ve Pineli ve ark. 2015).

Ayrılma: Ekstraksiyondan sonra kaba parçacıklar, filtrasyon, dekantasyon veya santrifüjleme yoluyla bulamaçtan çıkarılmaktadır. Yer fıstığı gibi yağ oranı yüksek ham maddeler kullanıldığında fazla yağ, süt işlemede olduğu gibi bir ayırıcı kullanılarak uzaklaştırılabilir. Ayrılan krema benzeri ürün, yağ elde etmek için ısıtılabilir ve bu şekilde dondurma formülasyonlarında ve fırıncılık endüstrisinde kullanılabilir (Yadav, 2017).

Ürün formülasyonu: Vitaminler, mineraller, tatlandırıcılar, aromalar, renklendirici maddeler, tuz, yağlar ve stabilizatörler gibi diğer bileşenler, tüm çözünmeyen kaba maddelerin çıkarılmasından sonra ürün tabanına eklenebilmektedir. En yaygın stabilizatörler arasında karragenan, pirinç nişastası, gellan zankı, mısır dekstrini, ksantan zankı, guar zankı ve tapioka nişastası bulunmaktadır. Sodyum metabisüfit de bazı BBS'leri korumak için en çok kullanılan katkı maddeleri arasında olup, sitrik asit de antioksidan olarak kullanılabilir (Bridges, 2018). BBS'ler, görünüm ve kıvam açısından hayvansal süte benzemelerine rağmen, besin kalitesi ve biyoyararlanım açısından önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu nedenle, besin kalitesini artırmak

için bu tür ürünlerin güçlendirilmesi gereklidir. Kullanılan besinler biyoyararlanımını stabilitesini artırmalıdır (Yadav, 2017).

Homojenizasyon: BBS'ler protein, nişasta, lif ve diğer hücrel materyaller gibi çözünmeyen parçacıklar içerir. Bu parçacıklar sudan daha yoğundur ve dolayısıyla çökelirler, bu da ürünü kararsız hale getirmektedir. Süspansiyon kararlılığı, çözünürlüğü artırmak için parçacık boyutunu azaltarak veya hidrokolloidler ve emülgatörler kullanarak artırılabilir. Homojenizasyon, agregatları ve lipid damlacıklarını parçalayarak BBS'lerin stabilitesini artırır, böylece parçacık boyutlarını azaltarak dağılımlarını artırır (Yadav, 2017).

Bernat ve ark. (2015) araştırmalarında, yüksek basınçlı homojenizasyon ve sıcaklık uygulamasının badem ve fındık sütünün fiziksel yapısı üzerindeki etkilerini incelemişler. Homojenize edilmiş badem sütünün parçacık büyüklüğü önemli ölçüde azalmıştır. Parçacık yüzey yükü, berraklık, beyazlık indeksi ve örneklerin fiziksel stabilitesi, protein ve viskozite stabilitesini etkilemeden artmıştır (Bernat ve ark., 2015).

Isıl işlem: Isıl işlem, mikrobiyal yükü azaltarak ve süspansiyonda bulunabilecek enzimleri etkisiz hale getirerek korumaya katkıda bulunur. Yeterli bir zaman ve sıcaklık kombinasyonu, yağ kaplı damlacıkların (yüksek sıcaklıklarda) toplanmasını önleyerek mikrobiyal/enzim yok edilmesini sağlamaktadır (Cruz ve ark. 2007). Ticari BBS'ler raf ömürlerini uzatmak için pastörize edilmekte veya ultra yüksek sıcaklığa tabi tutulmaktadır (Mäkinen ve ark. 2016).

Besinsel zenginleştirme: BBS'lerin işlenmesi, ham maddenin üretimden önce ıslatılması veya ağartılması durumunda suda çözünen vitaminlerin kaybolabilmesi nedeniyle mikro besin maddelerinin konsantrasyonunu etkiler. Ayrıca dekantasyon aşamasında mineraller kaybolabilir. Hem sıcaklığa hem de maruz kalma süresine bağlı olarak, termal işlem bazı ısıya duyarlı vitaminleri yok edebilir ve proteinleri denatüre edebilir. Bu nedenle termal işlemden sonra BBS'lerin besinsel zenginleştirilmesi önerilir (Silva ve ark. 2020).

Ambalajlama: BBS'ler işlendikten sonra, dağıtım ve depolama için gerektiği şekilde paketlenir. BBS'ler genellikle karton sistemlerde veya plastik şişelerde paketlenir. BBS'ler ayrıca, istenen ürüne yeniden oluşturulabilen kararlı bir toz üretmek için spreyle veya tamburlu kurutucuda kurutulabilir. Ancak, kararlı bir ürün elde etmek için sıvı BBS'ler kurutulmadan önce stabilize edilmelidir (Zungur Bastıoğlu ve ark. 2016; Abdullah ve ark. 2018).

2.1.3 Bitkisel bazlı süt ikamelerinin üretiminde uygulanan yeni teknolojiler:

Bitkisel sütün üretimi ve iyileştirilmesinde dört temel alan vardır: stabilite iyileştirme, istenmeyen tatların giderilmesi, antibesinsel faktörlerin inaktivasyonu/giderilmesi ve raf ömrünün iyileştirilmesidir.

Çizelge 2. 1. Yeni teknolojiler, işlenmiş ürün, süreç koşulları ve yeni teknolojinin ürün üzerindeki etkisi (Aydar ve ark., 2020).

Yeni Üretim Teknolojisi	Bitkisel Bazlı Süt İkameleri	Proses Koşulları	Ürün Üzerinde Etkiler
Ultrason	Badem Sütü	Gücün %80'i, 8 dakika, 6 sn'de darbe-	Mikroorganizmaların inaktivasyonu, partikül boyutunun ve viskozitesinin azalması gözlenmiştir.
Yüksek basınçlı homojenizasyon	Yer fıstığı sütü	150 ve 300 MPa	Önemli ölçüde azaltılmış boyut, tutarlılık indeksi ve akış davranış indeksinde artış gözlemlendi
Yüksek basınçlı homojenizasyon	Badem sütü	62, 103 ve 172 MPa	Parçacık boyutunda azalma, parçacık yüzey yükünde, berraklıkta ve beyazlık indeksinde artış gözlemlendi.
Ohmik ısıtma	Soya sütü	220, 165 ve 110, V	Protein agregatlarının formunda, tripsin inhibitör aktivitesi nde ve kimotripsin inhibitör aktivitesinde hafif bir artış gözlemlendi.
Darbeli elektrik alanı	Soya sütü	18, 20 ve 22 kV cm ⁻¹ elektrik alan şiddeti ve 25, 50, 75 ve 100 darbe sayısı	Soya fasulyesi lipoksijenazında azalma gözlemlendi.
Yüksek yoğunluklu ultrason ışması	Hindistan cevizi sütü	Frekans, 20 khz Ultrasonik yoğunluk:50– 55 W cm ⁻²	Parçacık boyutlarının daha küçük olduğu bildirilmiştir.

Gıda endüstrisinde gıdaların fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik kontrolünü sağlamak amacıyla ısı işlemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek

sıcaklık ve ısı işlem sürelerinin duyuşal özellikler ve biyoaktif bileşikler üzerinde yarattığı olumsuz etkiler göz önüne alındığında, yeşil, ısı olmayan teknolojilere ağırlık verilmektedir (Reyes-Jurado ve ark., 2021; Bocker ve Silva 2022).

Bitkisel süt ikamelerinin üretimi sırasında, gıda endüstrisi için bir sorun olan son ürünün fiziksel stabilitesini koruyacak ve aynı zamanda fiziksel stabiliteyi artırmak için, kullanılan hidrokoloidler ve emülgatörler gibi katkı maddelerine olan ihtiyacı en aza indirebilecek, bir yöntemin uygulanması büyük önem taşımaktadır (Toro-Funes ve ark. 2014).

Bitkisel bazlı süt ikamelerine uygulanan yeni teknolojiler arasında ultrason, darbeli elektrik alanı, yüksek yoğunluklu ultrason ışınımı, ohmik ısıtma ve ultra yüksek ve yüksek basınçlı homojenizasyon yer almaktadır (Bocker ve Silva, 2022). Genellikle uygulanan yeni teknolojiler, mikroorganizmaları ve enzimleri etkisiz hale getirmeyi, parçacık boyutunu küçültmeyi ve fiziksel kararlılığı artırmak için viskoziteyi azaltmayı hedeflemektedir. Soya sütü ikamelerine ohmik ısıtma ve darbeli elektrik alanı uygulanmış ve ohmik ısıtmadan sonra protein agregasyonunda çok az artış olduğu belirtilmiştir. Bitkisel bazlı süt ikamelerine uygulanan yeni teknolojiler üzerine eksik çalışmalar, farklı uygulamaları karşılaştırmakla ilgilidir. Endüstriyel kullanımda en iyi seçeneği bulmak için çeşitli teknolojilerin karşılaştırılması gerekir. Ancak, genel olarak, besinsel ve duyuşal özelliklerin korunması nedeniyle, termal olmayan teknolojiler termal teknolojilere göre son ürün üzerinde daha olumlu etkilere sahiptir. Tablo 2.1'de yenilikçi teknolojilerin bitkisel bazlı süt dışı süt alternatifleri üzerindeki etkisi özetlenmektedir.

2.1.3.1 Ultrason (Ultrases, Sonikasyon)

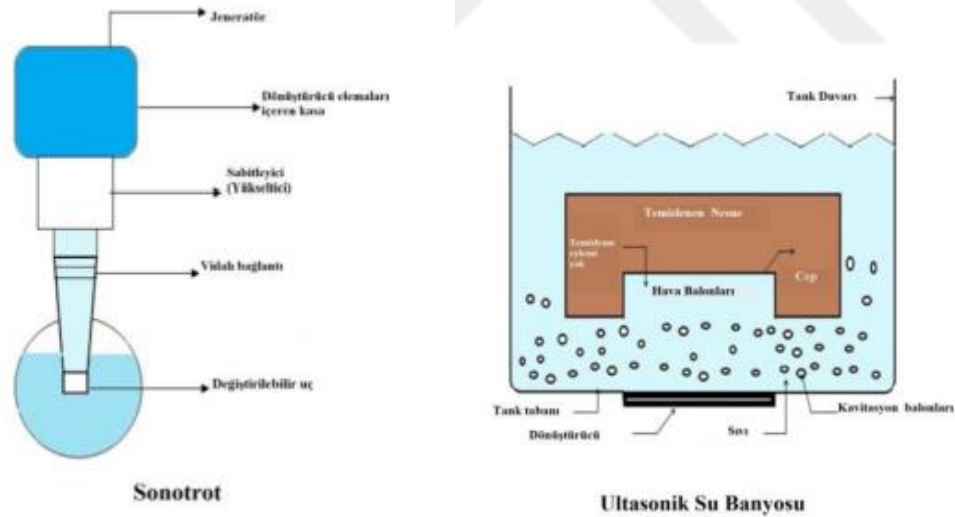
Ses kavramı ile genel olarak havada dolaşan ve insanlar tarafından duyulabilen titreşimler kastedilmektedir. Bununla birlikte, bilim adamları ve mühendisler ses için “Havadaki insanlar tarafından duyulamayan düşük ve yüksek frekanslı titreşimleri ve maddenin, gazların, sıvıların ve katıların tüm formlarında dolaşan titreşimleri içeren olgu” olarak daha geniş bir tanım kullanırlar. Ses, içinden geçtiği moleküllerin titreşim hareketini indükleyerek bir ortam aracılığıyla iletilir.

Ultrason, insan işitme aralığının (20 kHz) üzerinde bir frekansa sahip dalgalar biçimindeki akustik (ses) enerjidir. Ultrasonun 20 kHz üzerinde ve 100 MHz'e kadar ses olarak geniş sınıflandırması: güç ultrasonu (yüksek enerjili) ve teşhis ultrasonu (düşük enerjili) olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmaktadır.

Güç ultrasonu kabaca üç ana bölgeye ayrılabilir: düşük frekanslı, yüksek güçlü ultrason (20-100 kHz), yüksek frekanslı, orta güçlü ultrason (100 kHz-1 MHz) ve yüksek frekanslı, düşük güçlü ultrason (1-10 MHz) (Ngadi, 2010).

Ultrasonik dalgaların frekansı, dalga boyu, genliği ve gücü gibi faktörler ultrason uygulamasının etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca reaktör tasarımı ve ultrasonik dalganın uygulanma yöntemi de prosesin verimliliğini etkilemektedir. Ultrason iki farklı şekilde uygulanmaktadır ultrasonik banyo ve ultrasonik prob (Şekil 2.2).

Ultrasonik banyolar genellikle çözücülerden havayı uzaklaştırmak veya küçük cam eşyaları temizlemek için tercih edilmektedir.



Şekil 2. 2. Ultrason uygulama yöntemi

Ultrasonik banyolar; kimyasal reaksiyonların tekrarlanabilirliğinin düşük olması ve aktarılan enerji yoğunluğunun düşük olması nedeniyle gıda işleme akışlarında daha az kullanılır (Wen ve arki., 2018). Diğer yöntem ise ultrason problemleri (sonotrotlar) kullanılarak ultrasonik ölçüm yapılmasıdır. Uygulanan işlemdir. Bu yöntem

kapsamında; Numune daldırıldığı için, ses ötesi dalgaların şiddetinin daha küçük bir alana aktarılması mümkün olmaktadır. Bu yöntem ultrasonik banyolardan daha etkilidir ve küçük ölçekli üretimlerde daha iyi tercih edilmektedir (Chemat ve ark., 2011).

Ultrason, katılar, sıvılar veya gazlar arasında insan işitmesinin üst sınırından daha yüksek bir frekansta yayılan ses dalgalarını, mekanik titreşimleri ifade eder. Bu sınır kişiden kişiye değişebilse de ultrasonik frekans aralığının 20 kHz üzerindeki frekanslarda olduğu kabul edilir. Ultrason frekans aralığının üst sınırı, esas olarak ultrasonik sinyaller üretme yeteneği ile sınırlıdır (Alabdali, 2020).

Ultrason son zamanlarda gıda endüstrisinde gıdaların hem analizi hem de işlenmesi için büyük ilgi görmesine rağmen, II. Dünya Savaşı'ndan beri endüstride ultrasonik teknikler mevcuttur.

Tipik olarak ultrason uygulamaları yüksek ve düşük yoğunluklu uygulamalar olarak ikiye ayrılır. Düşük yoğunluklu uygulamalar, esas olarak, 1 W/cm²'nin altındaki enerjiler ve 100 kHz'in üzerindeki frekanslarla karakterize edilir. Ek olarak, ultrasonik dalga, yüksek yoğunluklu uygulamaların aksine, test edilen malzeme üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir.

Gıda endüstrisinde, düşük yoğunluklu ultrason, bir işlemi kontrol etmek veya farklı fizikokimyasal özellikler hakkında bilgi elde etmek için analitik bir teknik olarak kullanılmaktadır. Ultrason destekli ekstraksiyon, geleneksel teknolojilerin oluşturduğu dezavantajların giderilmesini sağlayan verimi artıran etkili bir alternatiftir. Ultrasonik patlama ve kavitasyon hücre duvarlarını parçalayarak katıdan sıvı faza kütle transferini artırır. Ayrıca, dokuların içinde, katı matrise çözücünün nüfuz etmesini artıran ve kütle transferini artıran mikrokannallar oluşturulur. Bu nedenle, ultrason destekli ekstraksiyon, bileşiklerin daha az zaman, enerji ve çözücü gereksinimiyle verimli bir şekilde geri kazanılmasına katkıda bulunur. Sıcaklığa duyarlı gıda ürünleri için düşük sıcaklıkta uygulanması da bir avantajdır (Bhargava ve ark., 2021; Chemat ve ark. 2011 ; Hongyu ve ark., 2000).

Birçok çalışmada ekstraksiyon, dispersiyon ve emülsiyonların stabilitesini artırmak amacıyla ultrason (US) tekniği kullanılmaktadır (Maghsoudlou ve ark. 2016). Yapılan bir çalışmada badem sütü formülasyonunun duyu değerlendirmesi açısından stabilizasyonu sağlamak amacıyla badem özütü eldesinde US tekniği kullanılarak stabilizasyon süreci fiziksel özellikler açısından optimize edilmiştir.

Ultrason, meyve özleri ve içeceklerin üretiminde de uygulanabilmektedir. Elma posasından meyve suyu çıkarılmasında, geleneksel bant vakum filtrasyonu nem içeriğinde %85'lik bir başlangıç değerinden %50'ye bir azalma sağlarken, elektroakustik teknoloji %38'e ulaşmaktadır.

Geleneksel termal pastörizasyon ve sterilizasyon, gıda ürünlerindeki mikroorganizmaları ve enzimleri etkisiz hale getirmek için kullanılan en yaygın tekniklerdir. Ne yazık ki, işlem yoğunlukları, süre ve sıcaklık da besin kaybına, istenmeyen tat oluşumuna ve gıda ürünlerinin işlevsel özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir (Cameron ve ark., 2009). Ultrason, kavitasyonun etkileri sayesinde bu tür işlemleri iyileştirmenin bir yöntemini sağlar. Ultrason, gıdaların sterilizasyon hızını artırabilir, böylece hem termal işlemin süresini ve yoğunluğunu, hem de ortaya çıkan hasarı azaltabilir. Ultrasonun ısı pastörizasyonuna göre avantajları arasında lezzet kaybının en aza indirilmesi, işlemin daha homojen olması ve önemli enerji tasarrufu sağlaması yer alır (Cameron ve ark., 2009).

Emülsifikasyon, hidrofobik biyoaktif bileşikler çeşitli gıda ürünlerine iletmenin önemli bir yoludur. Akustik emülsifikasyon, geleneksel yöntemlere göre şu iyileştirmeleri sunar:

- Üretilen emülsiyon, son derece dar bir parçacık boyutu dağılımına sahip alt mikron aralığında parçacıklara sahiptir.
- Emülsiyonlar daha kararlıdır.
- Emülsiyonu üretmek ve stabilize etmek için bir yüzey aktif madde eklenmesi gerekli değildir.
- Akustik dalgalarla bir emülsiyon üretmek için gereken enerji, geleneksel yöntemlerde gerekenden daha azdır (Chemat ve ark. 2011).

Gıda endüstrisinde ultrasonik emülsifikasyon, meyve suları, mayonez ve domates ketçabı gibi ürünlerde, sütün homojenizasyonunda ilgi görmektedir (Hongyu ve ark., 2000). Fındık türü, hidrokolloid konsantrasyonları ve ultrason uygulamalarının fındık bazlı sütlerin fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Numunelerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri ısı işlemler ve US uygulamalarından olumlu derecede etkilenmiştir (Şen ve Okur, 2023).

Yüksek yoğunluklu veya güçlü ultrason uygulamaları, 10 W/cm²'nin üzerindeki enerjiler ve 100 kHz'in altındaki frekansları kullanma eğilimindedir. Bu uygulamaların,

genel olarak yoğun kavitasyon oluşumu ile test edilen malzeme üzerinde bir etkisi olması amaçlanmıştır.

Azoubel ve ark., (2010) taze ve ultrasonik ön işleme tabi tutulmuş muz meyvesinin kurutma kinetiğini difüzyon modeli (Fick'in ikinci Xue yasası) ve ampirik iki parametre modeli (Page modeli) kullanarak incelemiş ve modellemiştir. Ön işlem 30 °C'de ultrasonik banyoda yapılmıştır. Kurutma işlemi yataklı kurutucuda iki farklı sıcaklıkta (50 ve 70 °C) ve 3.0 m/s hava hızında gerçekleştirilmiştir. Page ampirik modeli, kuruma eğrilerinin en iyi simülasyonunu sağlamıştır.

Cárcel ve ark., (2007) kuru madde taşınımındaki ultrasonik şiddetin elma ve sakaroz çözeltisinden oluşan bir sistem üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elma dilimleri 30°C'de 30 brix değerine sahip sakaroz çözeltisine daldırılmıştır. Üç tip uygulama yapılmış olup, bunlar statik, çalkalamalı ve ultrason uygulaması ile olarak sıralanabilmektedir. Ultrasonik ön işlemin elma kurutma işleminde oldukça efektif bir yöntem olduğu bildirilmiştir.

Ricce ve ark., (2016) 4 mm kalınlığındaki havuç dilimlerini kurutmadan önce, bir ultrasonik banyo (41 W/L; 25 kHz) kullanılarak 30 ve 60 dakika süreyle ön işleme tabi tutmuşlardır. Konvektif kurutma işlemi 40 ve 60 °C'de 2.0 m/s hava hızında, gerçekleştirilmiştir. Havuç dilimlerinin rehidrasyon sürecini tanımlamak için kurutma kinetiği ve Peleg modelini tanımlamak için Henderson & Pabis modeli kullanılmıştır. Sonuç olarak, kurutma ve rehidrasyon kinetiği üzerinde ultrasonik ön işlemin oldukça önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur.

Bhargava ve ark., (2021) yaptıkları çalışmada günümüzün en önemli sorunlarından olan gıda israfını azaltarak ve bozulmayı önlemek için ultrason teknolojisinin sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir yöntem olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Bu tahribatsız teknoloji, hızlı işlemler, gelişmiş işlem verimliliği, işlem adımlarının azaltılması, daha kaliteli ürün elde edilmesi ve ürün özelliklerinin (doku, besin değeri, organoleptik özellikler) korunması, iyileştirilmiş raf ömrü gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır.

Tao ve ark., (2021) böğürtlen örneklerini 20 kHz'lik bir ultrason probu ile birleştirilmiş, kendinden tasarımı bir kurutucuda kurutmuşlardır. Enerji tüketimi ve kalitesi deneysel olarak analiz edilirken, kurutma mekanizmasını keşfetmek için sıcaklığa bağlı yayılma, büzülme modeli ve girdi ultrasonik enerjileri dikkate alan kararsız ısı ve kütle transferi için sayısal bir model uygulanmıştır. Hem hava kaynaklı

ultrason hem de temas ultrasonu kurutma işlemini hızlandırmış olup, enerji tüketimini azaltmış ve tek başına havada kurutmaya kıyasla böğürtlen antosiyaninleri ve organik asitlerin tutulmasını arttırmıştır.

Xu ve ark., (2021) meyve ve sebze yıkama işleminde çok frekanslı güç ultrasonunun (MFPU) kullanımını denemişlerdir. MFPU'nun uygulanması, enzim ve substrat üzerinde modifikasyon yoluyla proteinin enzimolizini iyileştirmiştir. Ultrason uygulaması, meyve ve sebzelerin yüzeyindeki mikroorganizmaların ve pestisitlerin uzaklaştırılmasına da yardımcı olabilmektedir.

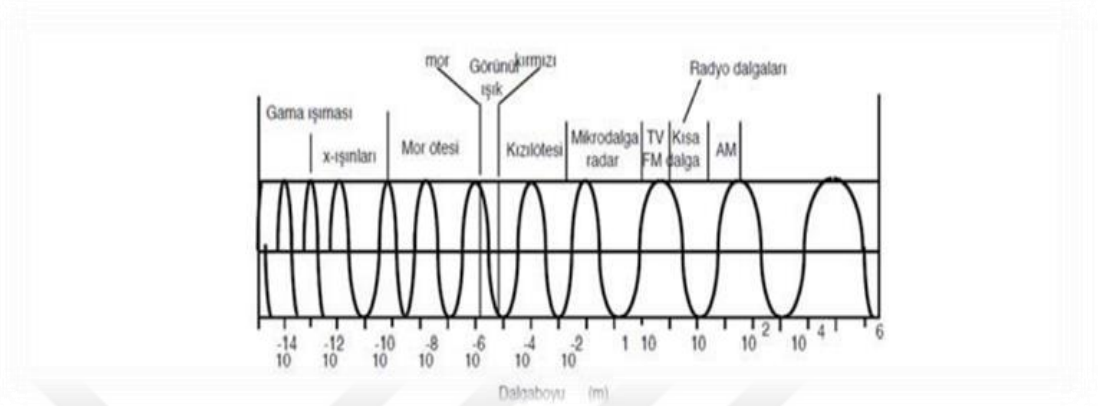
Ortuño ve ark. (2010) portakal kabuğu kurutulmasında ultrasonik gücü ön işlem olarak uygulamışlardır. Sonuçlar, portakal kabuğunun kurutma kinetiğinin, güçlü ultrason uygulamasıyla önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermiştir.

Topda ve ark., (2011) ozmotik kurutma işleminde ozmotik kurutmanın etkinliğini artırmak ve üründeki nem içeriğini daha düşük seviyelere indirmek amacıyla ultrason işlemini ön işlem olarak uygulamışlardır. Ultrason destekli ozmotik kurutma işlemi için 35 kHz frekansında çalışan ultrasonik banyo kullanılmıştır. Normal ozmotik kurutma ve ultrason destekli ozmotik kurutma işlemlerinin elmanın nem kaybı, şeker kazanımı ve ağırlık kaybı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, ultrason destekli ozmotik kurutma işleminin su kaybını ve şeker kazanımını olumlu etkilediğini göstermiştir.

2.1.3.2 Mikrodalga uygulaması

Mikrodalgaların gıda uygulamalarında kullanımına ilişkin ilk patent, 1945 yılında Percy Spencer tarafından alınmıştır (ABD Patenti No. 2495429). Son birkaç yılda, gıda malzemelerinin ısıtılması ve kurutulması için mikrodalga (MD) enerjisinin uygulanması giderek daha popüler hale gelmiştir. Ev tipi MD fırınlarının kullanımı popüler olmasına rağmen, gıdaların ticari ölçekte kurutulması ve işlenmesi için uygulanması hala gelişme aşamasındadır. MD ısıtma süreçleri, elektromanyetik (EM) alanların gıda malzemeleri ile etkileşimini içerir. Gıda malzemeleri alternatif bir EM alanına yerleştirildiğinde, gıdalarda bulunan yükler (serbest iyonlar ve elektrik dipolleri) yer değiştirir ve harici alternatif EM alanındaki değişiklikleri takip etmeye çalışır. Bu yer değiştirmeleri gerçekleştirmek için malzeme tarafından emilen EM enerjisinin bir kısmı ısı olarak dağılır (Süfer, 2018). MD'lar, dalga boyları 1 m–1 mm olan 300 MHz ila 300 GHz frekans aralığındaki EM dalgalarıdır (Şekil 2.3). MD aynı zamanda iletişim

için de kullanılmaktadır. Bu nedenle gıda uygulamaları için kullanılacak frekanslar ayrılmış durumdadır. Gıda uygulamaları için ayrılan ve en yaygın kullanılan iki MD frekansı 915 MHz ve 2.45 GHz'dir (Süfer, 2018).



Şekil 2. 3. Elektromanyetik dalga spektrumu (Özçelik, 2012).

Günümüzde mikrodalga ısıtma, gıda teknolojisinde temperleme, kurutma, pişirme, haşlama, fırınlama, kavurma, pastörizasyon, sterilizasyon ve ekstraksiyon gibi çeşitli işlemlerde kullanılmaktadır. Bitkisel içeceklerin işlenmesinde uygulanan yenilikçi termal teknolojilerden biri olan mikrodalga ısıtma, mikrobiyal yükü azaltarak ürünün raf ömrünü artıran, yüksek verimliliğe sahip alışılmadık bir tekniktir. Sistemin termal enerjisinin sağladığı mikrobisidal etkinin yanı sıra, mikrodalga işlemleri ürünler üzerinde termal olmayan başka etkileri de teşvik etmiştir (Costa ve ark., 2021).

Mikrodalgalar, bitki kaynaklarından ilgi duyulan bileşenlerin çıkarılmasına yardımcı olmak için gıda endüstrisinde yaygın olarak incelenmiştir. Mikrodalga ısıtma, daha yüksek ısı üretim oranları sunarak, yüksek sıcaklıkta kısa süreli işlemlere izin verir ve bu da termo-labil bileşikler için daha iyi korumaktadır. Ayrıca, daha hızlı başlatma ve kapatma sağlamakta ve buhar üretimi gerektirmemektedir (Zhang ve ark. 2006).

Vagadia ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, soya fasulyesi bazlı bir içeceğin (*Glycine max*) tripsin inhibisyonu ve protein sindirilebilirliği üzerinde geleneksel ve mikrodalga işleminin etkinliği değerlendirilmiştir. Bu çalışmada soya bazlı içeceğin işlenmesinde 70, 85 ve 100°C sıcaklıkları değerlendirilmiştir. Geleneksel işlemler 10, 20 ve 30 dakika boyunca gerçekleştirilmiş, mikrodalga işlemleri ise 2, 5 ve 8 dakika boyunca 2,45 GHz uygulanmıştır. Geleneksel işlem, soya içeceğinin proteinlerinde mikrodalga işlemine (%7) göre daha yüksek bir sindirilebilirlik

sağlamıştır (%11) (Vagadia ve ark. 2018). Mikrodalga uygulamasının soya okarasında bulunan hücre duvarı polisakkaritlerinin çözünürlüğünü artırmak için etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

Navarrete ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada uçucu yağ ekstraksiyonu için MD enerjisini kullanmıştır. Araştırmacılar uçucu yağ ekstraksiyonu için solvent kullanmaksızın MD enerjisinin yüksek enerji verimliliğine sahip hızlı bir yöntem olduğunu rapor etmişlerdir.

Dev ve ark. (2010) kabuklu yumurtaların pastörizasyonu için MD enerjisini kullanmışlar ve MD enerjisinin kabuklu yumurta pastörizasyonu için başarılı bir şekilde kullanılabilirliğini bildirmişlerdir. Kabuklu yumurtanın MD enerjisi ile sadece birkaç dakika içinde pastörizasyon sıcaklığına çıkarılabileceğini rapor etmişlerdir.

Ngöl ve Devres (2010) yaptıkları çalışmada üzümün kurutulmasında sıcak hava destekli MD kurutmanın oldukça etkili bir yöntem olabileceğini rapor etmişlerdir.

Çelen ve Kahveci (2013) elma dilimlerini kurutmak için MD enerjisini kullandıkları çalışmalarında elde ettikleri son üründe bazı fizikokimyasal özellikleri ve renk değişimlerini belirlemişlerdir. Çalışma sonunda MD gücünün artması ile birlikte elma dilimlerinin kurutma süresinin kısaldığı, enerji tüketiminin azaldığı ve renk kalitesinin en üst seviyede tutulabildiği bildirilmiştir.

2.1.4 Bitkisel sütlerin kurutulmasında kullanılan yöntemler

Kurutma veya dehidrasyon, farklı gıda ve tarım ürünlerini korumak için yüzyıllardır dünya çapında kullanılmaktadır. Şu anda kurutma işlemi, gıda muhafazasının ana prosedürlerinden biridir ve çok çeşitli gıda endüstrilerinde önemli bir temel işlemdir. Gıda dehidrasyonunun temel amacı, ürünün raf ömrünü uzatmak için suyu mikrobiyal bozulmayı en aza indirecek bir seviyeye düşürmektir. Stabiledeki bu artışa ek olarak, gıda maddelerinin ambalajlanması, taşınması, depolanması ve dağıtılması maliyetlerinin azaltılmasına da katkıda bulunan ağırlık ve hacimde önemli bir azalma sağlar. Kurutma sırasında, gıda malzemeleri doku, renk, tat ve besin değeri gibi bazı doğal nitelikleri etkileyebilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişikliklere uğrar. Bu nedenle, kurutmanın ikinci bir amacı, beslenme ve duyuşal açıdan iyi kalitede kurutulmuş gıdalar üretmek olmalıdır (Bruno, 2019).

Kurutucular, ısı sağlama yöntemine, kurutma ekipmanının türüne, ürünü taşıma yöntemine, beslemenin niteliğine ve durumuna, çalışma koşullarına ve kurutma süresine göre sınıflandırılabilir. Çok çeşitli malzeme özellikleri ve kurutulmuş gıda maddelerinin çeşitliliği nedeniyle gıda endüstrisinde birçok kurutucu türü kullanılmaktadır (Teruel ve ark., 2015).

Son yıllarda alternatif teknolojiler kullanılarak üretilen yüksek kaliteli ürünlere yönelik tüketici talebinin arttığı ve özellikle elektriksel işlemlerin alternatif minimal işleme teknolojisi olarak önem kazandığı görülmektedir (Al-Qudsi, 2019). Termal olmayan gıda işleme teknikleri ve bu tekniklerin hafif ısıl işlemle birleştirilmesi, ısıl işlemin olumsuz etkileri nedeniyle son yıllarda gıda endüstrisi tarafından özel ilgi görmektedir. Termal olmayan işlemlerin hafif ısıl işlemle kombinasyonu, azaltılmış işlem süreleri ve duyuşal ve fonksiyonel özelliklerde minimum değişim nedeniyle taze gıdanın besinsel ve duyuşal özelliklerinin neredeyse tamamen korunmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu teknolojiler aynı zamanda mevcut süreçleri iyileştirmenin yanı sıra yeni süreç seçenekleri geliştirme potansiyeli de sunar. Ultrason, kızılötesi ve mikrodalga yöntemler gibi termal olmayan gıda işleme teknikleri arasındadır (Baysal, 2011).

2.1.5.1 Kırınım pencereleli kurutma (KPK)

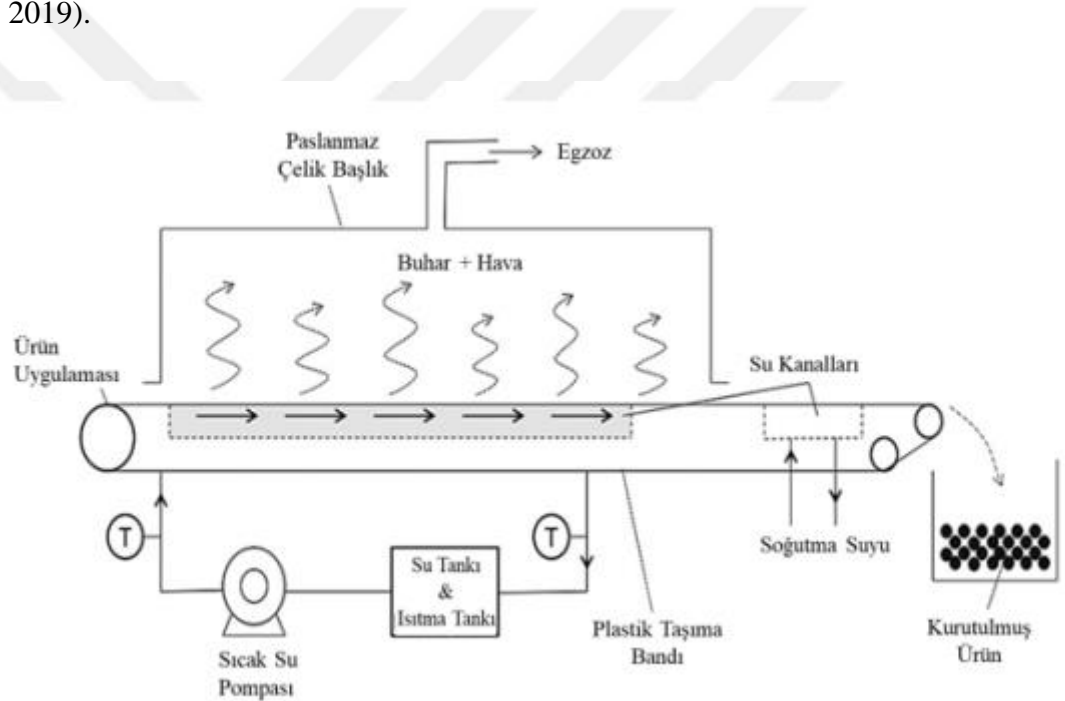
Kırınım pencereleli kurutma (KPK) teknolojisi MCD Technologies Inc. (Tacoma, Washington, ABD) tarafından geliştirilen yeni ve gelişmekte olan bir teknolojidir (Topuz ve ark., 2009)

KPK sıvı ve püre tipi gıdaların kurutulması için uygun bir kurutmadır. Ürün, dehidrasyonu sırasında ısı transfer ortamı ile doğrudan temas etmediğinden çapraz bulaşma olmamaktadır. Atmosferik basınç altında ve nispeten daha düşük sıcaklıklarda çalıştırılan teknik, nispeten düşük maliyetli bir kurutma için yeni bir olasılık olarak ortaya çıkmıştır. Isıya duyarlı gıdalar için uygundur. Bunun nedeni eş zamanlı evaporatif soğutma ve kondüktif ısı transferi uygulamasıdır (Tontul, 2017).

KPK, termal enerjiyi kurutulacak malzemeye taşımak için genellikle 95-97 °C 'de ve atmosfer basıncında dolaşan sıcak su kullanılmaktadır (Şekil 2.10). Sıcak sudan gelen termal enerji, kızılötesi radyasyona karşı nispeten şeffaf olan bir plastik arayüz aracılığıyla ıslak ürüne aktarılır. Gerçek ürün sıcaklığı genellikle 70 °C'nin altındadır.

Alt yüzeyi dolaşan sıcak su ile temas halindeyken hareket eden şeffaf plastik konveyör bant üzerine meyve suyu, püre ve süspansiyon içeren ürünler yayılır. Isıtılan su geri dönüştürülür ve yeniden kullanılır, böylece sistemin termal verimliliği iyileştirilir. Sıcak suyun ısı transfer ortamı olarak ve kaynama noktasının hemen altındaki sıcaklıklarda kullanılması, bu kurutma yöntemine özgü bir tasarım özelliğidir (Tontul, 2019).

KPK kurutma sırasında, ısı transferinin üç modu, yani iletim, konveksiyon ve radyasyon aktiftir. Proses suyu, yalıtımlı bir tank içinde buharla ısıtılır ve daha sonra termal enerjiyi plastik konveyöre aktarmak için sığ oluklarda dolaştırılır. Plastik konveyör çok ince olduğu için hemen altından akan suyun sıcaklığına ulaşır. Sıcak sudan gelen termal enerji, iletim ve radyasyonla plastik konveyör vasıtasıyla iletilir (Shende, 2019).



Şekil 2.4. KPK Sisteminin Şematik Diyagramı (Nindo, 2007).

Püre ve havanın ara yüzeyindeki üründen su buharlaşması, KPK kurutmanın enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturur. KPK kurutucunun termal verimliliği, bir buhar kondansatörü ve ısı dengesi prosedürü vasıtasıyla, proses suyu ve ürün sıcaklıkları çeşitli noktalarda ölçülerek belirlenir. Kurutucudan gelen proses suyu bir rezervuara geri aktığından ve boşa harcanmak yerine yeniden ısıtıldığından, KPK kurutma, diğer geleneksel kurutucularla karşılaştırıldığında çok iyi bir termal verim gösterir. Kurutucu kapasitesi verileri geniş bir aralıkta değişir çünkü birçok faktör enerji

denetimlerinin doğruluğunu etkiler. KPK sistemi söz konusu olduğunda, ürün kalınlığı ve biriktirme sırasındaki tutarlılık, kurutma işlemi için çok önemlidir. Kurutma işleminin etkili olabilmesi için ürün ince bir şekilde yayılmalı ve konveyör bant üzerine düzgün bir şekilde yapışmalıdır (Mahanti, 2021).

Baeghbalı ve Niakousari (2018) KPK yöntemini gıda içinde nispeten düşük bir sıcaklık ve kısa kuruma süreleri sağlayan nispeten yeni bir kurutma yöntemi olarak tanımlamışlardır. Bir KPK kurutucu, termal enerjiyi kurutulacak malzemelere iletmek için dolaşımdaki sıcak suyu kullanmaktadır. KPK ile ısıya duyarlı vitaminler korunmakta, gıdanın rengi ve fitokimyasal içeriği korunarak yüksek kaliteli ürünler üretilmektedir. Yapılan çalışmalarda KPK ile kurutulan gıdaların antioksidan aktivitesinin dondurularak kurutulmuş ürünlere kıyasla oldukça yakın olduğu belirtilirken, KPK ekipmanının kurulum maliyetinin dondurarak kurutucunun maliyetinin %30'undan az olduğu bildirilmiştir. Bunun yanı sıra KPK sisteminin enerji tüketiminin dondurarak kurutucunun enerji tüketiminden en az %50 daha az olduğu rapor edilmiştir.

Topuz ve ark. (2009) kırmızı biberi dondurarak, sıcak hava fırını ile ve KPK kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve son ürün kalite karakteristikleri ile renk özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar dondurularak kurutulmuş ve KPK ile kurutulmuş kırmızıbiber örneklerinin daha iyi yansıyan renk özellikleri gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Martínez (2012) yaptığı çalışmada 92 °C sıcaklığa sahip su kullandığı KPK sistemi ile mango dilimlerini (1 ve 2 mm kalınlıkta) kurutmuş ve kurutulan ürünlerin kuruma kinetiği ile bazı fizikokimyasal özelliklerini incelemiştir. Kontrol örneği olarak tepsili kurutucuda kurutulan örnekler kullanılmış olup, KPK ile kurutulan örneklerin tepsili kurutucuda kurutulan örneklere göre daha üstün fizikokimyasal özellikler sergiledi rapor edilmiştir. Ayrıca KPK ile 1 saatte tamamlanan kurutma işleminin tepsili kurutucuda 4 saatte tamamlandığı, bu nedenle KPK kurutma sisteminin yüksek enerji verimliliği sağlayabileceği bildirilmiştir.

Talukdarv ve Uppaluri (2021) 1 mm kalınlığındaki zerdeçal dilimlerinin KPK ile kurutulmasında Mylar film kalınlığı (125 ila 350 µm) ve su banyosu sıcaklığındaki (65 ila 95 °C) değişimin etkilerini belirlemiştir. Çalışma sonunda zerdeçalın kurutulması

için KPK kurutma yönteminin etkili bir şekilde kullanılabileceği bildirilirken, kurutma süresine film kalınlığındaki artışın negatif, su sıcaklığındaki artışın ise pozitif etki gösterdiği belirtilmiştir.

Tayel ve ark. (2012) kızılötesi destekli KPK kurutma sistemi ile soğan dilimleri kurutmuş olup, KPK kurutmanın soğan kurutma için etkinliğini belirlemiştir. Çalışma sonunda araştırmacılar, soğan dilimlerinin nem içeriklerini yaklaşık %13'e düşürebilmek için 50 dakika kurutmanın yeterli olduğunu bildirmişlerdir.

Castoldi ve ark. (2015) KPK kurutmanın domates püresi kurutulmasında kullanılabilirliğini incelemiştir. Farklı sıcaklık, farklı serme kalınlıkları ve farklı brix değerlerinde çalışan araştırmacılar, KPK kurutmanın domates püresi kurutmak için oldukça etkili bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

Hernández-carrión ve ark. (2020) yüksek oleik asit içeriğine sahip hurma yağı nano emülsiyonlarını kurutmak için KPK yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar pulsu yapıda kurumuş ürün üretebilmek için KPK kurutmanın oldukça mükemmel bir seçim olabileceğini, gıda ürünlerinin ısıya dayanıklılığı ve besin değerinin korunması açısından KPK kurutmanın önerilebileceğini rapor etmişlerdir.

Abonyi ve ark. (2002) KPK kurutma yöntemi ile çilek ve havuç pürelerini kurutup, son ürünlerin bazı fizikokimyasal özelliklerini belirlemiştir. KPK yöntemi ile kurutulan çilek pürelerindeki askorbik asit korunumunun (% 94) dondurarak kurutulan çilek pürelerindeki askorbik asit korunumu (% 93.6) ile kıyaslanabilir nitelikte olduğunu bildirmişlerdir. KPK ile kurutulan havuç pürelerindeki renk özelliklerinin ise taze ürüne oldukça yakın olduğu, KPK kurutmanın hem çilek hem de havuç püresi kurutulmasında etkili bir şekilde kullanılabileceği rapor edilmiştir.

2.1.5.2 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma, tarım ürünleri, et ürünleri, eczacılık ürünleri ve mikrobiyal kültür üretmek için yaygın olarak kullanılan yüksek katma değerli kurutma yöntemidir (Acar ve ark., 2019; Khampakool ve ark., 2019).

Dondurarak kurutma uygulaması hava ile kurutulanlara kıyasla iyi bir gözenek yapısına ve rehidrasyon kapasitesine sahip ürün elde edilmektedir. Ayrıca dondurarak

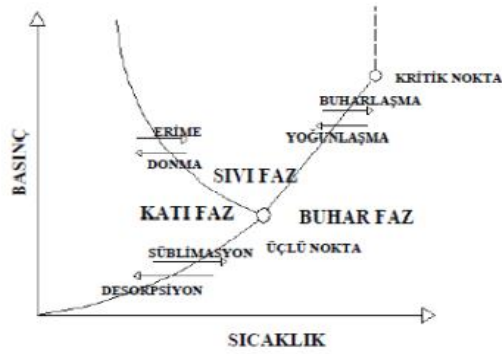
kurutma gıdaların renk ve besin maddelerinde minimum değişikliğe sebep olarak daha kaliteli ürünler üretilmesini sağlayan bir dehidrasyon yöntemidir (Shishegarha ve ark., 2007; Wang ve ark. 2007).

Dondurarak kurutma işlemi liyofilizasyon olarak da bilinmektedir. Liyofilizasyon vakumlanmış ortamda üründen önce donmuş suyun (serbest su) uzaklaştırılması (süblimasyon) daha sonrada donmamış suyun (bağlı su) uzaklaştırılması (desorpsiyon) işlemidir (Moraga ve ark., 2011). Dondurarak kurutma, gıdaların kalitesini korumak için her zaman en iyi kurutma işlemi olarak kabul edilmiştir.

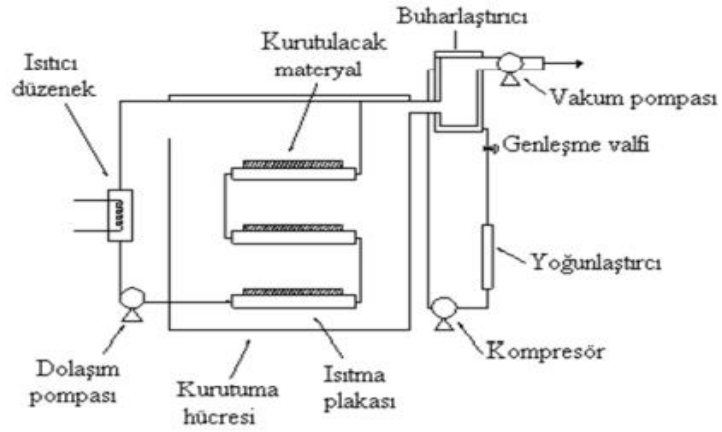
Liyofilizasyon işleminin en önemli kısmı süblimasyondur. Süblimleşme, bir üründeki donmuş (serbest) suyun erimeden doğrudan gaz fazına geçmesi işlemidir. Belirli koşullar altında, maddenin üç fazı bulunmaktadır. Bu fazların bir arada bulunduğu nokta üçlü noktadır (Şekil 2.11) (Taylor ve ark. 2007; Çelen, 2018). Maddeler katı halden buhar fazına iki farklı şekilde geçmektedir. Bunlardan ilki maddenin önce sıvı formuna daha sonra da gaz fazına geçmesi şeklindedir. İkincisi ise katının doğrudan gaz haline dönüşmesidir. Bir süblimleşme olayında gerekli olan basınç ve sıcaklık değerlerini belirlemek için suyun denge faz diyagramı kullanılabilir (Eren, 2016; Acar ve ark., 2019).

Dondurarak kurutma işleminin dört ana aşaması bulunmaktadır. Bunlar dondurma, vakum, süblimasyon ve yoğunlaştırmadır. Bu işlemlerin her biri toplam enerji tüketimini paylaşır ve süblimasyon işleminin toplam enerjisinin yarısını alırken, dondurma aşaması çok fazla enerji tüketmez. Vakum ve yoğunlaşma payları pratik olarak eşittir. Şekil 2.12. 'de dondurarak kurutma sistemi gösterilmektedir (Huang ve ark., 2009).

Dondurarak kurutma yöntemi, besin değerinde, tatta, renkte, aroma özelliklerinde daha az değişim olması ve yoğunluğun daha düşük olması nedeniyle geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha faydalıdır. Dondurarak kurutma yöntemi yüksek sıcaklıklarda çalışmadığından, biyolojik kökenli sıvıların veya büyük miktarda su içeren katıların uzun vadeli etkilerden, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarından, protein parçalanmasından ve diğer kimyasallardan daha az zarar göreceği şekilde kurutulmasını sağlar. Diğer geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla enzimatik reaksiyonlar azalır (Dobooğlu, 2012).



Şekil 2. 5. Denge faz diyagramı (üçlü nokta) (Çelen, 2018).



Şekil 2. 6. Dondurarak kurutma sistemi şeması (Çelen, 2018).

2.1.5 Bitkisel bazlı sütlerin (BBS) faydaları ve besinsel yönleri

Bitkisel üretim hayvansız olarak kabul edilir ve dolayısıyla hayvan refahını teşvik etme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Çevre sektöründe, süt ürünleri tarımdaki en büyük sera gazı üreticileri arasındadır (Clune ve ark., 2017). İnsanlar ayrıca sağlıkla ilgili çeşitli nedenlerden dolayı bitkisel bazlı süt ikamelerini tercih ederler. Örneğin hayvansal kaynaklı gıdaların fazla tüketilmesi kalp-damar hastalıklarına ve kolesterolün yükselmesine neden olur. Tahıllar, baklagiller, tohumlar ve kuruyemişler diyet lifi, vitaminler, mineraller ve antioksidanlar içerir. Ayrıca bu gıdalar fonksiyonel ve nutrasötik gıda sınıfına girmektedir (Chalupa-Krebzdak ve ark., 2018).

Bitkisel bazlı sütlerin içerikleri inek sütüne göre oldukça değişkendir. Bitkisel sütteki besin öğeleri ve şeker miktarı, üretim prosesine ve ürün formülasyonuna göre önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bitkisel bazlı içeceklerin farklı türleri arasında, pirinç ve susam sütleri en yüksek toplam karbonhidrat (>%15) ve kalori miktarına (>130 kalori) sahipken, kinoa ve soya sütleri yüksek protein (>%4) içermektedir.

Bitkisel bazlı sütler biyoaktif bileşikler açısından zengindir, ancak belirli biyoaktif bileşik, içecek türüne göre farklılık göstermektedir. Bu tür ürünlerde bulunan biyoaktif bileşikler arasında; kan şekeri ve insülin direncinin iyileştirilmesiyle ilişkili olan β -glukan (Schürch, 1989); kardiyovasküler durumu iyileştirebilen ve ilgili hastalıklarla ilişkili riski azaltabilen fitosteroller (Pineli ve ark. 2015); kardiyovasküler hastalıklar, kanser ve osteoporoz ilerlemesiyle ilgili riski azaltabilen izoflavonlar (Høst,2002); kan kolesterol seviyesini düşürme yeteneğine sahip lignanlar; ve örneğin kardiyovasküler hastalıkların gelişimine karşı yeterli gelişme ve korumada rol oynayan omega-3 yağ asitlerini (Namiki, 2007; Shahidi ve Ambigaipalan, 2018) içermektedir.

100 gr süt yaklaşık 64 kcal enerji verdiği için yüksek bir enerji kaynağıdır. Sütteki karbonhidratlar, yağlar ve proteinler bu enerjiyi sağlamakta ve ayrıca bitkisel bazlı içeceklerden daha yüksek mineral içeriği bulunmaktadır. Bu nedenle, güçlendirme adımı çoğu bitkisel bazlı içecek sürecinde gerçekleştirilmektedir (Aydar ve ark., 2020). Hayvansal süt yerine kullanılan bitkisel bazlı içecekler, yeterli bir besin dengesiyle birlikte oldukça enerjik bir bileşim sunmalıdır. Vanga ve Raghavan (2018) tarafından bildirildiği üzere, badem ve soya bazlı içecekler bu enerjik gereksinimi karşılamakta, hindistan cevizi bazlı içecekler yüksek doymuş yağ içeriği sunarken, pirinç bazlı içecek yüksek karbonhidrat içeriği göstermektedir (Vanga, Wang, ve Raghavan 2020).

Soya ve hindistan cevizi bazlı içeceklerde magnezyum, demir ve bakır iyonlarının yüksek oranda bulunduğu görülmüştür. Öte yandan fındık bazlı içecek iyi bir sodyum kaynağı olarak gösterilmektedir (McClements ve ark.2019).

Yeni bir gıdanın deneyimlenmesinde iyi veya tanıdık bir tat, besin bilgisi, sağlık yararları ve ürünün çevresel yönleri gibi birkaç kriter önemlidir. Tüm kriterler, halkın yeni bir gıdayı deneme isteğini artırma veya azaltma üzerinde etkilidir. Pazar analizlerine göre, bitkisel bazlı süt ikamesi tüketimi istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Bitkisel bazlı süt ikamelerinin duyu ve kalitesini geliştirmek, ürünün farkındalığını artırmada önemli bir faktördür.

2.2 Kek

Unlu mamuller, en çok tüketilen gıda grubu önemini korumaktadır. Bisküvi ve kek, unlu ürünlerin en büyük kısmını oluşturmaktadır. Kek üretiminde kullanılan temel bileşenler olan un, yumurta beyazı, sütte bulunan kuru maddeler ve tuz gibi bileşenler keke sertlik verirken; şeker, yumurta sarısı ve yağ kekin yapısını yumuşatmaktadır (Ergün, 2012).

Kek, kimyasal ve mekanik işlemlerle kabartılan, pek çok çeşidi bulunan ve severek tüketilen unlu mamüllerden biridir. Farklı çeşitlerin elde edilebilmesi, formülasyondaki bileşenlerin miktarının ayarlanmasıyla mümkündür. Bu nedenle, kullanılan bileşenlerin fonksiyonlarını anlamak, üretim sürecinin her aşamasında kalite sürekliliğinin sağlanabilmesi açısından büyük önem taşır (Noğay, 2014).

Kek formülasyonunda en yüksek orana sahip bileşen olan un, yalnızca kekin dokusunu belirlemekle kalmaz, aynı zamanda lezzet oluşumunda ve iç yapının şekillenmesinde temel bir rol oynar. Unun yapısında bulunan nişasta, serbest suyu bünyesine çekerek, pişirme sırasında uygun sıcaklıkta jelatinizasyon sürecini başlatır. Aynı zamanda unun içerdiği proteinlerin koagüle olması, kekin yapısal özelliklerinin gelişmesine katkı sağlar (Kahvecioğlu, 2022).

Nişastanın serbest suyu emmesi, kekin iç dokusunu etkileyerek su aktivitesini kontrol altında tutar. Bu durum, raf ömrü boyunca mikrobiyolojik bozulmayı önlemede önemli bir faktördür. Buğday nişastası, pişirme sırasında hamurun viskozitesini düzenleyerek, genişleyen gazların kabartma tozundan gelen karbondioksit, karıştırma ile hapsedilen hava ve eklenen sudan kaynaklanan buharın hamur içinde tutulmasını destekler. Böylece kekin yapısal bütünlüğünün korunmasına yardımcı olur. Ayrıca nişastanın yüzey alanının artması, hamurun stabilitesinin sağlanmasında etkili bir faktördür (Gómez ve ark., 2008). Kek üretiminde genellikle yumuşak buğdaydan elde edilen ve %7-9 protein ile yaklaşık %0,5 kül içeriğine sahip unlar tercih edilir (Al Dmoor, 2013). Ayrıca, düşük seviyede zedelenmiş nişasta içeren ve ince partikül boyutuna sahip unların kullanımı yaygındır.

Şeker, keklerde tatlılık sağlamanın yanı sıra, yüzey görünümünü iyileştirme, koruyuculuk, renk dengesi oluşturma, gözenek yapısını düzenleme, doku özelliklerini geliştirme, donma noktasını düşürme ve raf ömrünü uzatma gibi çeşitli işlemlere sahiptir (Uçar ve Hayta, 2012). Kekte kullanılan şekerin kristal formda olması, kekin daha sert bir yapı kazanmasına neden olurken, sıvı ya da şurup formunda kullanımı nemli bir doku oluşmasına katkıda bulunur (Çelik ve ark. 2007). Ayrıca, un proteinlerini seyreltme özelliği sayesinde kekin daha gevrek bir yapıya sahip olmasını sağlar (Baker ve Flatman, 2007). Şekerin türü ve miktarı, suyun tutulmasını etkileyerek nişastanın jelatinizasyon sıcaklığını artırır ve kekin yapısal gelişimi sırasında hamurdaki hava kabarcıklarının stabilitesini belirler. Şeker, serbest suyu bağlamak için nişasta ile rekabet halinde olup suyu emerek su aktivitesini düşürür. Bu durum, nişastanın daha yüksek sıcaklıkta jelatinize olmasına neden olarak kekin yapısal özelliklerini doğrudan etkiler (Baker ve Flatman, 2007; Senevirathne ve ark., 2010).

Kek yapımında önemli bir bileşen olan yumurta, yüksek besin değerine sahiptir. Yumurta; %8-11 oranında kabuk, %56-61 oranında yumurta beyazı ve %27-32 oranında yumurta sarısından oluşur. Taze yumurta sarısı %47-48 su, %16 protein, %32-35 yağ ve %1 karbonhidrat içerirken, yumurta beyazı %89 su, %10 protein ve %1 karbonhidrat içeriğine sahiptir (Turğay, 2023). Yumurta akı, unlu mamuller, kremalı pastalar ve et ürünleri gibi pek çok gıdada temel yapı sağlayıcı bileşen olarak kullanılır. Bu yaygın kullanım, yumurta akında bulunan ve kuru maddenin büyük kısmını oluşturan proteinlerin köpürme, koagülasyon ve jelleşme özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yumurta akı, bilinen en eski köpürme ve koagülasyon ajanlarından biri olarak kabul edilir (Bozdoğan, 2015). Yumurta sarısı, %16 protein, %32 yağ ve %49 su içeriği ile kek yapımında nemlendirici, yapı sağlayıcı ve gevrekleştirici etkiler oluşturur. Sarıda bulunan lesitin, su ve yağ arasındaki yüzey gerilimini azaltarak yağın su içerisinde dağılmasını kolaylaştırır ve emülsifiye edici özellik gösterir. Ayrıca, yumurta proteinleri kekin kabarmasına yardımcı olarak hacmini artırır ve daha kırılabilir bir yapı kazandırır. Yumurta proteinleri pişirme sırasında koagüle olarak jel formuna geçer ve kek içyapısının stabilitesini destekler. Bu özellik, son ürünün kalite niteliklerinin gelişmesine katkıda bulunur. Aynı zamanda, içerdiği proteinler sayesinde kekin renk ve lezzet profilinin iyileşmesine yardımcı olur (Noğay, 2014).

Kek formülasyonlarında yağ, gevrek bir doku oluşturmanın yanı sıra, çırpma işlemi sırasında hava kabarcıklarını sararak stabil kalmalarını sağlar ve böylece kekin hacmini artırır. Aynı zamanda, kabuk ve içyapı özelliklerini iyileştirir, nişastanın şişme oranını azaltır ve hamurun daha havadar bir yapı kazanmasına katkıda bulunur. Yağ, koku bileşenlerini taşıyarak kekin aroma profilini geliştirir, iç yapıyı yumuşatarak daha hoş bir doku kazandırır ve nem kaybını önleyerek ürünün tazeliğini korumasına yardımcı olur. Bu sayede, kekin raf ömrünü uzatırken, yapısal üniformite ve stabiliteyi de artırır. Pişirme sürecinde yağ, lipid ve amiloz arasında bir kompleks oluşturarak nişasta granülleri içinde suyun tutulmasını sağlar. Böylece, nişastanın jelatinizasyon sürecini destekleyerek kekin yapısal gelişimine katkıda bulunur(Ergün, 2012; Mercan, 1988) .

Kimyasal kabartıcılar, kekin karakteristik içyapısını oluşturmasında önemli bir rol oynar. Hamurun kabarması, kabartma tozlarının kimyasal tepkimeleri sonucunda ortaya çıkan karbondioksit gazının hamur içinde hapsolmesiyle sağlanır. Kabartma işlemi, kekin hafif ve gözenekli bir dokuya sahip olmasına katkıda bulunarak daha kolay sindirilebilir bir ürün elde edilmesini sağlar (Ergün, 2012).

Kek üretiminde süt ve süt ürünleri kullanıldığında hem besin değeri hem de lezzet artırılmaktadır. Süt, sıvı formda kullanıldığında nem sağlayıcı bir bileşen olurken, toz halinde kullanıldığında kekin içyapısına destek verir. Ancak, taze sütün kek yapımında kullanımı, kolay ekşime özelliği nedeniyle raf ömrünü kısıtlayabilmektedir. Bu nedenle, protein ve şeker içeriği sebebiyle kek üretiminde genellikle yağsız süt tozu tercih edilir. Yağsız süt tozu, kek hamurundaki hava kabarcıklarının boyutunu ve stabilitesini etkileyerek yapıyı iyileştirir. Ayrıca, pişirme sürecinde nem kaybını azaltarak kekin nemini korumasına yardımcı olur. Sütte bulunan laktoz, kabuk renginin oluşumunda rol oynarken, su tutma kapasitesini artırarak kekin yapısal özelliklerine katkıda bulunur (Çelik ve Kotancılar, 1998; Ergün, 2012; Dizlek, 2013).

Kek hamuru, sıvı fazdaki katı bileşenlerin bir emülsiyonu olup kekin kabarmasından sorumludur. Pişirme sırasında sıcaklığın artmasıyla nişasta jelatinleşmesi ve protein denatürasyonu meydana gelmekte ve hava gözenekleri genişleyerek gözenekli, yumuşak ve yarı sert bir kek elde edilmektedir (Olçay, 2019).

Yapılan bir çalışmada, badem sütü kullanılarak üretilen keklerin dokusunun yumuşak, nemli ve hafif olduğu tespit edilmiştir. Soya sütüyle yapılan bisküvilerde, protein içeriği sayesinde daha yoğun bir yapı elde edilmiştir. Tat açısından, şeker oranının optimize edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Yapılan çalışmada, hayvansal kaynaklı bileşenler kullanılmadan üretilen keklerin daha sağlıklı ve sürdürülebilir bir seçenek olabileceği ve kabul edilebilir duyu özellikler sergilediği bulunmuştur. Yüksek oleik asit içeren ayçiçek yağı bazlı bir jel emülsiyonun ve soya protein süspansiyonunun kullanımı, ürünlerin iyileştirilmesinde etkili olmuştur (Ansorena ve ark., 2023).

Yapılan çalışmada, soya ve hindistan cevizi sütü gibi bitkisel bazlı süt alternatiflerinin kek üretimindeki etkileri incelenmiştir. Soya sütü ile yapılan keklerin protein içeriğinin daha yüksek olduğu, hindistan cevizi sütü ile yapılanların ise daha yüksek yağ içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, hamur viskozitesinin kullanılan süt türüne bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir (Hler ve ark. 2023).

Yapılan bir çalışmada, kek üretiminde kullanılan yumurtanın %0, 25, 50 ve 75'ini soya ve acı bakladan elde edilen baklagil sütü ile değiştirerek düşük yumurtalı kek üretmek amaçlanmıştır. Baklagil sütünün farklı ikame oranlarıyla hazırlanan keklerin bazı fiziksel, kimyasal ve duyu özellikleri belirlenmiştir. Soya sütü içeren kekler, acı bakla sütü ikameli keklere kıyasla daha yüksek miktarda kül, yağ, toplam fenolik madde içeriği, antioksidan aktivite, Ca, K, Mg ve P vermiştir. Acı bakla sütü kullanılarak hazırlanan keklerin kabuk ve iç renk L^* ve b^* değerlerinin soya sütü kullanılanlara göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Kek formülasyonunda baklagil sütü oranının artırılması hacim indeksini düşürmüştü ve sertliğini artırmıştır (Aslan ve Bilgiçli, 2022).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bitkisel süt eldesinde hammadde olarak kullanılan yulaf, nohut ve badem Konya piyasasından temin edilmiştir. Bitkisel süt üretiminde kullanılan amilaz, fitaz ve proteaz enzimleri temin edilmiştir. Bitkisel sütlerin kalsiyum içeriğinin artırılması amacıyla kullanılan CaCl_2 Enka Süt Firmasından temin edilmiştir. Çalışma kapsamında kek üretiminde kullanılan buğday unu, şeker, yumurta, süt tozu, mısır nişastası, shortening, kabartma tozu, vanilya, tuz, Konya piyasasından, mono ve digliseridlerin diasetil tartarik asit esterleri (Datem) Gıda San. A.Ş.'den (Konya, Türkiye) temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1 Deneme deseni

Çalışma 3 aşamalı olarak yürütülmüştür. Birinci aşamada; bitkisel sütlere uygulanan 4 farklı işleme yöntemi (kontrol, ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntem) ile enzim ilavesine göre (enzimli ve enzimsiz) (yulaf sütü-alfa amilaz; nohut sütü-fitaz; badem sütü-proteaz) 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve 4 x 2 x 2 deneme desenine göre çalışma yulaf, badem ve nohut gibi 3 farklı bitkisel kaynaktan ayrı ayrı yürütülmüştür. 24 farklı bitkisel süt örneği içerisinde yapılan analizlerde üstün özellikler gösteren 3 farklı bitkisel kaynaktan 3 farklı yöntemle elde edilen örnekler seçilerek çalışmanın 2. aşamada kullanılmıştır.

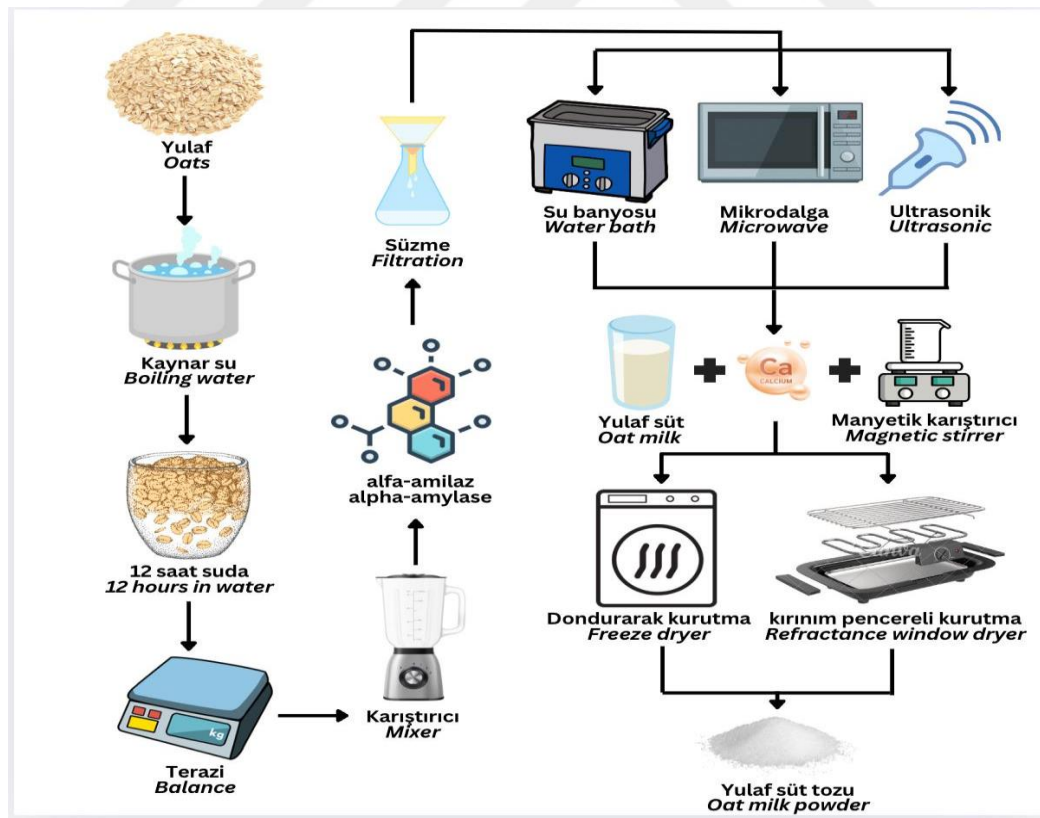
Çalışmanın ikinci aşamasında ise; üstün özellikler gösteren 3 farklı yöntemin uygulandığı süt örnekleri 2 farklı kurutma yöntemi (kırınım pencereli kurutma ve dondurarak kurutma) ile kurutularak toz haline getirilmiş, deneme yulaf, nohut ve bademden ayrı ayrı üretilmek üzere 3 x 2 x 2 deneme desenine göre yürütülmüştür. Elde edilen 18 farklı süt tozu içerisinde üstün özellikler gösteren 6 örnek seçilerek çalışmanın üçüncü aşamasında kullanılmıştır.

Çalışmanın üçüncü ise üstün özellikler gösteren 6 farklı bitkisel süt tozu ve inek sütü tozu (kontrol) ile karşılaştırılmak üzere 2 tekerrürlü olarak 7 x 2 deneme desenine göre yürütülerek kek üretiminde kullanılmıştır.

3.2.2. Bitkisel süt üretimi

3.2.2.1. Yulaf sütü üretimi

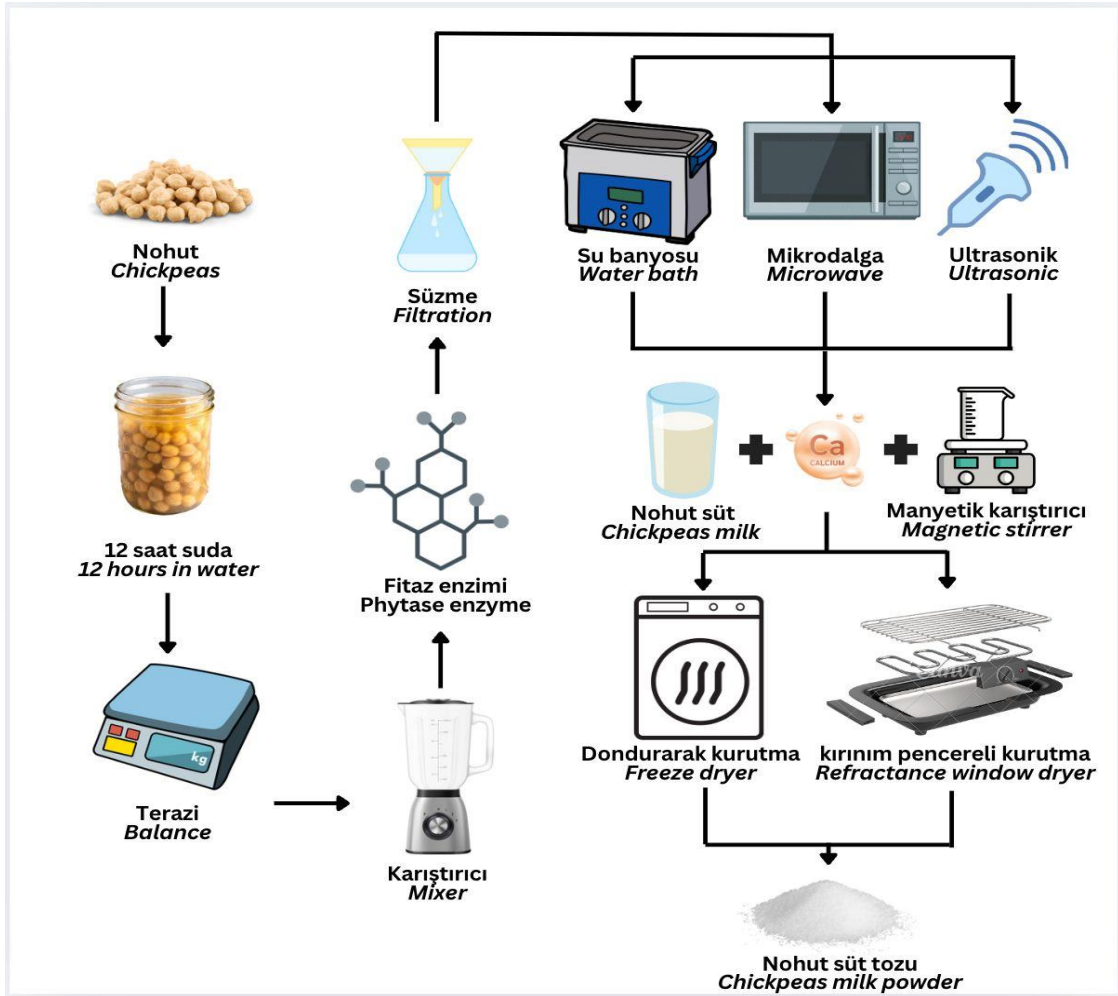
Tam yulaf tanesi (*Avena sativa*) ıslatılmadan önce 100°C'de 5 dakika kaynatılan suda (1:3) v/v temperlenmiş ve suyu süzülmüştür. Temperlenmiş yulaflar daha sonra 1:3 suda 12 saat süre ile ıslatılıp ve süzülmüştür. Islatılan yulaflar 1:6 oranında su ile 3 dakika boyunca parçalanmıştır. Daha sonra elde edilen yulaf bulamacı, yulaf sütü elde edilene kadar 150 µ kalınlığındaki tülbent süzgeç kullanılarak süzülmüş ve ekstrakte edilmiştir. Bu aşamada elde edilen yulaf sütü kontrol olarak kullanılmıştır. Yulaf sütünde alfa amilaz enzimi ilave edilmiş, bu enzimin ilavesiyle yulaf sütünde nişastanın parçalanmasıyla çözünürlük, kıvam ve işlenebilirliğin artırılması hedeflenmiştir. Enzim ilave edilen örneklere 0.75 mg/kg dozunda α -amilaz enzimi eklenerek su banyosunda 65°C'de 50 dakika aktive edilmiştir. Enzim inaktivasyonu 100°C'de 5 dakika su banyosunda tutularak gerçekleştirilmiştir (Deswal ve ark., 2014; Babolanmogadam ve ark., 2022). Enzim ilave edilen örneklerden elde edilen bulamaç 150 µ kalınlığındaki tülbent ile süzülerek ekstrakte edilmiştir (Ravindran ve Radhai, 2018).



Şekil 3. 1. Yulaf sütü tozu elde etme aşamaları

3.2.2.2 Nohut sütü üretimi

Temizlenmiş ve yıkanmış nohut taneleri 12 saat suda 1:3 bekletilip süzildikten sonra çıkarılarak tartılmıştır. Islatılmış nohuta, 1:1 oranında su ilave edilerek blendırda (3 hız) 3 dakika süreyle parçalanmış ve yumuşak bir hamur elde edinceye kadar karıştırılması sağlanmıştır. Elde edilen nohut ezmesine 1:6 oranında su eklenmiştir. Enzim ilave edilmeyen nohut sütü örneklerinde; elde edilen nohut bulamacı, nohut sütü elde edilene kadar 150 µ kalınlığındaki tülbent süzgeç kullanılarak süzölmüş ve ekstrakte edilmiştir. Bu aşamada elde edilen nohut sütü kontrol olarak kullanılmıştır. Nohut sütüne fitaz enzimi ilave edilmiştir. Fitaz enzimi ilavesiyle nohutta bulunan fitik asidin parçalanarak azaltılması ve mineral biyoyararlılığının artırılması hedeflenmiştir. Enzim ilave edilen örneklere ise; 0.05% w/w oranında fitaz enzimi eklenmiş 50°C'de 60 dakika aktive edilmiştir. Daha sonra su banyosu ile 90°C'de 15 dakika inaktive edilen bulamaç 150 µ kalınlığındaki tülbent ile süzölerek ekstrakte edilmiştir (Kishor ve ark., 2018; Raza ve ark., 2019; Rincon ve ark., 2020).

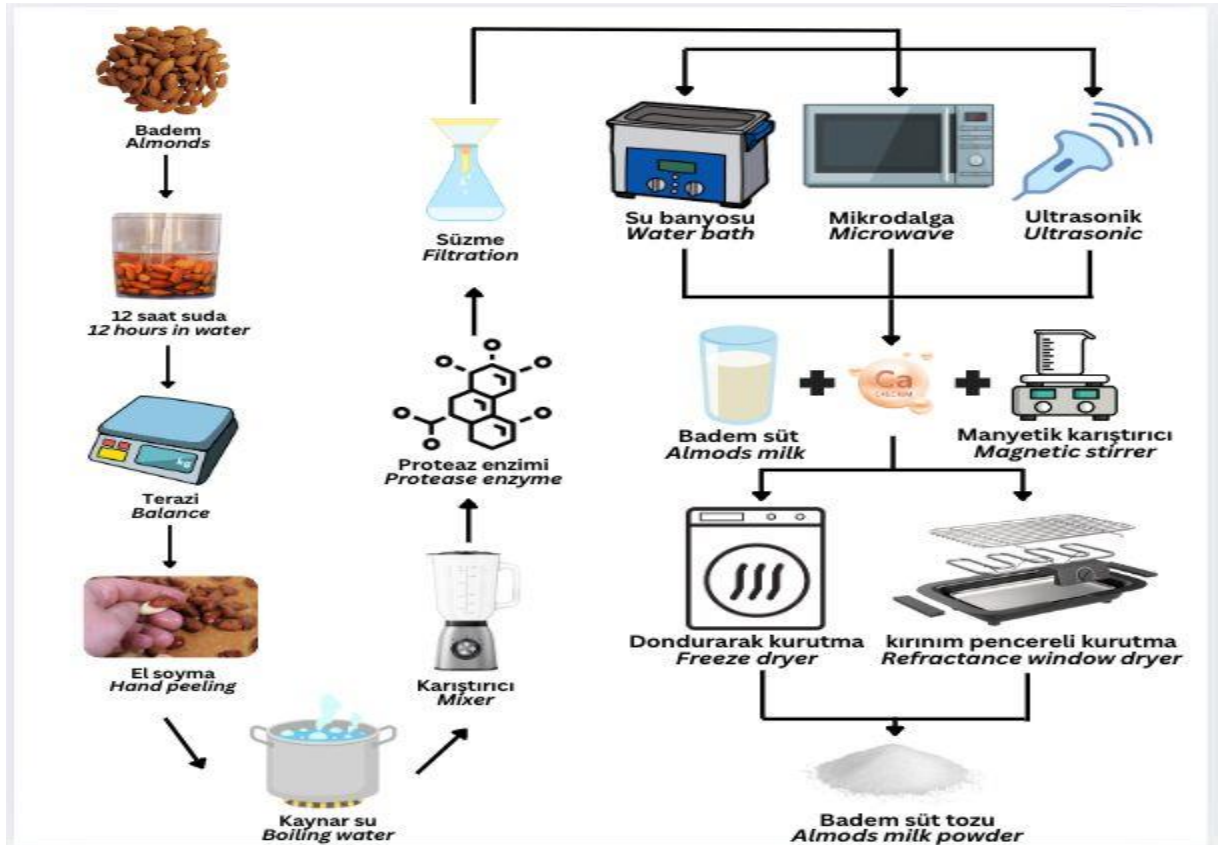


Şekil 3. 2. Nohut sütü tozu elde etme aşamaları

3.2.2.3 Badem sütü üretimi

Badem taneleri 12 saat boyunca 4°C'de 1:3 oranında su ile ıslatılmıştır. Islatılan bademler süzildükten sonra soğuk su ile durulanmış ve tekrar tartılmıştır. Islatılan bademlerin kabukları el ile uzaklaştırılmıştır. Daha sonra kabukları soyulan bademler 90°C su banyosunda 3 dakika haşlanmıştır. 1:9 oranında su eklenerek blender yardımıyla (3. seviye hızda) 3 dakika boyunca parçalanmıştır. Enzim ilave edilmeyen örnekler badem sütü elde edilene kadar 150 µ kalınlığındaki tülbent süzgeç kullanılarak süzülüş ve ekstrakte edilmiştir. Bu aşamada elde edilen badem sütü kontrol olarak kullanılmıştır. Badem sütüne proteaz enzimi ilave edilmiştir. Proteaz enzimi ilavesi ile badem sütünde bulunan proteinin daha fonksiyonel ve

sindirilebilir hale getirilmesi hedeflenmiştir. Proteaz enzimi ilave edilen örnekler ise; 50°C'de 0.5% w/w dozunda proteaz enzimi ilave edilerek 60 dakika boyunca aktive edilmiştir. Enzim inaktivasyonu su banyosu ile 100°C'de 5 dakika tutularak yapılmıştır (Almeida ve ark., 2019). Proteaz enzimi ilave edilen örneklerden elde edilen badem sütü bulamacı 150 µ kalınlığındaki tülbent ile süzülerek ekstrakte edilmiştir (Maghsoudlou ve ark., 2016).



Şekil 3. 3. Badem sütü tozu elde etme aşamaları

3.2.3 Süte uygulanan işlemler

3.2.3.1 Geleneksel yöntem

Geleneksel yöntemde yulaf, nohut ve badem sütü 100°C sıcaklıktaki su banyosunda 20 dk bekletilmiştir. Oda sıcaklığında soğutulan numuneler homojenizatör cihazı (IKA T25 digital, Staufen im Breisgau, Almanya) ile homojen

bir karışım haline getirilmiştir. Homojenizasyon 4 rpm de 3 dk süre ile uygulanmış ve örnekler 4°C buzdolabında saklanmıştır (Vagadia ve ark., 2018).

3.2.3.2 Mikrodalga yöntemi

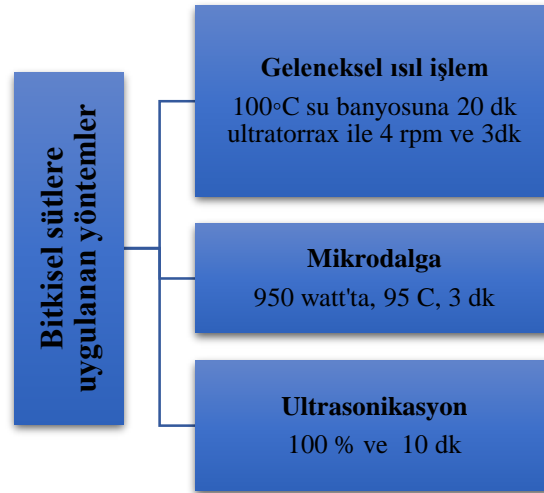
Mikrodalga yöntemi, 950 watt'ta 2.45 GHz frekans kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama, 3 dakika boyunca 95°C işleme sıcaklıklarında yürütülmüştür. İşlemden sonra, numuneler, geleneksel olarak işlenmiş numunelerle benzer şekilde sonraki analizlere kadar 4°C buzdolabında saklanmıştır (Vagadia ve ark., 2018; Costa ve ark., 2021).

3.2.3.3. Ultrason yöntemi

Elde edilen bitkisel sültere ultrason ön işlemleri uygulanmıştır. Ultrason parametreleri olarak; ultrasonik prob başlığı (20 kHz, 200 W - Bandelin UW 2200, Berlin, Almanya) aracılığıyla %100 ve 10 dakikalık bir süre boyunca 20 kHz'lik sabit bir frekans kullanılmış ve ultrason uygulamasına tabi tutulmuştur (Maghsoudlou ve ark. 2016).



Şekil 3. 4. Ultrason işlemleri



Şekil 3. 5. Bitkisel sütlere uygulanan yöntemler

Bitkisel süt numuneleri ve inek sütü numunelerinde öncelikle kalsiyum içerikleri belirlenmiş ve bitkisel süt numunelerinin kalsiyum eksikliğini gidermek için gereken kalsiyum klorür miktarları yulaf, nohut ve badem sütleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yulaf, nohut ve badem sütlerine sırasıyla 0.0044 g/100g; 0.0041g/100g ve 0.0036g/100g konsantrasyonda CaCl eklenmiş ve aynı koşullar altında 30 dakika manyetik karıştırıcı (ISOTEX, SH-4, Türkiye) kullanılarak karıtırılmıtır.

3.2.4 Bitkisel sütlerden süt tozu eldesinde uygulanan kurutma yöntemleri

3.2.4.1. Dondurarak kurutma yöntemi

Numuneler -80°C'de 12 saat boyunca dondurularak, -110°C kondenser sıcaklığına sahip liyofilizasyon cihazında (Scanvac Coolsafe, 110-4 model 4L hacim, Danimarka) dondurularak kurutulmuştur.

3.2.4.2. Kırınım pencereleli kurutma yöntemi

Sütün kurutulmasında 150*50 cm etkili kurutma alanına sahip, Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde inşa edilmiş, sürekli pilot ölçekli kırınım pencereleli kurutucu (KPK) kullanılmıştır. KPK kurutma banyosunda dolaşan su sıcaklığı 98°C'ye ayarlanmış ve süt numunesi, ayarlanabilir bir film aplikatörü kullanılarak 0.5-1 mm kalınlığında sabit bir film üzerinde eşit şekilde yayılmış ve 25-30

dakika kurutulmaya bırakılmıştır. Numune nem içeriği %8'in altına düştüğünde kurutma sonlandırılmıştır. Kurutma işlemi sonrası örnekler yüzeyden kazınarak toplanmış ve öğütülerek depolanmıştır (Tontul ve ark., 2018; Shende, 2019).

3.2.5. Bitkisel süt analizleri

3.2.5.1 pH tayini

Bitkisel süt numunelerinin pH değerleri dijital pH metre (Mettler Toledo Seven Compact S210) kullanılarak 25°C' de ölçülmüştür.

3.2.5.2 Suda çözünür kuru madde (Briks)

Numunelerin toplam çözünebilir madde miktarı AOAC (2000)'e göre oda sıcaklığında (25°C±1) refraktometre ile belirlenmiş ve Briks olarak ifade edilmiştir (Rybak-Chmielewska, 2003).

3.2.5.3 Stabilite (Kararlılık)

Stabiliteyi değerlendirmek üzere bitkisel süt numuneleri 100 mL' lik mezürlere doldurulmuş ve 5°C' de 8 saat depolanmıştır. Ardından, oluşan çökelti tabakası hacim olarak ölçülmüş ve ayrılma yüzdesi (v/v) hesaplanmıştır (Tholstrup Sejersen ve ark. 2007).

3.2.5.4 Katı parçacık sedimentasyonu

10 g örnek santrifüj tüpüne yerleştirilmiş 20 °C'de 10000rpm'de 10 dk boyunca santrifüj edilmiştir. Daha sonra süpernatant, protein çözünürlüğü testi için yeni bir santrifüj tüpüne aktarılmıştır. Her tüp için tüpte kalan kalıntı tartılmıştır ve katı parçacık sedimentasyonu (%) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{KPS \%} = \frac{W_{si} - W_{pr}}{W_{si}} * 100 \quad 3.1$$

Burada W_{si} numunenin başlangıç ağırlığını W_{pr} ise çökeltinin ağırlığını ifade etmektedir (Gul ve ark. 2017).

3.2.5.5. Protein çözünürlüğü

Numunelerin protein çözünürlüğü, katı parçacık sedimentasyonu testinde santrifüj sonrası elde edilen 2 mL süpernatant 2 mL Biuret reaktifi ile karıştırılıp 20 dakika bekletilmiş ve ardından 0.45 μ m PFTE şırınga filtrelerinden geçirilerek değerlendirilmiştir. Süzütünün absorbanası, bir spektrofotometre (Libra S60, Biochrom Ltd., Cambridge, İngiltere) kullanılarak Biuret reaktifine karşı 550 nm'de ölçülmüştür. Örneklerin protein çözünürlüğü standart bir sığır serum albümini (BSA) eğrisi kullanılarak belirlenmiş ve % protein çözünürlüğü olarak ifade edilmiştir (Şen ve Okur, 2023).

3.2.5.6. Renk

Bitkisel sütlerin renk değerleri, L^* [(0) siyah-(100) beyaz], a^* [(+) kırmızı- (-) yeşil] ve b^* değerleri cinsinden Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Nielsen, 2017). Doygunluk indeksi (SI) ve Hue angle (H^*) (Ton açısı) değerleri sırasıyla aşağıda belirtilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Chroma olarak da adlandırılan SI değerine göre, değer yükseldikçe örnek rengi daha parlak, değer azaldıkça ise örnek daha matlaşmaktadır. H^* değeri ton açısını derece cinsinden temsil etmektedir. $0^\circ + a^*$ eksenine (kırmızı), $90^\circ + b^*$ eksenine (sarı), $180^\circ - a^*$ eksenine (yeşil) ve $270^\circ - b^*$ eksenine (mavi) karşılık gelmektedir.

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad 3.2$$

$$H = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad 3.3$$

3.2.5.7. Mikro yapı

Tüm bitkisel süt örneklerinin mikro yapısının belirlenmesinde, 40x büyütme altında optik ters mikroskop (40X Mikroskop COIC Marka XJP-3A Optik Mikroskop) kullanılmıştır. Homojenize edilmiş bir damla örnek mikroskop yerleştirilmiş ve ardından bir slip ile kapatılmıştır. Tüm görüntüler her örnek türü için en az üç kez yakalanmıştır. Örneklerin görüntülerini yakalamak için mikroskobun görüntüleme yazılımı kullanılmıştır (Şen ve Okur, 2023).

3.2.5.8. Ekstraksiyon verimi

Bitkisel süt örneklerine ait ekstraksiyon verimi değerleri, süt hammaddesinin ağırlığı ve ekstrakte edilen süt miktarı esas alınarak eşitlik 4'e göre hesaplanmıştır (Varghese ve Pare 2019).

$$\text{Ekstraksiyon verimi} = \frac{W_s}{W_m} * 100 \quad 3.4$$

Burada W_s elde edilen sütün ağırlığı ve W_m giren süt hammaddesinin ağırlığıdır.

3.2.5.9. Duyusal değerlendirme

Süt örneklerinin duyusal analizi, 20-50 yaşları arasındaki lisansüstü öğrencileri ile öğretim üyelerinden oluşan 12 panelist tarafından gerçekleştirilmiştir. Panelistler süt örneklerini renk, tat, koku, görünüş, viskozite ve genel kabul edilebilirlik açısından 1-5 arasında (1-kötü, 3-kabul edilebilir ve 5-oldukça iyi) puanlamıştır.

3.2.6. Süt tozu analizleri

3.2.6.1. Yığın yoğunluğu, parçacık yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk

Toz numunelerin yığın, parçacık ve sıkıştırılmış yoğunlukları, Jinapong ve ark. (2008) yöntemine göre belirlenmiştir. Numunelerin yığın yoğunluğu (g/ml), 1g

numunenin 10 mL'lik mezürde karşılık geleceği hacim ölçülerek hesaplanmıştır. Numunenin sıkıştırılmış yoğunluğu (g/ml), 10 mL' lik mezüre tartılan 1 g numunenin düz bir yüzeye elle 100 defa vurularak son hacminin okunmasıyla belirlenmiştir. Numunenin parçacık yoğunluğunda (g/ml) ise 10 mL' lik kapaklı bir mezüre 1 g numune tartılmış ve üzerine 5 mL petrol eteri eklenmiştir. Çözelti tamamen karışana ve tüm parçacıklar ıslanana kadar mezürde çalkalanmıştır. Son olarak, mezürün duvarındaki parçacıkları yıkamak için yaklaşık 1 mL petrol eteri kullanılmıştır (Jinapong ve ark., 2008). Parçacık yoğunluğu Eşitlik 5' e göre hesaplanmıştır (Teunou ve ark., 1999).

$$\begin{aligned} & \text{Parçacık yoğunluğu (g/ml)} \\ & = \frac{\text{Toz ağırlık (g)}}{(\text{Petrol eter ve toplam toz hacmi (ml)}) - 6} \end{aligned} \quad 3.5$$

3.2.6.2 Hausner oranı ve Carr indeksi

Toz numunelerin akışkanlığı, sayısal olarak eşitlik 3.6 ve 3.7 kullanılarak Carr indeksi (CI) ve Hausner oranı (HR) değerleri ile hesaplanmıştır (Kaleem ve ark. 2021).

$$\begin{aligned} & \text{CI} \\ & = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{yığın}}}{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}} \end{aligned} \quad 3.6$$

$$\begin{aligned} & \text{H} \\ & = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{yığın}}} \end{aligned} \quad 3.7$$

3.2.6.3. Porozite

Porozite (ε), sıkıştırılmış yoğunluk ($\rho_{\text{sıkıştırılmış}}$) ve parçacık yoğunluğu ($\rho_{\text{parçacık}}$) değerleri kullanılarak eşitlik 8'ya göre hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{\text{Parçacık-sıkıştırılmış}}{\text{Parçacık}} \quad 3.8$$

3.2.6.4 Higroskopisite

Her birinden 1 g olacak şekilde ayrı ayrı cam kavanozlara alınmış bitkisel süt tozu örnekleri ortam bağıl neminin %79.5 olmasını sağlanmış potasyum nitratın doymuş tuz çözeltisi bulunan desikatörde (25°C) ve 1 hafta bekletilmiştir. 1 hafta sonra örnekler tartılarak süt tozlarının higroskopisitesi hesaplanmıştır.

$$\text{Higroskopisite}(\%) = \frac{\frac{S_i}{S_p} + S_c}{1 + \frac{S_i}{S_p}} \quad 3.9$$

Burada S_i numunelerin ağırlığındaki artış (g), S_p numunenin ağırlığı (g) ve S_c numunenin su içeriğidir (%) (Koç ve ark., 2012).

3.2.6.5. Fonksiyonel özellikler

Su absorpsiyonu ve yağ absorpsiyonu

Farklı şekilde işlenmiş bitkisel süt tozların su absorpsiyonu kapasitesi ve yağ absorpsiyonu kapasitesi değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. 1 g farklı şekilde işlenmiş süt tozu örnekleri 10 ml damıtılmış su veya rafine edilmiş ayçiçeği yağı ile karıştırılmış, 25°C'de 30 dakika tutulmuş ve $2.000 \times g$ 'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Su absorpsiyonu kapasitesi ve yağ absorpsiyonu kapasitesi değerleri, bitkisel süt tozların gramı başına emilen su veya yağ miktarı (g) olarak ifade edilmiştir.

Köpük kapasitesi

Köpük kapasitesi değerlerinin ölçümünde dereceli silindir içerisinde oda sıcaklığında 50 ml distile su ve 1 g numune ilave edilmiştir. Süspansiyon homojenizatör cihazı (IKA T25 digital, Staufen im Breisgau, Almanya) ile karıştırılmış ve köpürene kadar 5 dakika çırpılmıştır. 30 saniye sonrasındaki köpük hacmi, aşağıdaki formül kullanılarak köpük kapasitesi olarak ifade edilmiştir (Ertaş, 2021):

$$\text{Köpük Kapasitesi(\%)} = \frac{(\text{Çırpma sonrası hacim} - \text{Çırpma öncesi hacim})}{(\text{Çırpma öncesi hacim})} * 100 \quad \mathbf{3.10}$$

Emülsiyon kapasitesi

Emülsiyon kapasitesi değerleri belirlenirken çözelti (1:10 süt tozu: damıtılmış su oranı) 4.000 x g'de 20 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Bir karıştırıcıda eşit hacimlerde süpernatant ve ayçiçek yağı karıştırılmış ve düşük hız ayarında 5 dakika homojenize edilmiştir. Homojenize edilen karışım bir ölçüm silindirine aktarılmıştır. Emülsiyon kapasitesi (EC), emülsifiye edilmiş katmanın silindirdeki toplam içerik hacmine oranı % olarak ifade edilmiştir (Ertaş, 2021).

3.2.6.6 Renk tayini

Bitkisel süt tozlarının renk değerleri 3.2.5.6. başlığı altında anlatılan şekilde belirlenmiştir. Süt tozu örneklerinin renkleri beş ayrı noktadan renk ölçümü yapılarak, ortalamaları alınmıştır.

3.2.6.7 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FTIR)

FTIR spektroskopisi kullanılarak bitkisel süt tozlarının kimyasal yapıları karakterize edilmiştir. Kimyasal yapıların karakterizasyonunda FTIR (Thermo Scientific–Nicolet iS20 (CA, ABD) cihazı kullanılmıştır. Örneklerin FTIR analizlerinde, 2 cm⁻¹ çözünürlük, 4000-600 cm⁻¹ dalga boyu aralığında ve her spektrum için 1 cm/s tarama hızı ile okumalar yapılarak spektrum grafiği elde edilmiştir (Güner Özkan, 2017).

3.2.6.8 Zeta (ζ) potansiyel

Zeta potansiyeli ölçümleri bitkisel süt tozlarının konsantrasyonun 1:50 oranında saf su ile seyreltilmesinin ardından Zetasizer (Zetasizer 2000, Malvern Instruments) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 25°C'de geri saçılan elektronların dedektöre geliş açısı 173°C olacak şekilde ayarlanarak üç tekrarlı olarak yapılmıştır.

3.2.6.9 Partikül boyutu analizi

Bitkisel süt tozların ortalama partikül boyutu dağılımı, Malvern Mastersizer 3000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, İngiltere) cihazı kullanılarak lazer kırınımı ile ölçülmüştür. Örnekler “obscuration” değeri olan %10’a saf su içerisinde seyreltilmiştir. Ölçümler 5 okuma olarak 3 tekrar halinde yapılmıştır. Hacimsel ortalama çapını veren D4,3 değerleri, hacim/yüzey alanı ortalama çapını veren D3,2, ile parçacık ortalama boyutları, D10 ve D50 değerleri ile parçacık boyut dağılımları, span ve üniformluk değerleri belirlenmiştir (Gul ve ark. 2017).

3.2.6.10 Mikroskopik morfoloji

Numunenin nano yapısı bir alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) (Zeiss GeminiSEM 500, Jena, Germany) ile incelenmiştir. Numuneler bir püskürtmeli kaplayıcıda (Yapı Probu, West Chester, PA) altınla kaplanmış ve farklı büyütmelerde (250, 500, 1000 ve 5000×) fotoğraflanmıştır. Parçacık boyutları, cihazın yazılımıyla ölçülmüştür.



Şekil 3. 6. (A) kaplama aşaması (B) Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu

3.2.7 Kek üretimi

Kek üretiminde Çizelge 3.1’de belirtilen formülasyon kullanılmıştır. Yumurta ve şeker mikserde çırpılıp krema kıvamını alıncaya kadar karıştırılmış, shortening ve fruktoz şurubu eklenerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar çırpmaya devam edilmiştir. Daha sonra diğer tüm malzemeler karışıma eklenmiş ve tekrar çırpılmıştır. Bitkisel süt tozu ikameli kek üretiminde ise; normal süt tozu yerine

dondurularak kurutulmuş bitkisel süt tozlarından üstün özellikler gösteren örnekler seçilerek (Y-US, Y-MW, N-US, N-MW, B-US, B-MW) ikame olarak kullanılmıştır. Elde edilen kek hamuru eşit hacimlerde eşit boyuttaki kalıplara dökülmüş ve 160°C sıcaklıkta 50 dakika süreyle fırında (BEKO MF6, Türkiye) pişirilmiştir.

Çizelge 3. 1. Kek formülasyonu

Bileşen	Miktar (g)
Buğday unu	100
Şeker	75
Yumurta	60
Şortening	50
Kabartma Tozu	3
Tuz	0.2
Vanilya	1
Süt tozu	8
Datem	0.5
Ksantan gum	0.5
Su	35 (ml)

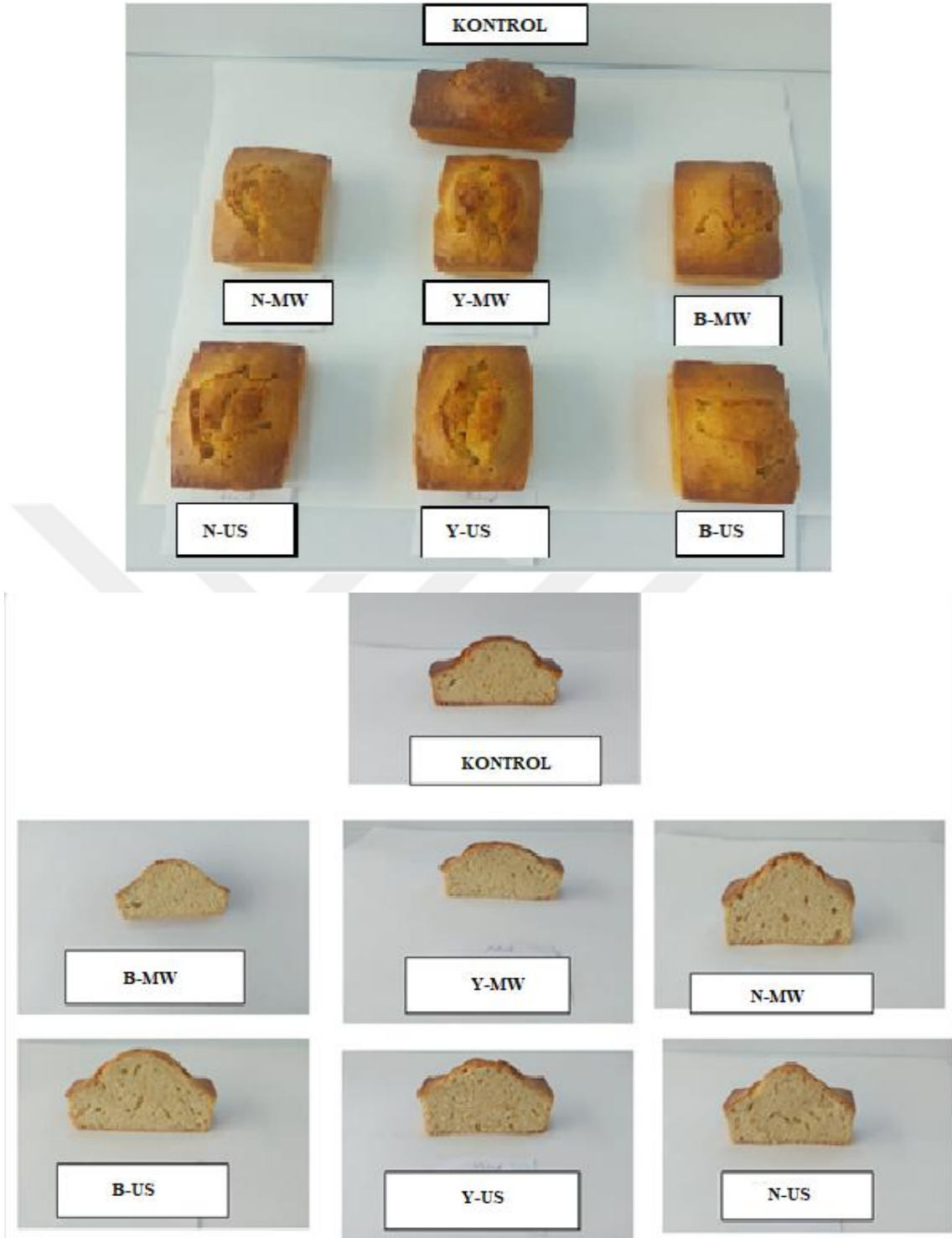
3.2.7.1. Kek örneklerinde gerçekleştirilen fiziksel analizler

pH tayini

Kek hamurlarının pH değerleri 25°C’ de dijital pH metre (Mettler Toledo Seven Compact S210) kullanılarak ölçülmüştür.

Özgül ağırlık

Kek hamurlarının özgül ağırlığı, hacmi bilinen bir kaptaki hamurun ağırlığının, aynı kaptaki suyun ağırlığına bölünmesi ile belirlenmiştir (Nurgül, 1988).

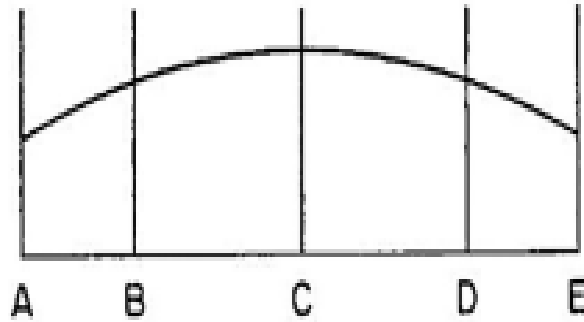


Şekil 3. 7. Farklı bitkisel süt tozları ikame edilen kek örnekleri

Kontrol: İnek sütü tozu ile üretilen kek örneği. **BUS:** Ultrason yöntemiyle üretilen badem sütü tozu ikame edilen kek örneği. **YUS:** Ultrason yöntemiyle üretilen yulaf sütü tozu ikame edilen kek örneği. **NUS:** Ultrason yöntemiyle üretilen nohut sütü tozu ikame edilen kek örneği. **BMW:** Mikrodalga yöntemiyle üretilen badem sütü tozu ikame edilen kek örneği. **YMW:** Mikrodalga yöntemiyle üretilen yulaf sütü tozu ikame edilen kek örneği. **NMW:** Mikrodalga yöntemiyle üretilen nohut sütü tozu ikame edilen kek örneği.

Hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri

Keklerin hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri AACC Metot 10-91'e göre milimetrik şablon kullanılarak ölçülmüştür (AACC, 1990). Kek örnekleri soğuduktan sonra dikey olarak ikiye kesilerek kesilen yüzeyler hizalanarak milimetrelilik kâğıt şablona yerleştirilmiş ve milimetrelilik şablondan B, C ve D yükseklikleri okunmuştur (Şekil.3.8).



Şekil 3. 8. Hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri formülü kullanılarak hesaplanması

$$\text{Hacim indeksi (mm)} = B + C + D$$

$$\text{Simetri indeksi (mm)} = 2C - B - D$$

$$\text{Tekdüzelik indeksi} = B - D \text{ (AACC, 2000).}$$

Renk

Kek örneklerinin renk değerleri 3.2.5.6. başlığı altında anlatılan şekilde belirlenmiştir. Kek örneklerinin kabuk ve iç renkleri beş ayrı noktadan renk ölçümü yapılarak, ortalamaları alınmıştır.

Tekstür

Kek örneklerinin sertlik ölçümleri, TA – XT Plus (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, İngiltere) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kek örneklerinde 1. ve 3. günde tekstür ölçümleri yapılmıştır. Kek örneklerinin sertlik ve esneklik ölçümleri için keklerin iç kısmından 2 x 2 x 2 cm boyutunda kesilmiş olan örnekler silindirik prob

(p/36 R) kullanılarak test edilmiştir. Analiz parametreleri ise ön test hızı 1.00 mm/sn, test hızı 1.00 mm/sm ve test sonrası hızı 1.00 mm/sn olarak uygulanmıştır.

3.2.7.2. Kek örneklerinde gerçekleştirilen kimyasal analizler

Nem tayini

Kek örneklerinin nem tayini AACC'nin Standart Metotlarından Metod 44-19 kullanılarak, 135°C' de 2.5 saat bekletilerek belirlenmiştir (AACC, 2000).

Kül tayini

Kül analizi AACC 08-01.01' e göre, örneklerdeki organik bileşiklerin 550°C' deki kül fırınında yakılmasıyla gerçekleştirilmiştir (AACC, 2000).

Ham protein tayini

Kjeldahl yöntemiyle AACC 46-12.01'ye göre yapılmıştır. Analizler kuru madde esasına göre hesaplanmıştır (AACC, 2000).

Ham yağ tayini

Yağ tayini kuru madde esasına göre yapılmış ve analizde AACC 30-25 yöntemi (AACC, 1990) kullanılmıştır (AACC, 2000).

Karbonhidrat tayini

Karbonhidrat değerleri, % CHO = 100 – (% nem + % protein + % yağ + % kül) formülü ile hesaplanmıştır (Karaağaoğlu, 2008).

Enerji

Hammaddelerin enerji değerleri, kimyasal analiz yoluyla elde edilen yağ, kül, protein ve karbonhidratları içeren besin bileşenlerinin kalori değerleri çarpılarak belirlenmiştir. Yağ 9, protein ve karbonhidrat 4 ile çarpılarak elde edilen değerler hesaplanmıştır.

3.2.7.3. Kek örneklerinde gerçekleştirilen besinsel analizler

3.2.7.3. 1 Toplam fenolik madde miktarı

Toplam fenolik madde analizi, Folin-Ciocalteu metodu kullanılarak spektrofotometrik olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm örnekler (4g), metanol çözeltisi (20mL) (HCl/metanol/su, 1:80:10, h/h) içerisinde 2 saat boyunca su banyosunda ($24\pm 1^\circ\text{C}$) çalkalanarak ekstrakte edilmiştir. Sonrasında örnekler, 3000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiş ve süpernatant toplam fenolik madde içeriğinin tespitinde kullanılmıştır. Analiz için 0.1 mL örnek, 7.9 mL saf su, 0.5 mL Folin-Ciocaltaeu reaktifi (%10, su ile) ve 1.5 mL sodyum karbonat çözeltisi (%20, su ile) deney tüpünde karıştırılmış ve 2 saat boyunca oda sıcaklığında ($24\pm 1^\circ\text{C}$) karanlık bir ortamda inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda 760 nm'de spektrofotometrede (Hitachi-U1800, Japonya) çözeltilerin absorbans değerleri okunmuştur. Toplam fenolik madde miktarı mgGAE/g cinsinden hesaplanmıştır (Gamez-Meza ve ark., 1999).

3.2.7.3. 2 Antioksidan aktivite

Örneklerin antioksidan kapasitesi, bir serbest radikal olan DPPH'in örnekte bulunan antioksidan maddeler tarafından yok edilmesi prensibine göre yapılan DPPH radikal indirgeme aktivitesine göre gerçekleştirilmiştir (Hesam, Balali, ve Tehrani 2012).

3.2.7.3. 3 Fitik asit

Örnekler HCl çözeltisi ile ekstrakte edilerek demir III çözeltisi ile çöktürülmüştür. Serum kısmında kalan demir miktarı spektrofotometrik olarak (Libra S60, Biochrom

Ltd., Cambridge, İngiltere) 519 nm dalga boyunda belirlenmiş ve sonuçlar mg/100 g cinsinden fitik asit miktarı hesaplanmıştır (Haug ve Lantzsch,1983).

3.2.7.3.4 Mineral madde miktarı

Mineral madde analizi için yaklaşık 0.5 g kuru örnek 10 mL HNO₃ + H₂SO₄ kullanılarak yaş yakma metoduyla yakılmıştır. Elde edilmiş süzüklerde mineral madde içerikleri ICP-AES cihazında (Vista Series, Varian International, AG, İsviçre) tayin edilmiştir .

3.2.7.4. Duyusal değerlendirme

Kek örneklerinin duyusal analizi, Gıda Mühendisliği bölümündeki lisansüstü öğrenciler arasından 15 kişi ile gerçekleştirilmiştir. Pişirilmiş kek örnekleri renk, tat, koku, görünüş, gözenek yapısı, çiğnenebilirlik ve genel beğeni özellikleri bakımından 5'lik hedonik skalaya (5 Puan: Çok iyi; 4 Puan: İyi; 3 Puan: Kabul edilebilir; 2 Puan: Yeterli değil; 1 Puan: Kötü) göre değerlendirilmiştir.

3.2.7.5. İstatistiksel analizler

Araştırma sonucunda elde edilmiş veriler JUMP istatistik paket programında (SAS Institute Inc., Cary, NC, ABD) varyans ve çoklu karşılaştırma testi ile %5 önem seviyesinde karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları tablolar halinde özetlenmiştir. Önemli ve anlamlı bulunan interaksiyonlar şekiller üzerinde gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Bitkisel Süt Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

4.1.1 pH

pH, bir madde içerisindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritmasıdır. pH ölçümleri, sütün kalitesinin tesbitinden, işlenmesinden ve hatta son şeklini alana kadar, özellikle gelişmiş ülkelerde, yaygın bir şekilde kullanılmakta ve sütün kalitesini ölçmede önemli bir kriter olarak görülmektedir (Kosikowski, 1982; Tüziner, 1990). Ayrıca pH ve titrasyon asitliği gibi değişkenlerin belirlenmesi gıdalardaki mikroorganizmaların çoğalmasıyla ilişkili önemli faktörlerdir. Özellikle pH, mikroorganizmaların oluşumu ve dağılımı üzerine etkili olup, daha az asidik gıdalar (pH > 4.5) küf ve mayalara ek olarak patojenik mikroorganizmaların gelişimine daha duyarlıdır (Rincon ve ark., 2020; Jin ve Kirk, 2018).

Bitkisel sütlere ait pH sonuçları Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin pH değerleri 5.03 – 5.85 arasında; ortalama 5.26 ± 0.36 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin pH değerleri 5.11 – 6.03 arasında; badem sütü örneklerinin pH değerleri 5.43-6.20 arasında ortalama 5.74 ± 0.30 olarak bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü örneklerinin pH değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi ve yöntemler açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü örneklerinin pH değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.5).

Varyans analiz sonuçları badem sütü örneklerinin pH değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.6).

Çizelge 4. 1. Yulaf sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait sonuçlar¹

Enzim İlavesi	Yöntemler	pH	SÇKM ² (%)	Stabilite (%)	KPS ³ (%)	Protein çözünürlüğü (%)
Amilaz enzimli	Kontrol	5.85±0.02	3.36±0.06	81.50±2.10	33.89±0.46	92.49±2.70
	Ultrason	5.03±0.01	4.60±0.07	79.50±0.71	24.13±0.85	32.66±0.14
	Mikrodalga	5.06±0.01	4.10±0.01	96.50±2.12	10.88±0.65	5.59±0.27
	Geleneksel	5.05±0.04	3.88±0.03	90.35±0.35	14.56±0.31	4.05±0.27
Enzimsiz	Kontrol	5.85±0.02	3.32±0.02	96.45±0.46	33.89±0.46	92.49±2.72
	Ultrason	5.08±0.02	3.42±0.01	64.68±0.23	35.79±0.88	76.88±0.27
	Mikrodalga	5.10±0.01	3.75±0.07	83.55±0.46	28.57±2.48	82.85±2.72
	Geleneksel	5.06±0.02	4.03±0.01	60.48±1.14	1.34±0.24	20.23±1.36
Min-Maks Ortalama±std		5.03 – 5.85	3.32 – 4.60	60.48 – 96.50	1.34 – 35.79	4.05 – 92.49
		5.26±0.36	3.81±0.44	81.63±13.41	22.88±12.65	50.91±39.05

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 2. Nohut sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait sonuçlar¹

Enzim İlavesi	Yöntemler	pH	SÇKM ² (%)	Stabilite (%)	KPS ³ (%)	Protein çözünürlüğü (%)
Fitaz Enzimli	Kontrol	5.67±0.01	3.85±0.10	15.50±0.10	24.90±0.47	31.31±0.68
	Ultrason	5.65±0.01	5.45±0.07	99.50±0.35	30.29±1.36	35.45±0.82
	Mikrodalga	5.56±0.02	4.35±0.10	76.00±0.35	24.11±0.69	30.06±0.27
	Geleneksel	5.55±0.01	4.25±0.11	77.50±0.35	18.31±0.57	31.31±0.68
Enzimsiz	Kontrol	6.03±0.01	3.85±0.07	15.50±0.1	41.10±0.48	31.31±0.68
	Ultrason	5.11±0.01	3.85±0.07	31.00±0.00	33.38±1.46	24.76±0.95
	Mikrodalga	5.17±0.03	3.75±0.07	51.50±0.71	27.77±0.93	28.90±0.82
	Geleneksel	5.12±0.01	3.9±0.14	99.70±0.00	33.47±1.00	23.60±0.41
Minumum-Maksimum Ortalama±std		5.11- 6.03	3.75–5.45	15.50–99.7	18.31– 41.10	23.60–35.45
		5.48±0.33	4.16±0.56	58.31±35.00	29.17±7.01	29.59±3.84

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 3. Badem sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait sonuçlar¹

Enzim İlavesi	Yöntemler	pH	SÇKM ² (%)	Stabilite (%)	KPS ³ (%)	Protein çözünürlüğü (%)
Proteaz Enzimli	Kontrol	6.2±0.00	8.75±0.21	99.50±0.71	61.87±0.05	95.38 ±1.36
	Ultrason	5.43±0.00	4.75±0.07	98.05±0.10	59.24±0.80	87.67 ± 1.36
	Mikrodalga	5.61±0.00	3.74±0.05	96.50±2.10	42.30±0.28	56.17±0.41
	Geleneksel	5.62±0.00	4.05±0.07	99.90±0.10	42.88±0.12	81.89 ± 4.09
Enzimsiz	Kontrol	6.21±0.01	8.90±0.01	99.90±0.14	61.75±0.12	95.38 ±1.36
	Ultrason	5.49±0.01	5.25±0.21	99.95±0.07	56.44±0.26	45.47±0.27
	Mikrodalga	5.68±0.01	3.95±0.07	99.95±0.07	44.08±0.09	53.47±0.41
	Geleneksel	5.65±0.01	4.39±0.01	99.45±0.78	43.86±0.07	82.85±2.72
Minumum-Maksimum Ortalama±std		5.43-6.20	3.74 - 8.90	96.50 – 99.95	42.30 -	45.47- 95.38
		5.74±.30	5.47±2.12	99.15±1.24	61.87	74.79 ±1.32

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. ²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 4 Yulaf sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	pH		SÇKM ² (%)		Stabilite (%)		KPS ³ (%)		Protein çözünürlüğü (%)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Enzim İlavesi (A)	1	0.00	17.39**	0.581	314.42**	455.50	337.66**	65.12	83.06**	4738.25	1377.76**
Yöntemler (B)	3	1.87	2573.73**	1.238	223.31**	1016.12	251.08**	1616.90	687.39**	13165.90	1276.10**
AxB	3	0.001	2.23 ^{ns}	1.032	186.04**	1047.25	258.77**	558.82	237.57**	334.29	558.82**
Hata		0.001		7		9.44		5.48		24.07	

¹*p<0.05 düzeyinde önemli. **p<0.01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz. ²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 5 Nohut sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	pH		SÇKM ² (%)		Stabilite (%)		KPS ³ (%)		Protein çözünürlüğü (%)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Enzim İlavesi (A)	1	0.2475	1200.03**	1.56	291.66**	945.56	15129**	362.99	363.57**	96.28	181.36 **
Yöntemler (B)	3	0.7328	1184.35**	1.28	197.44**	10443.18	55697**	1.81	0.6046 ^{ns}	79.35	49.82 **
AxB	3	0.506	819.10**	1.29	79.95**	5439.68	29011.67**	322.16	107.55**	32.10	20.15 *
Hata		0.001		0.03		0.062		6.98		3.71	

¹*p<0.05 düzeyinde önemli. **p<0.01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz. ²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 6 Badem sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	pH		SÇKM ² (%)		Stabilite (%)		KPS ³ (%)		Protein çözünürlüğü (%)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Enzim İlavesi (A)	1	0.00	56.00**	0.360	31.31**	7.0225	8.7197*	0.005	0.0583 ^{ns}	482.68	128.32**
Yöntemler (B)	3	1.25	3658.95**	62.68	1817.53**	5.825	2.4109 ^{ns}	1126.20	3889.74**	3791.09	335.95**
AxB	3	0.00	7.583**	0.0728	2.1123 ^{ns}	8.8525	3.6640 ^{ns}	11.956	41.2958**	1306.37	115.76**
Hata		0.000		0.046		5.63		0.675		8.00	

¹*p<0.05 düzeyinde önemli. **p<0.01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz. ²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 7 Yulaf sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	pH	SÇKM ² (%)	Stabilite (%)	KPS ³ (%)	Protein çözünürlüğü(%)
Enzim İlavesi						
Amilaz Enzimli	8	5.23 ^b	4.00 ^a	86.96 ^a	24.90 ^a	33.69 ^b
Enzimsiz	8	5.26 ^a	3.62 ^b	76.29 ^b	20.86 ^b	68.11 ^a
Yöntemler						
Kontrol	4	5.84 ^a	3.33 ^b	88.97 ^a	33.89 ^a	92.48 ^a
Ultrason	4	5.05 ^{bc}	4.01 ^a	72.09 ^c	29.96 ^b	54.77 ^b
Mikrodalga	4	5.07 ^b	3.97 ^a	90.02 ^a	19.72 ^c	44.21 ^c
Geleneksel	4	5.03 ^c	3.95 ^a	75.41 ^b	7.95 ^c	12.13 ^d

¹Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p<0.05).

²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 8 Nohut sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	pH	SÇKM ² (%)	Stabilite (%)	KPS ³ (%)	Protein çözünürlüğü(%)
Enzim İlavesi						
Fitaz Enzimli	8	5.60 ^a	4.46 ^a	64.75 ^a	33.93 ^a	32.04 ^a
Enzimsiz	8	5.35 ^b	3.83 ^b	49.37 ^b	24.40 ^b	27.14 ^b
Yöntemler						
Kontrol	4	5.85 ^a	4.62 ^a	15.00 ^d	29.70 ^a	31.31 ^b
Ultrason	4	5.38 ^b	4.05 ^b	65.50 ^b	29.14 ^a	28.03 ^c
Mikrodalga	4	5.36 ^{bc}	4.05 ^b	63.75 ^c	29.03 ^a	32.20 ^a
Geleneksel	4	5.33 ^c	3.87 ^c	84.00 ^a	28.78 ^a	28.03 ^b

¹Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p<0.05).

²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4. 9 Badem sütü örneklerinin pH, SÇKM, stabilite, katı parçacık sedimantasyonu ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	pH	SÇKM ² (%)	Stabilite (%)	KPS ³ (%)	Protein çözünürlüğü(%)
Enzim İlavesi						
Proteaz Enzimli	8	5.71 ^b	5.32 ^b	98.48 ^b	51.57 ^a	80.27 ^a
Enzimsiz	8	5.75 ^a	5.62 ^a	99.81 ^a	51.53 ^b	69.29 ^b
Yöntemler						
Kontrol	4	6.2 ^a	8.82 ^a	99.70 ^a	61.80 ^a	95.38 ^a
Ultrason	4	5.46 ^c	5.00 ^b	99.00 ^a	57.83 ^b	66.57 ^c
Mikrodalga	4	5.64 ^b	3.84 ^d	98.22 ^a	43.18 ^c	54.82 ^d
Geleneksel	4	5.64 ^b	4.22 ^c	99.67 ^a	43.37 ^c	82.37 ^b

¹Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p<0.05).

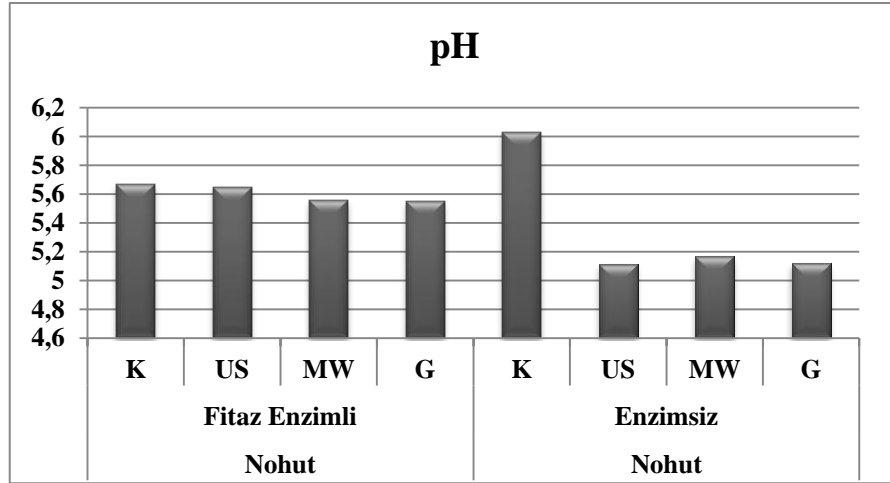
²SÇKM: Suda çözünür kuru madde ³KPS: Katı parçacık sedimantasyonu

Çizelge 4.7’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları yulaf sütü amilaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük pH değerleri verdiği görülmüştür. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek pH değerlerinin kontrol örneğinde tespit edilmiş ve geleneksel yöntemle üretilen süt örneklerinde ise en düşük pH değerleri gözlenmiştir.

Nişasta genellikle suda çözünmeyen, polisakkarit yapıda bir bileşen olup, çözüldüğünde pH’sı nötr veya hafif alkalidir. Hidroliz edilmedikçe serbest hidrojen iyonu (H^+) üretmez. Amilaz enziminin etkisi ile parçalanarak glikoz üniteleri oluşturur. Glikoz ise bir monosakkarit olup suda çözüldüğünde hafif asidik bir pH sergileyebilir. Bunun nedeni, glikozun çözeltideki yapı değişikliklerinin ve serbest H^+ iyonlarının, çözeltinin pH’sını etkilemesi olduğu düşünülmektedir (Aydogdu, Mahony, ve McCarthy, 2023).

Çizelge 4.8’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü fitaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek pH değerleri verdiği görülmüştür. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek pH değerleri nohut sütü örneğinde olduğu gibi kontrol örneğinde tespit edilmiş, geleneksel yöntemle üretilen süt örneklerinde ise en düşük pH değerleri belirlenmiştir.

Fitaz enziminin (phytase) nohut sütü gibi bitki bazlı gıdalarda pH üzerindeki etkisi, fitik asidin yıkımıyla ilişkilidir. Fitik asit, genellikle nohut gibi baklagillerde bulunan ve mineralleri bağlayarak biyo-yararlanımlarını azaltan bir bileşiktir. Fitazın etkisi; fitik asidi parçalayarak inositol ve fosfat gruplarına ayrıştırır. Bu işlem sırasında genellikle daha asidik bir ortam oluşabilir, çünkü serbest bırakılan fosfat grupları protonlarla reaksiyona girer. Bunun sonucunda pH azalabilir (Reddy, Sathe, ve Salunkhe, 1982; Goyal ve ark. 2022).



Şekil 4. 1. Nohut sütü örneklerinin pH değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu;

K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Şekil 4.1.’de verilen nohut sütü örneklerinin pH değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu görülmektedir. Fitaz enzimli nohut sütü örneklerinde pH değerlerinin genel olarak enzim ilavesiz örneklere kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle kontrol grubundaki enzimli örneklerin pH değeri en yüksek seviyedeysen, enzim ilavesiz ultrason yöntemiyle işlenen örneklerin en düşük pH değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bitkisel sütlerin geleneksel yöntemlerle işlenmesi genellikle ısıtma ve pastörizasyon gibi süreçleri içerir. Bu yöntemlerin pH üzerinde etkisi sınırlı olmakla birlikte, yüksek sıcaklıkta uzun süreli ısıl işlemler pH değerinde hafif bir düşüşe neden olabilir. Bunun nedeni, proteinlerin denatürasyonu ve bazı asidik bileşiklerin açığa çıkması olarak sayılabilir. Geleneksel yöntemlerle elde edilen sütlerde daha düşük pH değerlerinin sebebinin bu olgu olduğu düşünülmektedir (Wang ve ark. 2020).

Çizelge 4.9’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü proteaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük pH değerleri verdiği bulunmuştur. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek pH değerlerinin kontrol örneğinde belirlenmiş, ultrason yöntemiyle üretilen süt örneklerinde ise en düşük pH değerleri gözlenmiştir. Mikrodalga ve geleneksel yöntemle üretilen badem sütü örnekleri istatistiki olarak benzer pH değerleri vermiştir.

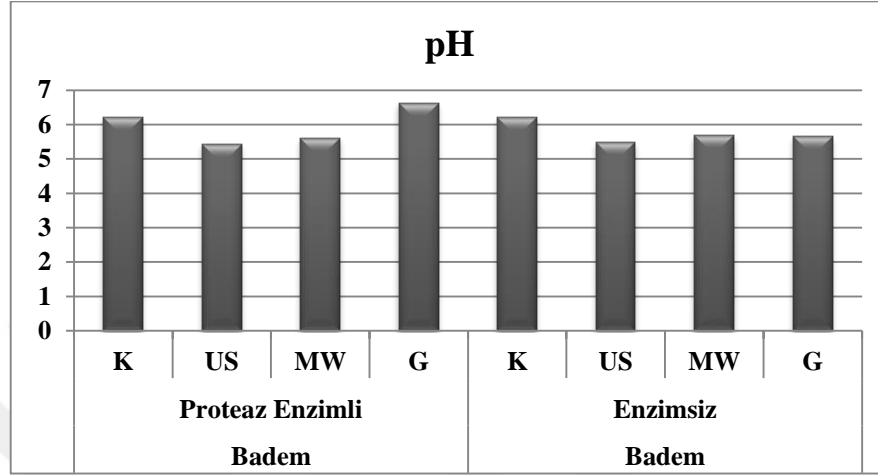
Proteaz enzimi, proteinleri parçalayarak serbest amino asitler açığa çıkarabilir; bu durum, ortamdaki pH'yi düşürebilir. Ayrıca, kullanılan enzimin tipi, süte eklenme süreci ve işleme koşulları (sıcaklık, süre vb.) pH üzerindeki değişimleri etkileyen faktörlerdendir (Yao ark. 2022).

Ultrasonik işlemin pH üzerindeki etkisi, genellikle işlem parametrelerine (frekans, enerji yoğunluğu, işlem süresi) bağlıdır. Bu, kavitasyonun neden olduğu proteinlerin yapı değişikliklerinden kaynaklanabilir (Kubo ve ark., 2021). Öte yandan, işlem süresi ve yoğunluğu artırıldığında fenolik bileşiklerin serbest kalması sonucu pH'da hafif bir düşüş de gözlemlenmektedir.

Şekil 4.2.'de, badem sütü örneklerinin pH değerlerini enzim ilavesi ve farklı işleme yöntemleri (kontrol, ultrason, mikrodalga, geleneksel) altında karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Enzim ilavesi, badem sütü örneklerinin pH değerlerini etkilemektedir. Özellikle geleneksel yöntemde (G), enzim ilavesi pH değerini önemli ölçüde artırmıştır. Uygulanan ultrason (US) yöntemi, hem enzimli hem de enzimsiz badem sütü örneklerinde en düşük pH değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Kontrol (K) örneklerinin pH değerleri, hem enzimli hem de enzimsiz gruplarda benzerdir. Proteaz enzimleri, proteinleri parçalayarak badem sütündeki protein yapısını değiştirebilir ve bu da pH değerini etkileyebilir. Ultrason ve mikrodalga gibi yöntemler, badem sütündeki bileşenlerin etkileşimini değiştirebilir ve bu da pH değerini etkileyebilir. Geleneksel yöntem, enzim ilavesiyle pH değerini önemli ölçüde artırmıştır, bu da geleneksel yöntemin enzim aktivitesini artırdığını gösterebilir. Wang ve ark (2020) çalışmasında soya sütü üretiminde geleneksel pastörizasyon sonrası pH değerinde genellikle 0.1-0.2 birimlik bir azalma gözlemlenmiştir.

Bitkisel süt örnekleri arasında gözlemlenen pH farklılıkları, öncelikle kullanılan hammaddenin kimyasal bileşimi ve içerdiği organik asit, protein ve mineral düzeylerinden kaynaklanmaktadır. Yulaf sütü, içerdiği çözünür lifler ve doğal asitlik düzeyi nedeniyle genellikle daha düşük pH değerlerine sahipken; nohut sütü, daha nötr bir bileşime sahip olup, nispeten daha yüksek pH değerleri göstermektedir. Badem sütü ise, düşük karbonhidrat ve yüksek yağ içeriği ile birlikte daha az organik asit içermesi nedeniyle en yüksek ortalama pH değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte, uygulanan enzim işlemleri (amilaz, fitaz, proteaz) ve işleme yöntemleri (kontrol, ultrason, mikrodalga, geleneksel) de sütlerin pH'ını etkileyerek bu farklılığın oluşmasına katkı

sağlamıştır. Enzimlerin bazıları proteinleri ya da fosfat bileşenlerini parçalayarak ortamın asitliğini değiştirebilmekte, ısı ya da fiziksel işlemler ise bileşenlerin çözünürlüğünü artırarak pH üzerinde dolaylı etkiler yaratabilmektedir.



Şekil 4. 2. Badem sütü örneklerinin pH değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu

K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Cheng ve ark. (2022) yaptığı bir çalışmada, ultrason uygulanan badem sütü, geleneksel yönteme kıyasla daha düşük bir pH düşüşü göstermiştir. Bu durumun, ultrasonun daha az termal etkiye sahip olmasından kaynaklı olduğu rapor edilmiştir.

Zhu ve ark. (2021) mikrodalga işlemi uygulanan yulaf sütü üretiminde pH değerindeki değişikliklerin geleneksel yöntemlere göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Bu, mikrodalganın kısa işlem süresi nedeniyle daha az bileşik parçalanmasına neden olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Kumar ve ark., (2020) mikrodalga işleminin genellikle geleneksel ısı işlemlere göre daha az pH değişimi ile ilişkilendirmişlerdir.

4.1.2 Suda çözünür kuru madde miktarı (Briks)

Bitkisel sütlere ait suda çözünür kuru madde (Briks) sonuçları Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin brix değerleri % 3.32 – 4.60 arasında; ortalama % 3.81±0.44 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin briks değerleri % 3.75–

5.45 arasında ortalama % 4.16 ± 0.56 ; ve badem sütü örneklerinin briks değerleri % $3.74 - 8.90$ arasında ortalama % 5.47 ± 2.12 olarak bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü örneklerinin briks değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü örneklerinin briks değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.5).

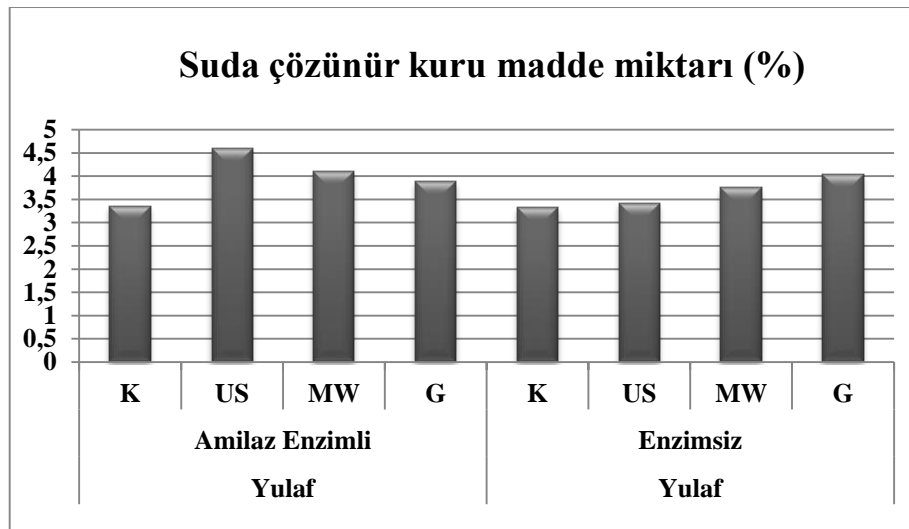
Varyans analiz sonuçları badem sütü örneklerinin briks değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi ve yöntemler istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüş, “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü amilaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek briks değerleri verdiği görülmüştür. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en düşük briks kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Bunu deskriptif olarak mikrodalga, ultrason, ve geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü örneklerinin briks değerleri takip etmiştir. Enzimler, yulafın nişasta ve diğer bileşenlerini parçalayarak daha iyi bir çözünürlük ve tat profili sağlar. Özellikle amilaz gibi nişastayı parçalayan enzimler kullanıldığında, yulafın içindeki kompleks karbonhidratlar daha basit şekerlere dönüşür. Bu durum, yulaf sütünün daha tatlı bir tada sahip olmasına ve kıvamının geliştirilmesine ve verimin artmasına katkı sağlar.

Şekil 4.3.’de, Yulaf sütü örneklerinin SÇKM değerleri üzerinde etkili “*Enzim İlavesi x Yöntemler*” interaksiyonu verilmektedir. Yulaf sütü örneklerinde farklı işleme yöntemlerinin (Kontrol, geleneksel, mikrodalga, ultrason) α amilaz enzimli ve enzimsiz uygulamalarda suda çözünür kuru madde değerleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. α amilaz enzimi ilavesiz yulaf sütü örneklerinde en düşük Brix değerleri kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Enzimli yulaf örneklerinde ise Brix değerlerinde bir artış görülmekte, özellikle ultrason yöntemiyle işlenen örnek en yüksek Brix değerine

ulaşmaktadır. Mikrodalga yöntemi de α amilaz enzimli yulaf sütünde Brix değerini enzimsiz örneğe kıyasla artırmış, ancak ultrason kadar belirgin bir artış sağlamamıştır. Enzim kullanımı ve ultrason işlemi birlikte uygulandığında en yüksek Brix değerine ulaşıldığı söylenebilir. Bu durum, enzim ve ultrasonun çözünmüş katı madde miktarını artırarak verimini yükselttiğini göstermektedir.

Ultrasonik dalgaların sıvı ortamda uygulanması neden olur. Bu, sıvının içinde mikroskobik kabarcıkların oluşması, genişlemesi ve aniden patlaması şeklinde tanımlanır. Kabarcıkların çökmesi, yüksek sıcaklık ve basınç dalgalarına yol açmakta ve çevresindeki hücre duvarlarında mekanik stres oluşturmaktadır. Bu stres, hücre duvarının parçalanmasını ve hücre içeriğinin serbest kalmasını sağlar (Mason ve Peters, 2002; Chemat ve Khan, 2011). Ayrıca, ultrasonun genlik süresinin birleşik etkisi, kavitasyon nedeniyle hücre yırtılmasına ve polisakkaritlerin hidrolizine neden olmakta veya daha küçük boyutta parçalanmasını da mümkün kılmaktadır (Cheng ark. 2007). Yapılan bir çalışmada, sıcaklık ve suda çözünür kuru madde konsantrasyonunun yulaf sütü görünür viskozitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, suda çözünür kuru madde konsantrasyonuna ve sıcaklığa güçlü bir şekilde bağlı olduğu rapor edilmiştir (Deswal, Deora, ve Mishra, 2014).

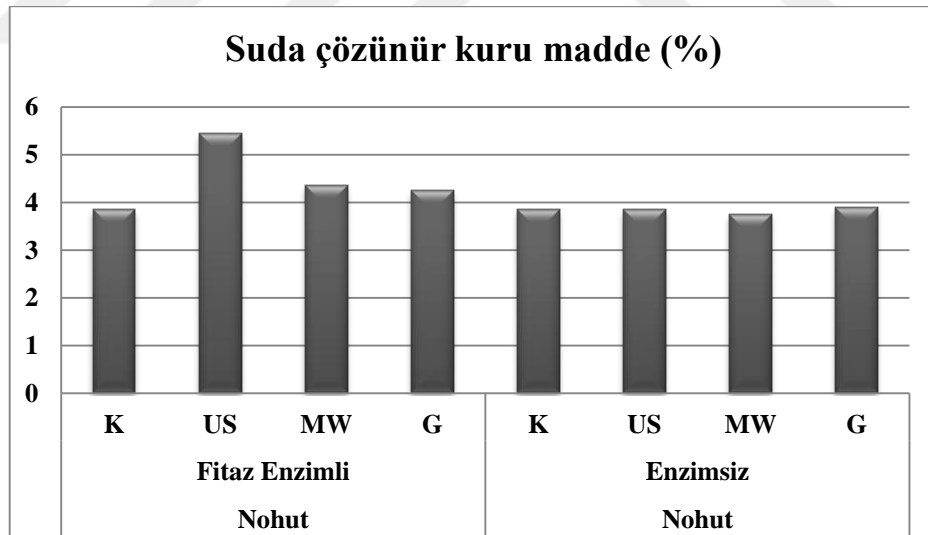


Şekil 4. 3. Yulaf sütü örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarı üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.8’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü fitaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave

edilmeyen örneklere göre daha yüksek briks değerleri verdiği bulunmuştur. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek briks değerlerinin kontrol örneğinde tespit edildiği, mikrodalga ve ultrason yöntemleriyle üretilen nohut sütü örnekleri istatistiki olarak benzer briks değerleri sahip olduğu ve kontrol örneğine göre daha düşük değerler verdiği, geleneksel yöntemle üretilen süt örneklerinde ise en düşük briks değerlerinin görüldüğü belirlenmiştir.

Nohut sütü örneklerinin SÇKM değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu Şekil 4.4.’de gösterilmiştir. Fitaz enzimli nohut sütü örneklerinde, US yöntemi en yüksek Brix değerine sahip bulunmuştur. MW ve G yöntemler enzim ilave edilmiş sütlerde benzer seviyelerde olup, kontrol grubuna göre daha yüksek değerler göstermektedir. Bu durum, enzim uygulamasının ve özellikle US işleminin çözünebilir katı madde miktarını artırdığını göstermektedir. Enzimsiz nohut sütü örneklerinde, farklı işleme yöntemleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmemektedir.



Şekil 4. 4. Nohut sütü örneklerinin suda çözüdür kuru madde miktarı üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.9’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü proteaz enzim ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük briks değerleri verdiği görülmüştür. Badem sütü

örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek briks değerlerinin kontrol örneğinde tespit edildiği, bunu ultrason, ve geleneksel yöntemlerin takip ettiği belirlenmiş, mikrodalga yöntemiyle üretilen süt örneklerinde ise en düşük briks değerleri verdiği gözlenmiştir. Güçlü ultrason kullanımı, hücre duvarlarının parçalanmasının artması nedeniyle badem sütündeki yüksek briks değerinin nedeni olabilir, bu da içeriklerinin salınmasını kolaylaştırır. Güçlü ultrason dalgalarının genliği ve süresinin birleşik etkisinin, kavitasyona bağlı olarak hücre yırtılmasına yol açması da mümkündür. Ultrasonun, mikrodalga ve geleneksel yöntemlere göre yüksek briks değerleri vermesinin bu özelliğine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Maghsoudlou ve ark. (2016) yaptığı çalışmada, ultrason uygulama süresindeki artışın, badem ekstraktının briksinde önemli bir azalmaya neden olduğunu rapor edilmiştir.

4.1.3. Stabilite

Bitki bazlı süt alternatifi içeceklerinin stabilitesi, dağılmış fazın parçacık boyutuna bağlıdır. Bu ürünler, büyük parçacıkların, yani yağ küreciklerinin, ham madde parçacıklarının, proteinlerin ve nişasta granüllerinin dağılmasıyla oluşan kolloidal sistemlerdir (Jeske, Zannini, ve Arendt, 2018). Parçacıkların çeşitliliği nedeniyle ürün, bu parçacıkların çökmesine veya çökmesine karşı hassas olup, üründe kararsızlığa neden olmaktadır (Jeske ve ark. 2018). Süt ikamelerinin bu dengesizliği aynı zamanda kumlu, tebeşirimsi bir ağız hissine de neden olmaktadır. Dahası, kremamsılığın eksikliği, yağın ayrılması nedeniyle tüketiciler tarafından da algılanabilmektedir. Bitki bazlı süt alternatifi içeceklerinin stabilitesi üç faktör tarafından yönetilmektedir: parçacık boyutu, emülsiyon oluşumu ve proteinin çözünürlüğü.

Bitkisel sütlere ait stabilite sonuçları Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin stabilite değerleri % 60.48 – 96.50 arasında; ortalama % 81.63±13.41 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin stabilite değerleri % 15.5- 99.7 arasında ortalama % 58.31±35.00; ve badem sütü örneklerinin stabilite değerleri % 96.50 –99.95 arasında ortalama % 99.15±1.24 olarak bulunmuştur.

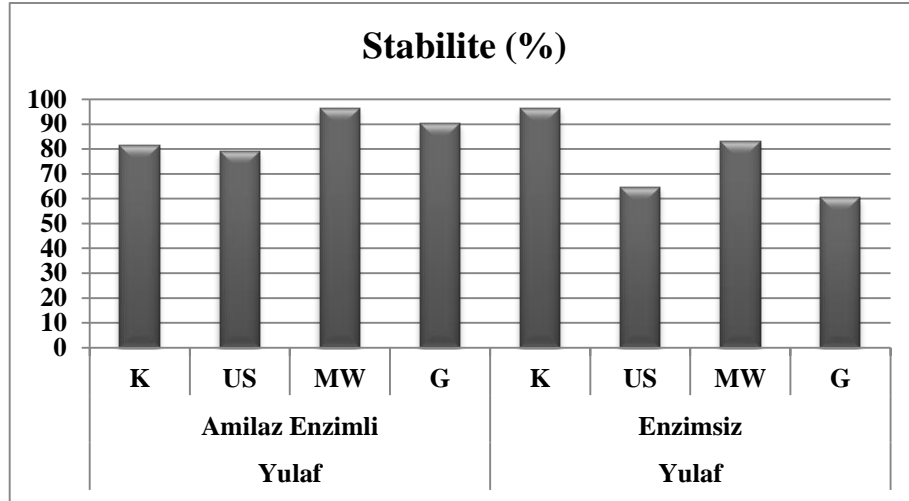
Varyans analiz sonuçları yulaf süt örneklerinin stabilite değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür Çizelge 4.4.

Varyans analiz sonuçları nohut süt örneklerinin stabilite değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür Çizelge 4.5.

Varyans analiz sonuçları badem süt örneklerinin stabilite değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi açısından istatistiki olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Fakat yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü amilaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek stabilite değerleri verdiği görülmüştür. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek stabilite değerleri kontrol örneği ve mikrodalga yöntemle üretilen sütlerde tespit edilmiş, bunu geleneksel yöntemle üretilen sütler izlemiş, ultrason yöntemiyle üretilen süt örneklerinde ise en düşük stabilite değerleri gözlenmiştir.

Yulaf sütü örneklerinin stabilite % değeri üzerinde etkili ($p < 0.01$) ‘*Enzim İlavesi x Yöntemler*’ interaksiyonu Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Enzim uygulanması stabiliteyi genel olarak artırmış gözükmektedir. Geleneksel ve mikrodalga işlemleri enzimli yulaf sütünde yüksek stabilite göstermiş, en yüksek değer MW yöntemi ile elde edilmiştir. Ultrason işlemi ise diğer yöntemlere kıyasla daha düşük stabilite değeri göstermektedir. Enzimsiz yulaf sütü örneklerinde kontrol grubu en yüksek stabiliteyi vermiştir. Geleneksel ve ultrason işlemleri stabiliteyi mikrodalga ve kontrol grubuna kıyasla azaltmıştır.



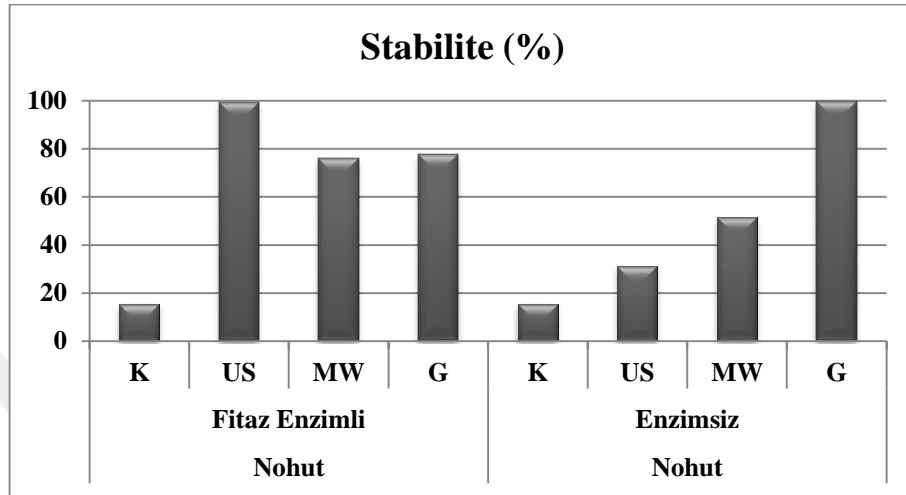
Şekil 4. 5. Yulaf sütü örneklerinin stabilite değerleri üzerinde etkili 'Enzim İlavesi (A) x Yöntemleri (B) interaksyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Yulafın büyük bir kısmı (%50-60) nişastadan oluşmaktadır ve bu nişastanın jelatinleşme sıcaklığı 44.7 ile 73.7 °C aralığında olup, yulaf sütünün ısıl işlemi sırasında enzim ilavesi ile sütün jelatinizasyonunda sorun yaratmaktadır (Tester and Karkalas, 1996). Enzimatik yöntem, tercihen jelatinleştirme sırasında sıvılaştırıcı etkide bulunduğu, nişasta jelatinize edildiğinde granüllerin yarı kristal yapısının amorf hale geldiği ve nişastanın amilazlar tarafından sindirilebilir hale geldiği belirtilmiştir (Tester, Qi, ve Karkalas, 2006). Bu durumun da stabiliteyi etkilediği düşünülmektedir.

Çizelge 4.8'de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü fitaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek stabilite değerleri verdiği görülmüştür. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en düşük stabilite değerlerinin kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilen süt örneklerinde ise en yüksek stabilite değerleri gözlenmiş, bunu sırasıyla ultrason ve mikrodalga uygulaması takip etmiştir.

Nohut sütü örneklerinin stabilite değerleri üzerinde etkili 'Enzim İlavesi (A) x Yöntemleri (B) interaksyonu Şekil 4.6'de gösterilmektedir. Enzimli nohut sütü örnekleri incelendiğinde, kontrol grubunun stabilite değeri oldukça düşük bulunmuştur. Enzim kullanımının ve ultrason işleminin stabiliteyi önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Enzimsiz nohut sütü örnekleri için en yüksek stabilite değeri geleneksel

yöntemde gözlemlenmektedir. MW ve US yöntemleri orta seviyelerde stabilite sağlamış, kontrol grubu ise en düşük stabiliteyi göstermiştir. Genel olarak, enzim kullanımı ve işleme yöntemi stabilite üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Enzim uygulaması, özellikle ultrason işlemiyle birleştirildiğinde stabiliteyi önemli ölçüde artırmakta, enzimsiz uygulamalarda da geleneksel yöntemle aynı etki sağlanmaktadır.



Şekil 4. 6. Nohut sütü örneklerinin stabilite değerleri üzerinde etkili 'Enzim İlavesi (A) x Yöntemleri (B) interaksyonu

K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Bitkisel sütlerin stabilitesini artırma ve özelliklerini iyileştirme süreçlerinde geleneksel yöntemler, ultrason ve mikrodalga teknolojileri etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Her yöntemin bitkisel sütlere olan etkileri, işlemin doğasına ve süt bileşenlerine bağlı olarak değişmektedir. Ultrason, düşük enerji tüketimiyle stabiliteyi artırırken, mikrodalga hızlı ve etkili bir stabilizasyon sağlamaktadır. Geleneksel yöntemler ise stabiliteyi artırsa da enerji tüketimi yüksek ve besin kaybı risklidir. Ultrason ve mikrodalga, fenolik bileşikler ve protein gibi besin öğelerinin korunmasında daha etkili bulunmuştur (Vanga ve ark. 2020).

Çizelge 4.9'de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü proteaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük stabilite değerleri verdiği görülmüştür. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise uygulanan yöntemler istatistik olarak benzer stabilite değerleri göstermiştir.

Bitki bazlı süt analoglarına uygulanan enzimlerin çoğu, parçacık boyutunu azaltmak ve çözünürlüğü ve ağız hissini iyileştirmek için makromoleküllerin hidrolizi için kullanılır. Bitkisel sütlerin stabilitesini artırma ve özelliklerini iyileştirme süreçlerinde geleneksel yöntemler, ultrason ve mikrodalga teknolojileri etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Her yöntemin bitkisel sütlere olan etkileri, işlemin doğasına ve süt bileşenlerine bağlı olarak değişmektedir.

Bitki bazlı sütleri korumak için uygulanan termal işlem, geri döndürülemez değişikliklere de yol açabilmektedir (Euston, Finnigan, ve Hirst 2001). Proteinlerin denatürasyonu, su içinde yağ emülsiyonlarının ısı kaynaklı destabilizasyonu ve nişastanın jelatinleşmesi, viskozitenin artmasına neden olmaktadır (Brückner-Gühmann, Banovic, ve Drusch, 2019). Geçmişte, formüle edilen bitki bazlı içeceklerin dağılmış faz parçacık boyutunu azaltmak ve stabilitesini artırmak için ultra yüksek basınçlı homojenizasyon gibi çeşitli teknolojik müdahaleler önerilmektedir (Mäkinen ve ark. 2015).

Isearin ve Pemadi (2012) tarafından hindistan cevizi bazlı içecek üretimi üzerine yapılan bir araştırmada, ultrasonik dalgaların güç seviyesinin veya maruz kalma süresinin artırılmasıyla damlacık boyutunun küçüldüğü, böylece güç seviyesinin daha baskın olduğu, daha kararlı bir ürün elde edildiğini rapor etmişlerdir (Isearin ve Pemadi, 2012).

Maghsoudlou ve ark. (2016) çalışmalarında, badem bazlı içeceklerin ultrason destekli stabilizasyonunu ve formülasyonun etkinliğini incelemişlerdir. Çalışmada, 5 dakikalık ultrason uygulamasının, 2.5 dakikalık uygulanmasına kıyasla içeceğin stabilitesini iyileştirdiği belirtilmiştir (Maghsoudlou ark., 2016).

4.1.4 Katı parçacık sedimentasyonu

Bitki bazlı içecekler, bileşen düzenlemesinde değişikliklere neden olan çeşitli işlem adımlarına sahip emülsifiye edilmiş ürünlerdir. Sıvı fazda dağılan parçacıklar, doğal protein agregatları, yağ damlacıkları ve proteinlerden ve yağ damlacıklarından veya polisakkaritlerden gelen diğer agregatlar gibi çeşitlidir. Bitki bazlı içeceklerde en

yaygın kararlılık sorunları, her ikisi de parçacık boyutu dağılımına bağlı olan katı parçacıkların çökmesi ve yağ damlacıklarının kremalaşmasıdır (Bernat ve ark. 2015).

Santrifüjleme ile zorlanan katıların çökmesi gerçek fiziksel kararlılığın doğrudan bir ölçüsü değildir ancak koloidal sistemin potansiyel kararlılığı hakkında bir fikir verir. Bu parametrenin yüksek bir değeri, parçacık çökmesinin bir sonucu olarak düşük bir kararlılığa işaret etmektedir (Valencia-Flores ve ark. 2013).

Bitkisel sütlere ait katı parçacık sedimantasyonu sonuçları Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri %1.34–35.79 arasında; ortalama % 22.88±12.65 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri % 18.31-41.10 arasında ortalama % 29.17±7.01; ve badem sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri % 42.30-61.87 arasında ortalama % 51.55±9.02 olarak belirlenmiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiksel olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu, yöntemler açısından istatistiksel olarak önemsiz olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.5).

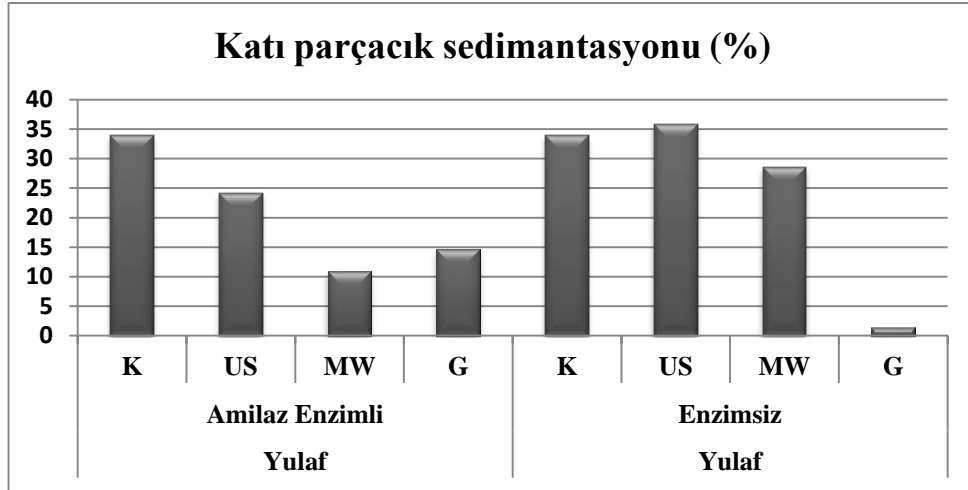
Varyans analiz sonuçları badem sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değeri bakımından incelendiğinde yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüş, enzim ilavesi açısından katı parçacık sedimantasyonu değeri üzerinde istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; amilaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek katı parçacık sedimantasyonu değerleri verdiği tespit edilmiştir. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise; en yüksek katı parçacık sedimantasyonu değerlerinin kontrol örneğinde tespit edilmiş, mikrodalga

ve geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü örnekleri istatistiki olarak benzer katı parçacık sedimentasyonu değerleri ile en düşük değerler elde edilmiştir.

Yulaf sütü örneklerinin katı parçacık sedimentasyonu değeri üzerinde etkili ($p<0.01$) '*Enzim İlavesi x Yöntemler* interaksyonu Şekil 4.7'de verilmiştir. Enzimli yulaf sütü örneklerinde kontrol grubu en yüksek sedimentasyon yüzdesine sahiptir, bu durum enzim kullanılmasına rağmen stabilitenin düşük olduğunu göstermektedir. Geleneksel ve mikrodalga yöntemleri sedimentasyonu önemli ölçüde azaltmıştır, bu da partiküllerin süspansiyonda daha iyi dağıldığını ve stabilitenin arttığını göstermektedir. Enzimsiz yulaf sütü örneklerinde kontrol ve ultrason yöntemleri en yüksek sedimentasyon oranına sahiptir, bu da büyük miktarda katı parçacığın çökme eğiliminde olduğunu gösterir. Geleneksel yöntem en düşük sedimentasyon oranına sahiptir, yani süspansiyon stabilitesi yüksektir. Mikrodalga yöntemi sedimentasyonu azaltmıştır, ancak geleneksel yönteme kıyasla daha yüksek bir değer göstermektedir.

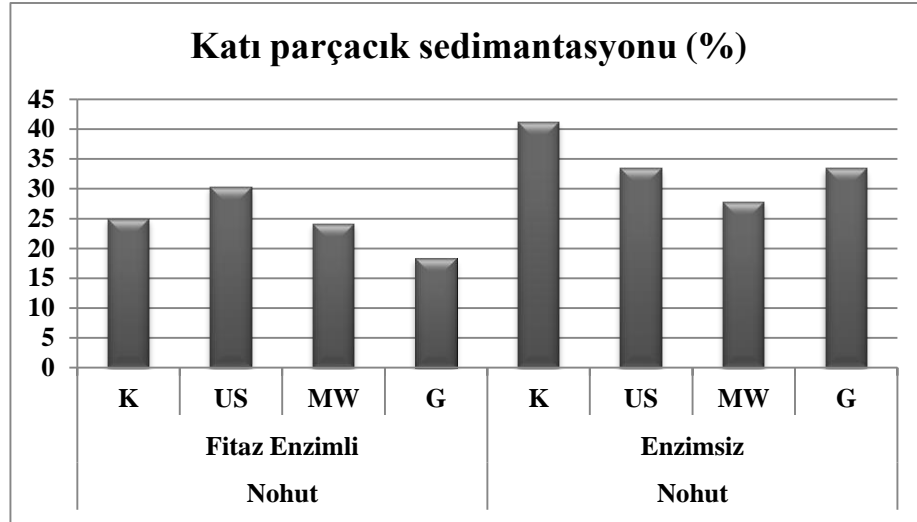
Sedimentasyon oranının yüksek olması, süspansiyonun zamanla ayrıştığını ve stabilitenin düşük olduğunu gösterir. Geleneksel ve mikrodalga yöntemleri, hem enzimli hem de enzimsiz yulaf sütünde sedimentasyonu önemli ölçüde azaltarak süspansiyonun daha stabil olmasını sağlamaktadır. Ultrason yöntemi, çözünmüş madde miktarını artırırken sedimentasyonu kontrol etmekte yeterince etkili görünmemektedir. Enzim ilavesi ve farklı yöntemler uygulanmış ve uygulanmamış numuneler arasında belirgin bir farklılık gözlenmektedir. Bu durum, enzimlerin kompleks bileşiklerin ayrışmasına yol açtığını ve kullanılan yöntemlerin (ultrason, mikrodalgalar ve geleneksel yöntemler) daha homojen bir yapı sağladığını göstermektedir.



Şekil 4. 7. Yulaf sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri üzerinde etkili '*Enzim İlavesi (A) x Yöntemler (B)* interaksiyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.8'de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü fitaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek katı parçacık sedimantasyonu değerleri verdiği bulunmuştur. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde örnekleri istatistiki olarak benzer katı parçacık sedimantasyonu değerleri verdiği gözlenmiştir.

Nohut sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri üzerinde etkili "*Enzim İlavesi x Yöntemler*" interaksiyonu Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Fitaz enzimi varlığında sedimantasyon yüzdesinin daha düşük olduğu görülmektedir. Fitaz enzimi fitik asidi parçalayarak çözünürlüğü artırabilir, bu da sedimantasyonu azaltabilir. İşlem türüne bağlı olarak sedimantasyon değişmektedir. US ve MW işlemleri partikül yapısını etkileyerek çözünürlüğü artırabilir veya azaltabilir. Enzimsiz grupta kontrol örneğinin en yüksek sedimantasyon değerleri verdiği gösterilmektedir.

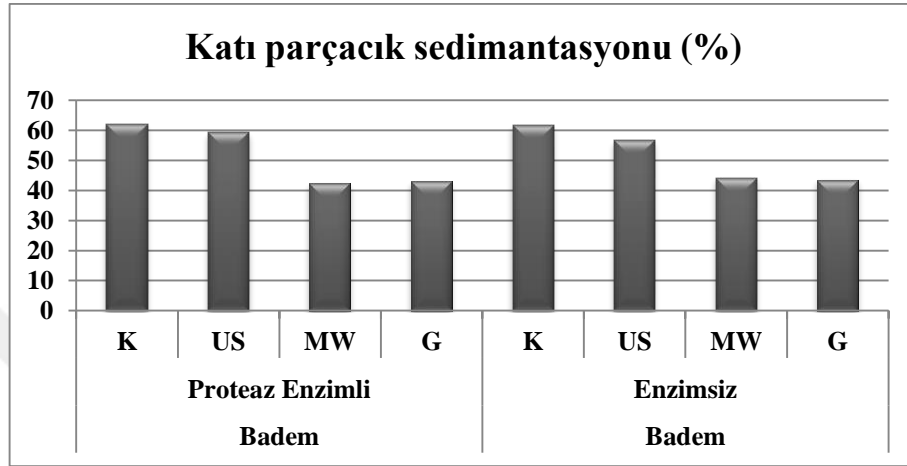


Şekil 4. 8. Nohut sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.9’ de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü proteaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek katı parçacık sedimantasyonu değerleri verdiği bulunmuştur. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek katı parçacık sedimantasyonu değerlerinin kontrol örneğinde tespit edilmiş, bunu ultrason ile üretilen süt örnekleri izlemiş, mikrodalga ve geleneksel yöntemle üretilen badem sütü örnekleri ise istatistiki olarak benzer katı parçacık sedimantasyonu değerleri ile en düşük değerlere sahip oldukları görülmüştür.

Şekil 4.9.’de, Badem sütü örneklerinin katı parçacık sedimantasyonu değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu görülmektedir. Kontrol grubunda hem enzimli hem de enzimsiz uygulamalarda, diğer işlem türlerine göre en yüksek sedimantasyon değerleri gözlenmektedir. Bu, herhangi bir işlemin uygulanmamasının badem parçacıklarının daha hızlı çökmesine neden olduğunu göstermektedir. Ultrason yöntemi kontrole göre hafif bir sedimantasyon azalması sağlamaktadır. Ultrasonik dalgalar, bademdeki bazı bileşenlerin yapısını değiştirerek veya parçacıkların boyutunu küçülterek çökme hızını yavaşlatabilir. Mikrodalga yöntemi proteaz enzimi ilave edilen badem sütü örneklerinde en düşük sedimantasyon değerleri göstermektedir. Mikrodalga enerjisi, ısıtma yoluyla veya moleküler titreşimleri artırarak parçacıkların çökme hızını yavaşlatabilir. Geleneksel yöntem hem enzimli hem de enzimsiz uygulamalarda, diğer işlem türlerine göre daha düşük

sedimentasyon oranlarını sağlamaktadır. Bu, geleneksel yöntemin (örneğin ısıtma, karıştırma) badem parçacıklarının çökme hızını en çok yavaşlatan yöntem olduğunu göstermektedir. Ultrasonik yöntemin, partikül stabilitesini ve homojen dağılımı artırdığı, bunun da daha düşük sedimentasyon oranına yol açtığı, mikrodalga yönteminin ise, protein çözünürlüğünü ve bağlayıcı özellikleri artırarak sedimentasyonu azalttığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 9. Badem sütü örneklerinin katı parçacık sedimentasyonu değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Yapılan çalışmada badem sütü sedimentasyon hızı, termal uygulamalara kıyasla darbeli elektrik alanı (PEF) uygulamasından daha fazla azaldığı rapor edilmiştir (Manzoor ve ark. 2020). Şen ve Okur (2023) ve Gul ve ark.(2017) 'e göre yaptıkları çalışmada fındık sütü numunelerine uygulanan homojenizasyon uygulamasının katı partikül sedimentasyonu değerlerini önemli ölçüde azaltarak %51.85'den %24.5'e düşürdüğü rapor edilmiştir (Şen ve Okur, 2023; Gul ve ark. 2017).

Yapılan çalışmada ksantan zankı ve kazein-makropeptid ile zenginleştirilmiş pirinç sütü üretilmesi amaçlanmıştır. %0.2 ile %6.4 arasında değişen katı parçacık sedimentasyonu değerleri rapor edilmiştir (Karimidastjerd ve Kilic-Akyilmaz, 2021).

4.1.5. Protein çözünürlüğü

Proteinlerde çözünürlük, reolojik, hidrodinamik ve yüzey aktif özellikler gibi diğer özellikler üzerinde etkileyici rol oynadığı için proteinlerin önemli bir işlevsel özelliğidir. Birçok protein bazlı ürün için çözünürlüğün iyi olması önemlidir (Chen, Xu ve Zhou, 2016).

Bitkisel sültere ait protein çözünürlüğü sonuçları Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri %4.05 – 92.49 arasında; ortalama % 50.91±39.05 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri % 23.60–35.45 arasında ortalama % 29.59±3.84; ve badem sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri % 45.47- 95.38 arasında ortalama % 74.79 ±1.32 olarak bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi, yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4).

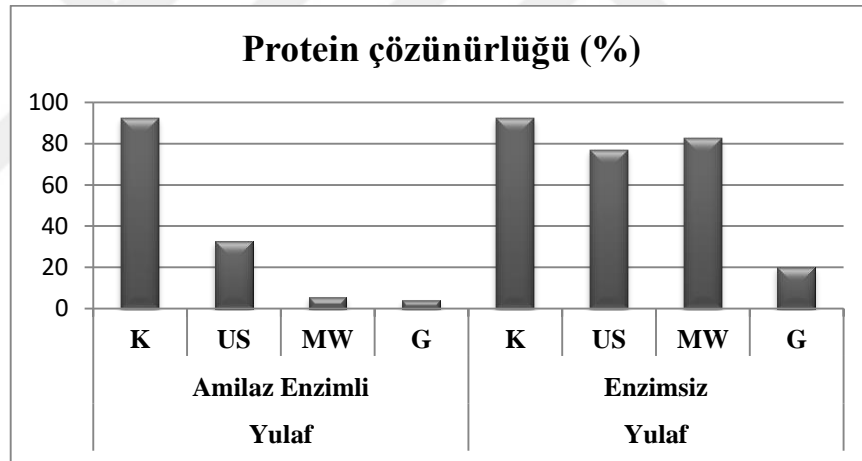
Varyans analiz sonuçları nohut sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değeri bakımından incelendiğinde; enzim ilavesi ve yöntemler istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde, “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları istatistiki olarak $p<0.05$ düzeyinde önemli olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.5).

Varyans analiz sonuçları badem sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.7’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü amilaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük protein çözünürlüğü değerleri verdiği görülmüştür. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek protein çözünürlüğü değerleri kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Bunu azalan sırayla ultrason ve mikrodalga takip etmiştir. Geleneksel yöntemle üretilen süt örneklerinde ise en düşük protein çözünürlüğü değerleri gözlenmiştir.

Yulaf sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değeri üzerinde etkili ($p < 0.01$) 'Enzim İlavesi x Yöntemler' interaksyonu Şekil 4.10'de verilmiştir. Kontrol grubu hem amilaz enzimli hem de enzimsiz yulaf sütünde en yüksek protein çözünürlüğü değerlerini vermekte, bu da işlenmemiş yulaf proteinlerinin doğal olarak daha çözünebilir olduğunu göstermektedir.

Geleneksel yöntem protein çözünürlüğünü en fazla düşüren işlemdir, muhtemelen ısı işlem veya diğer faktörler nedeniyle proteinlerin denatüre olmasından kaynaklanmaktadır. Mikrodalga işlemi enzimsiz yulaf sütünde nispeten yüksek protein çözünürlüğü sağlarken, enzim ilave edilen yulaf sütünde çözünürlüğü oldukça düşürmektedir. Ultrason işlemi, enzimli yulaf sütünde protein çözünürlüğünü diğer yöntemlere kıyasla bir miktar artırsa da, enzimsiz yulaf sütünde daha iyi sonuçlar vermektedir.



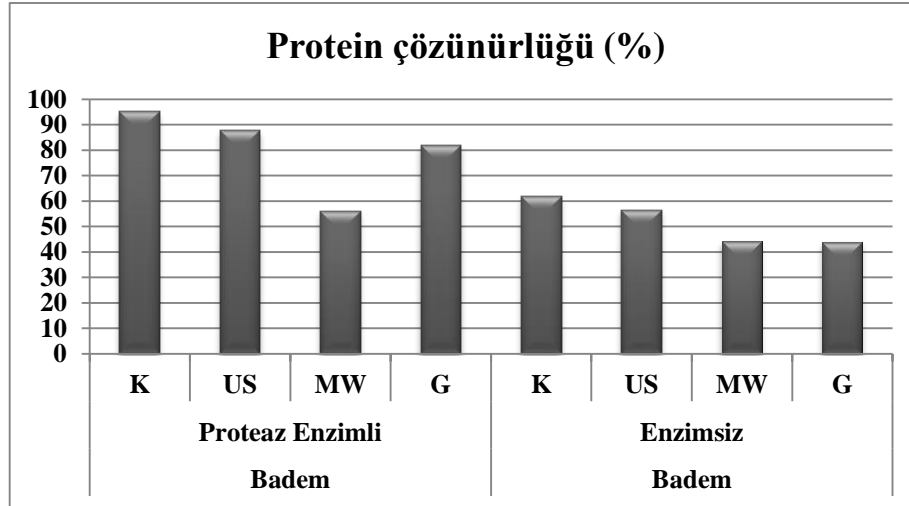
Şekil 4. 10. Yulaf sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri üzerinde etkili "Enzim İlavesi x Yöntemler" interaksyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.8'de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü fitaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek protein çözünürlüğü değerleri verdiği görülmüştür. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek protein çözünürlüğü değerlerinin mikrodalga yöntemle tespit edilmiştir. Bunu istatistiki olarak benzer değerler veren kontrol ve geleneksel yöntemle üretilen sütler takip etmiş, ultrason

yöntemiyle üretilen süt örneklerinde ise en düşük protein çözünürlüğü değerleri gözlenmiştir.

Çizelge 4.9’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü proteaz enzimi ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklerle göre daha yüksek protein çözünürlüğü değerleri verdiği görülmüştür. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek protein çözünürlüğü değerlerinin kontrol örneğinde tespit edilmiş, bunu geleneksel ve ultrason ile üretilmiş süt örnekleri izlemiştir. Mikrodalga yöntemiyle üretilen süt örneklerinde ise en düşük protein çözünürlüğü değerleri görülmüştür. Yüksek çözünürlük, bitkisel süt üretimi için de avantajlıdır, çünkü proteinler çözeltide daha kararlıdır ve işlem sırasında proteinin ekstraksiyonu artar. Proteaz ve fitaz enzimlerinin uygulanması proteinlerin çözünürlüğünün artmasıyla sonuçlanır (Jeske ve ark. 2018). Kompleks oluşumların parçalanması nedeniyle, su molekülleriyle etkileşime girebilen hidrofilik kısımların ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Şekil 4.11’de badem sütü örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri üzerinde etkili “*Enzim İlavesi x Yöntemler*” interaksyonu verilmektedir. Proteaz enzimli badem sütü örneklerinde kontrol grubu en yüksek protein çözünürlüğüne sahip bulunmuştur. Mikrodalga işlemi diğer yöntemlere kıyasla, protein çözünürlüğünü belirgin şekilde düşürmüştür. G yöntemi ise MW’ye göre daha yüksek, ancak K ve US’ye göre daha düşük bir protein çözünürlüğü göstermektedir. Enzimsiz badem sütü örneklerinde tüm gruplarda protein çözünürlüğü, proteaz enzimli gruba kıyasla düşüktür. Proteaz enzimi ilave edilmeyen K örnekleri en yüksek protein çözünürlüğünü gösterirken, diğer işlemler (US, MW, G) çözünürlüğü daha da azaltmıştır. MW ve G yöntemlerinde en düşük çözünürlük değerleri gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 11. Badem sütü örneklerinin protein çözünlüğü değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Bitkisel proteinlerin gıda endüstrisindeki uygulamalarını artırmak için enzimatik hidroliz, fermantasyon, ısı işlem, yüksek basınçlı işleme ve ultrason gibi çeşitli protein modifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Rojas Conzuelo ve ark. 2022).

Yapılan bir çalışmada kinoa bazlı süt ürününde proteaz ve amilaz uygulamasının proteinler ve ürün kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmış ve örneklerin protein çözünlüğü 48.02-75.19% değerleri arasında bulunmuştur (Jeske ve ark. 2018).

Yapılan çalışmada, soya proteinlerinin fonksiyonel özellikleri yüksek basınçlı homojenizasyon (UHPH) yöntemi ile incelenmiş ve protein çözünlük değerlerinin % 21-39 arasında değiştiği ve protein çözünlüğünün arttığı tespit edilmiştir (Liu & Kuo, 2016).

Dhakal ve ark. (2014), yaptığı çalışmada, badem sütü protein çözünlüğü üzerinde yüksek basınç ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Protein çözünlüğünün basınç artışıyla azaldığı rapor edilmiştir (Dhakal ve ark. 2014).

Mercimek sütünün homojenizasyona bağlı olarak sırasıyla 180 bar ve 900 bar homojenizasyon basınçlarında protein çözünlüğünün %54.34'ten %96.40'a ve %98.85'e önemli ölçüde arttığı bulunmuştur (Jeske ve ark. 2019).

Vagadia ve ark. (2018), soya bazlı içeceklerde geleneksel ve mikrodalga işlemlerinin tripsin inhibisyonu ve protein üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir.

Geleneksel yöntem (%11), mikrodalga yöntemine (%7) kıyasla protein sindirilebilirliğini daha fazla artırmıştır (Vagadia ve ark. 2018). Buradan yola çıkarak proteinlerdeki çözünürlüğün yüksekliğinin, protein sindirilebilirliğinin de artışına yol açtığı düşünülmektedir.

4.1.6 Renk değerleri

Renk, bir içeceğin kalitesini değerlendirmek için görsel bir gösterge olup tüketici memnuniyetinde önemli bir rol oynamaktadır. Bitkisel sütlerdeki renk farklılıkları, üretimde kullanılan farklı bileşenler ve birim operasyonlardan oluşan bileşim ve yapı farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

4.1.6.1 L* (parlaklık) değeri

Bitkisel sültere ait L* (parlaklık) sonuçları Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin L* (parlaklık) değerleri 63.32–82.85 arasında; ortalama 74.95 ± 5.66 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin L* (parlaklık) değerleri 69.45-82.90 arasında ortalama 76.39 ± 4.71 ; ve badem sütü örneklerinin L* (parlaklık) değerleri 74.17–82.85 arasında ortalama 76.81 ± 2.66 olarak bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf süt örneklerinin L* (parlaklık) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

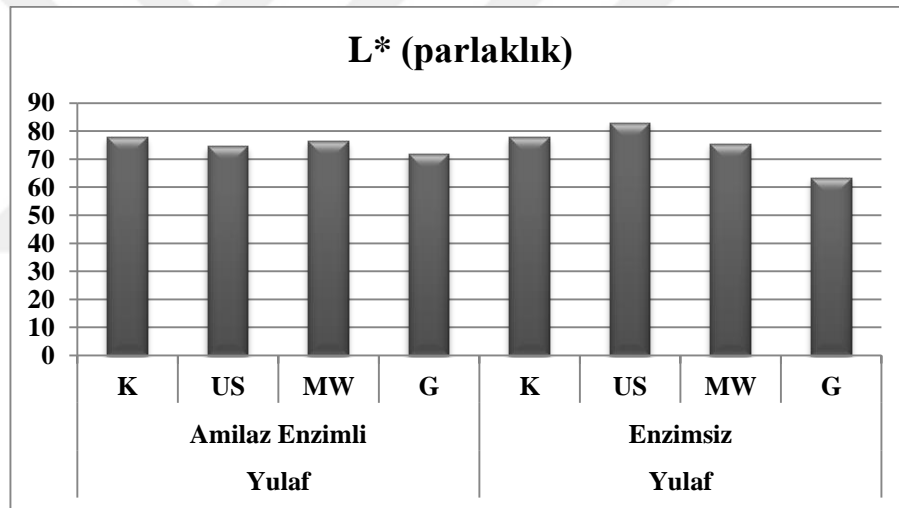
Varyans analiz sonuçları nohut süt örneklerinin L* (parlaklık) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından önemsiz olduğu ($p > 0.05$) görülmüştür (Çizelge 4.14).

Varyans analiz sonuçları badem süt örneklerinin L* (parlaklık) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.16’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; enzim ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek L* (parlaklık) değerleri verdiği bulunmuştur.

Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek L* (parlaklık) değerlerinin kontrol örneğinde en düşük geleneksel yöntemle tespit edilmiş, mikrodalga ve ultrason yöntemleriyle üretilen yulaf sütü örnekleri istatistiki olarak benzer L* (parlaklık) değerleri vermiştir. Amilaz enzimi ilavesinin, yulaf sütünde partikül boyutlarını küçültme, çözünürlüğü artırma ve homojenizasyonu iyileştirme yoluyla parlaklık değerlerini pozitif yönde etkilediği düşünülmektedir.

Çizelge 4.17’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; fitaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük L* (parlaklık) değerleri verdiği görülmüştür. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde benzer L* (parlaklık) değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.12. Yulaf sütü örneklerinin L* (parlaklık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Şekil 4.12’de verilen yulaf sütü örneklerinin L* (parlaklık) değeri üzerinde etkili olan ‘Enzim İlavesi x Yöntemler’ interaksyonu incelendiğinde; enzim kullanımı, L* değerinde büyük bir değişiklik yaratmamış ancak geleneksel yöntemin koyulaştırıcı etkisini bir miktar azaltmış olabilir. Geleneksel yöntem enzimsiz yulaf sütünde L* değerini düşürerek numunenin daha koyu bir renk almasına neden olmaktadır. En yüksek parlaklık değerleri enzimli yulaf sütlerinde kontrol grubu ile elde edilirken, enzim ilave edilmeyen sütlerde ultrason yöntemiyle belirlenmiştir.

Çizelge 4. 10 Yulaf sütü örneklerinin renk değerleri sonuçları¹

Enzim	Yöntemler	L*	a*	b*	SI	Hue angle
İlavesi						
Amilaz enzimli	Kontrol	77.65±0.09	-5.93±0.10	7.89±0.06	9.87±0.01	178.67±0.03
	Ultrason	74.46±0.02	-5.82±0.06	4.85±0.02	7.57±0.04	179.17±0.01
	Mikrodalga	76.34±0.08	-5.91±0.01	5.16±0.21	7.84±0.12	179.13±0.04
	Geleneksel	71.83±0.09	-6.64±0.03	5.10±0.04	8.37±0.00	179.23±0.01
Enzimsiz	Kontrol	77.65±0.09	-5.93±0.10	7.89±0.06	9.87±0.01	178.67±0.03
	Ultrason	82.85±0.14	-1.66±0.03	3.83±0.17	4.17±0.17	177.69±0.06
	Mikrodalga	75.46±0.03	-6.38±0.05	8.56±0.07	10.67±0.09	178.66±0.0
	Geleneksel	63.32±0.25	-5.80±0.09	6.88±0.11	8.99±0.14	178.81±0
Minimum-Maksimum		63.32-82.85	-6.64--1.66	3.83-8.56	4.17-10.67	178.66-179.23
Ortalama±std		74.95±5.66	-5.51±1.58	6.27±1.75	8.42±2.03	178.75±0.49

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.Çizelge 4. 11 Nohut sütü örneklerinin renk değerleri sonuçları¹

Enzim	Yöntemler	L*	a*	b*	SI	Hue angle
İlavesi						
Fitaz	Kontrol	71.34±0.35	-6.11±0.03	5.63±0.06	8.31±0.02	179.08±0.01
Enzimli	Ultrason	82.90±0.2	-6.40±0.04	4.80±0.04	8.00±0.05	179.2±0.01
	Mikrodalga	80.40±0.2	-6.24±0.04	5.70±0.10	8.45±0.10	179.1±0.03
	Geleneksel	75.72±0.04	-6.13±0.03	6.55±0.09	8.97±0.05	178.93±0.02
Enzimsiz	Kontrol	69.45±0.29	-6.56±0.11	8.31±0.16	10.58±0.20	178.73±0.00
	Ultrason	80.73±0.30	-6.13±0.04	10.33±0.27	12.01±0.25	178.31±0.03
	Mikrodalga	76.17±0.11	-6.26±0.04	9.22±0.14	11.14±0.14	178.53±0.01
	Geleneksel	74.42±0.33	-6.57±0.16	8.86±0.07	11.03±0.15	178.65±0.02
Minimum-Maksimum		69.45-82.90	-6.57--6.11	4.80-10.33	8.00-12.01	178.31-179.2
Ortalama±std		76.39±4.71	-6.30±0.19	7.43±2.01	9.81±1.55	178.82±0.31

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.Çizelge 4. 12 Badem sütü örneklerinin renk değerleri sonuçları¹

Enzim	Yöntemler	L*	a*	b*	SI	Hue angle
İlavesi						
Proteaz	Kontrol	76.71±0.57	-2.17±0.03	10.01±0.9	10.24±0.39	175.40±0.12
Enzimli	Ultrason	75.6±0.30	-2.3±0.10	7.10±0.03	7.40±0.0	176.9±0.10
	Mikrodalga	75.50±0.06	-2.49±0.02	9.36±0.11	9.68±0.11	176.24±0.01
	Geleneksel	74.17±0.07	-3.01±0.04	7.95±0.08	8.50±0.09	177.36±0.01
Enzimsiz	Kontrol	76.91±0.29	-2.17±0.03	10.01±0.39	10.24±0.39	175.40±0.12
	Ultrason	82.85±0.14	-1.66±0.03	3.83±0.17	4.17±0.17	177.69±0.06
	Mikrodalga	77.54±0.47	-2.75±0.16	9.04±0.37	9.44±0.31	176.70±0.33
	Geleneksel	75.22±0.18	-2.98±0.19	4.61±0.40	5.48±0.44	178.45±0.04
Minimum-Maksimum		74.17-82.85	-3.01 - -1.66	3.83-10.01	4.17-10.24	177.36-178.45
Ortalama±std		76.81±2.66	-2.44±0.46	7.74±2.40	8.14±2.28	176.77±1.07

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 13 Yulaf sütü örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	L*		a*		b*		SI		Hue angle	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Enzim İlavesi (A)	1	6.15	38.78**	0.041	6.827*	22.586	6.15**	38.78	0.041**	6.827*	22.586
Yöntemler (B)	3	258.21	542.80**	0.214	11.91**	7.246	258.21**	542.80	0.214**	11.91**	7.246
AxB	3	86.615	182.07**	1.50	83.55**	10.864	86.615**	182.07	1.50**	83.55	10.864**
Hata		1.11		0.04		0.08		0.04		71.69	

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

Çizelge 4. 14 Nohut sütü örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	L*		a*		b*		SI		Hue angle	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Enzim İlavesi (A)	1	173.97	0.54 ^{ns}	0.127	24.18**	49.21	2169.21**	30.74	1365.66**	1.10	2590.16**
Yöntemler (B)	3	982.27	982.27 ^{ns}	0.039	2.48 ^{ns}	1.25	18.49**	0.80	11.94**	0.04	32.12**
AxB	3	844.43	844.43 ^{ns}	0.332	2.48**	6.10	89.75**	32.10	34.86**	0.25	199.61**
Hata		2249.43		0.03		0.15		0.15		0.00	

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

Çizelge 4. 15 Badem sütü örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	L*		a*		b*		SI		Hue angle	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Enzim İlavesi (A)	1	27.77	254.96**	0.044	4.85 ^{ns}	11.86	128.36**	7.080	80.39**	34.48	2126.08**
Yöntemler (B)	3	41.57	127.20**	2.47	90.04**	58.732	211.75**	47.21	178.69**	5.230	107.49**
AxB	3	30.09	92.09**	0.4407	16.17*	9.795	35.31**	13.41	50.78**	5.230	107.49**
Hata		0.762		0.063		0.647		0.616		0.113	

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

Çizelge 4. 16 Yulaf sütü örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	L*	a*	b*	SI	Hue angle
Enzim İlavesi						
Amilaz Enzimli	8	75.06 ^a	-6.07 ^a	5.74 ^b	8.412 ^b	188.41 ^a
Enzimsiz	8	73.82 ^b	-6.17 ^b	8.68 ^a	10.20 ^a	180.29 ^b
Yöntemler						
Kontrol	4	77.64 ^a	-5.93 ^a	7.88 ^a	9.86 ^a	184.26 ^a
Ultrason	4	76.66 ^b	-6.20 ^b	7.00 ^b	9.43 ^b	186.29 ^a
Mikrodalga	4	75.89 ^b	-6.14 ^b	6.85 ^b	9.25 ^b	183.25 ^a
Geleneksel	4	67.57 ^c	-6.21 ^b	5.98 ^c	8.68 ^c	183.59 ^a

¹Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p<0.05).

Çizelge 4. 17 Nohut sütü örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	L*	a*	b*	SI	Hue angle
Enzim İlavesi						
Fitaz Enzimli	8	68.59 ^b	-6.19 ^a	5.67 ^b	8.41 ^b	179.08 ^a
Enzimsiz	8	75.19 ^a	-6.37 ^b	9.17 ^a	11.19 ^a	178.55 ^b
Yöntemler						
Kontrol	4	70.38 ^a	-6.33 ^a	6.96 ^b	9.44 ^b	178.90 ^a
Ultrason	4	81.82 ^a	-6.23 ^a	7.57 ^a	9.98 ^a	178.77 ^b
Mikrodalga	4	75.06 ^a	-6.24 ^a	7.46 ^a	9.79 ^a	178.81 ^b
Geleneksel	4	60.29 ^a	-6.34 ^a	7.70 ^a	9.99 ^a	178.79 ^b

¹Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p<0.05).

Çizelge 4. 18 Badem sütü örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

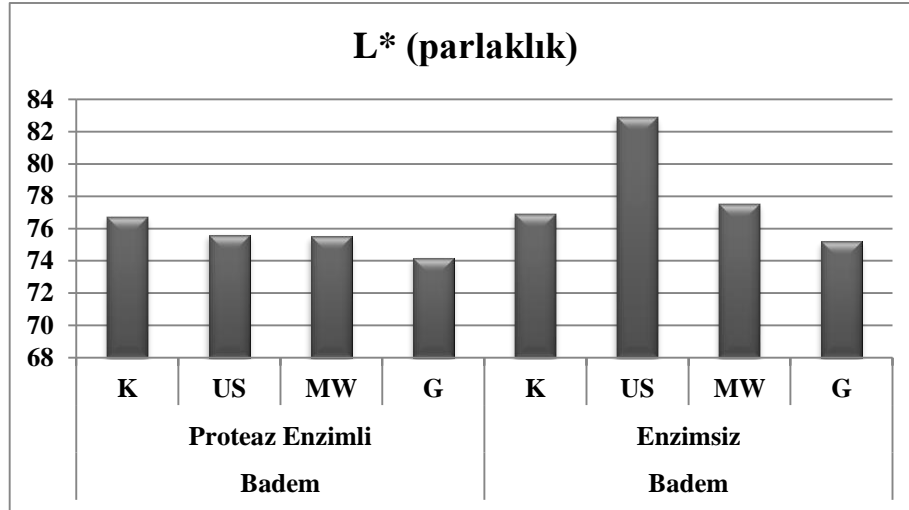
Faktörler	n	L*	a*	b*	SI	Hue angle
Enzim İlavesi						
Proteaz Enzimli	8	75.49 ^b	-2.49 ^b	8.59 ^a	8.66 ^a	180.00 ^a
Enzimsiz	8	78.12 ^a	-2.38 ^a	6.86 ^b	7.33 ^b	177.06 ^b
Yöntemler						
Kontrol	4	76.80 ^b	-2.17 ^a	10.00 ^a	10.23 ^a	177.70 ^d
Ultrason	4	79.22 ^a	-1.98 ^a	5.44 ^d	5.79 ^d	178.84 ^b
Mikrodalga	4	76.51 ^b	-2.61 ^b	9.19 ^b	8.97 ^b	178.35 ^c
Geleneksel	4	74.69 ^c	-2.99 ^c	6.27 ^c	6.99 ^c	179.22 ^a

¹Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p<0.05).

Çizelge 4.18’ de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; proteaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük L* (parlaklık) değerleri verdiği bulunmuştur. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek L* (parlaklık) değerlerinin ultrason yöntemiyle üretilen sütlerde tespit edilmiş ve en düşük L* (parlaklık) değerlerini geleneksel yöntemle üretilen süt örnekleri vermiştir. Kontrol ve mikrodalga yöntemiyle üretilen badem sütü örnekleri istatistiki olarak benzer L* (parlaklık) değerleri görülmüştür. Bitkisel sütlerin parlaklık özellikleri, işleme yöntemlerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. yararırken, mikrodalga yönteminin de olumlu etkiler oluşturduğu, geleneksel yöntemlerin ise genellikle bu iki teknolojiye kıyasla daha düşük parlaklıkla sonuçlandığı literatürlerde belirtilmektedir (Kurt ve Çakmakçı, (2021); ve Mason,ve ark. (2016)).

Şekil 4.13’de verilen yulaf sütü örneklerinin L* (parlaklık) değeri üzerinde etkili olan ‘Enzim İlavesi x Yöntemler’ interaksyonu incelendiğinde; proteaz enzimli badem sütlerinden kontrol, US, MW ve G örnekleri arasında büyük farklar gözlenmemektedir. En düşük L* değeri G grubunda bulunmaktadır. Enzim ilave edilmeyen badem sütlerinde Ultrason uygulaması ile L* değeri belirgin şekilde artarak en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bu, ultrason işleminin badem sütünün daha açık renkli olmasını sağladığını gösterebilir. Mikrodalga uygulaması parlaklığı kontrol örneğine benzer tutarken, G yöntemle üretilen sütler yine en düşük L* değerine sahip bulunmuştur.

Yapılan bir çalışmada, inek sütü yerine ikame olarak nohut ve hindistan cevizi bazlı bitki sütleri geliştirilmesi amaçlanmıştır. Numunelerin renkleri incelendiğinde, L*, h* ve C* değişkenleri üzerinde önemli bir farklılık elde edilmiştir. %100 hindistan cevizi ile UHT inek sütü (81,89) karşılaştırılabilecek derecede benzer değerlerde (78.91) bulunduğu belirtilmiş Jeske, Zannini, ve Arendt, (2017a), %100 nohut içeren süt örneği parlaklık açısından en koyu olarak tespit edilmiş, nohut ve hindistan cevizi sütleri renk tonu açısından önemli bir fark yarattığı (Jeske, Zannini, ve Arendt, 2017; Rincon ark. 2020) belirtilmiştir.



Şekil 4. 13. Badem sütü örneklerinin L* (parlaklık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çok sayıda ticari bitki bazlı süt ikamesi (badem, kaju, fındık, kenevir, yulaf, pirinç ve soya sütü dahil) üzerinde yapılan renk ölçümleri, L* değerlerinden hesaplanan beyazlık indekslerinin 52 ile 76 arasında olduğu ve istatistiksel olarak oldukça önemli ölçüde farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca bu değer inek sütü için bildirilen 82 değerinden daha düşük olduğu da rapor edilmiştir (Jeske ark. 2017; Teshigawara 2001).

Yapılan çalışmalarda beyazlık indeksi (WI) açısından, barbunya fasulyesi sütü örnekleri, 51.57 ile 79.37 arasında bulunurken (Aydar ve ark. 2023), kaju sütünün ortalama L değerleri 80.59 olarak rapor edilmiştir (Tulashie ve ark. 2022).

4.1.6.2. a*(Kırmızılık) değeri

Bitkisel sütlere ait a*(Kırmızılık) sonuçları Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin a*(Kırmızılık) değerleri (-6.64)-(-1.66) arasında; ortalama -5.51 ± 1.58 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin a*(Kırmızılık) değerleri (-6.57)-(-6.11) arasında ortalama -6.30 ± 0.19 ; ve badem sütü örneklerinin a*(Kırmızılık) değerleri (-3.01)-(-1.66) arasında ortalama -2.44 ± 0.46 olarak bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf süt örneklerinin a*(Kırmızılık) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi açısından istatistiksel olarak $p < 0.05$ düzeyinde

önemli olduğu görülmüştür ve yöntemler ve “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.13).

Varyans analiz sonuçları nohut süt örneklerinin a^* (Kırmızılık) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi ve *Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüş, yöntemler açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.14).

Varyans analiz sonuçları badem süt örneklerinin a^* (Kırmızılık) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu görülmüş, yöntemler açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “*Enzim ilavesi x Yöntemler*” interaksiyonları açısından $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.15).

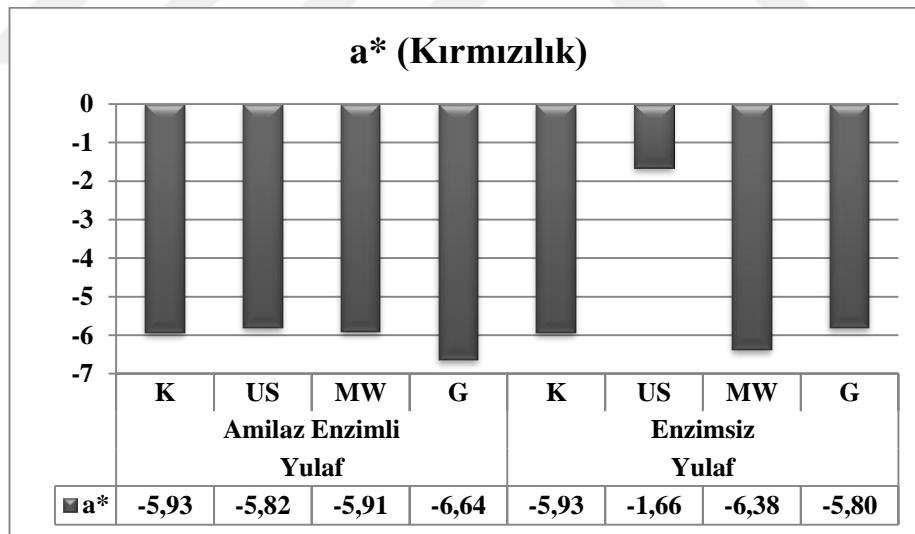
Çizelge 4.16’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; amilaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek a^* değerleri verdiği bulunmuştur. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek a^* değerlerinin kontrol örneğinde tespit edilmiş, mikrodalga, ultrason ve geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü örnekleri benzer kırmızılık değerleri gözlenmiştir. Bitkisel sütlerde enzim ilavesi, ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek renk değerlerini etkileyebilmektedir. Özellikle kırmızılık değeri, enzimatik işlemler sonucunda Maillard reaksiyonları veya pigment yapılarındaki değişimlerden dolayı artabilir. Enzim ilavesi sırasında proteinlerin ve karbonhidratların etkileşimi sonucu oluşan renk değişiklikleri, kırmızılığın artmasına yol açabilir. Bunun yanı sıra, enzimatik hidroliz gibi işlemler, polifenollerin serbest bırakılmasına veya yapısal değişimlere neden olarak renk parametrelerini etkileyebilmektedir.

Yulaf sütü örneklerinin a^* (Kırmızılık) değeri üzerinde etkili olan ‘*Enzim İlavesi x Yöntemler*’ interaksiyonu Şekil 4.14’de gösterilmektedir. a^* değeri pozitif olduğunda kırmızı tonları, negatif olduğunda ise yeşil tonları ifade etmektedir. Grafikte tüm grupların a^* değerleri negatiftir, yani numuneler yeşilimsi bir tona sahiptir. Geleneksel yöntem enzim ilave edilen yulaf sütünde yeşil tonu artırmıştır. Ultrason yöntemi

enzimsiz yulaf sütünde yeşil tonu en çok azaltan yöntemdir. Mikrodalga işlemi, hem enzimli hem de enzimsiz yulaf sütünde yeşil tonu fazla değiştirmemiştir.

Çizelge 4.17’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; fitaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek a^* değerleri verdiği görülmüştür. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde istatistiki olarak benzer kırmızılık değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 4.18’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; proteaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük a^* değerleri verdiği bulunmuştur. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde kontrol ve ultrason yöntemiyle üretilen badem sütü örnekleri benzer ve en yüksek kırmızılık değerleri vermiş bunu sırasıyla mikrodalga ve geleneksel yöntem ile üretilmiş süt örnekleri takip etmiştir.

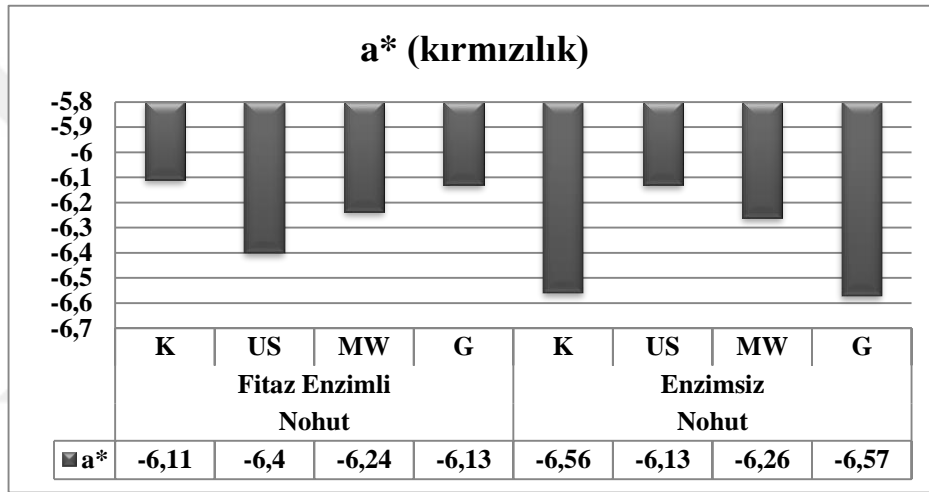


Şekil 4. 14. Yulaf sütü örneklerinin a^* (Kırmızılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonunu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Şekil 4.15. Enzim varlığında, ultrason işleminin " a^* " değerini daha da düşürdüğü (daha yeşil) görülmektedir. Geleneksel işlem ise kontrol numunesine yakın bir sonuç vermiştir. Enzim yokluğunda, geleneksel yöntem kontrol numunesine yakın, ancak enzim varlığına göre biraz daha düşük bir " a^* " değerleri vermiştir. Kontrol ve

geleneksel yöntem enzim ilave edilmediğinde daha belirgin bir yeşillenmeye neden olurken, US ve MW yöntemi enzim ilave edildiğinde daha belirgin bir yeşillenmeye neden olmaktadır.

Çizelge 4.18’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; proteaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük a^* değerleri verdiği bulunmuştur. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde kontrol ve ultrason yöntemiyle üretilen badem sütü örnekleri benzer ve en yüksek kırmızılık değerleri vermiş bunu sırasıyla mikrodalga ve geleneksel yöntem ile üretilmiş süt örnekleri takip etmiştir.



Şekil 4. 15. Nohut sütü örneklerinin a^* (Kırmızılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Mikrodalga ile kısa süreli işlemin kırmızılık değerlerindeki bu değişimi minimize edebileceğini bildirilmektedir (Patras ve ark. 2009).

Geleneksel ısıtma işlemi, bitkisel sütlerin mikrobiyal güvenliğini artırmak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla yaygın olarak kullanılır. Ancak, yüksek sıcaklık ve uzun işlem süresi, özellikle proteinlerin ve karbonhidratların Maillard reaksiyonuna uğraması nedeniyle, renk değişimlerine neden olabilmektedir. Bu durum, genellikle a^* değerinin artmasıyla kendini gösterir. Bu reaksiyonların sonucu olarak oluşan melanoidinler, bitkisel sütün kırmızımsı-kahverengimsi bir renk tonuna kaymasına yol açabilmektedir (Deeth ve Lewis, 2017).

4.1.6.3. b* (Sarılık) değeri

Bitkisel sütlere ait b* (Sarılık) değeri Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin b* değeri 3.83–8.56 arasında; ortalama 6.27 ± 1.75 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin b* (Sarılık) değeri 4.80–10.33 arasında ortalama 7.43 ± 2.01 ; ve badem sütü örneklerinin b* (Sarılık) değeri 3.83–10.01 arasında ortalama 7.74 ± 2.40 olarak bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü örnekleri sarılık değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.13).

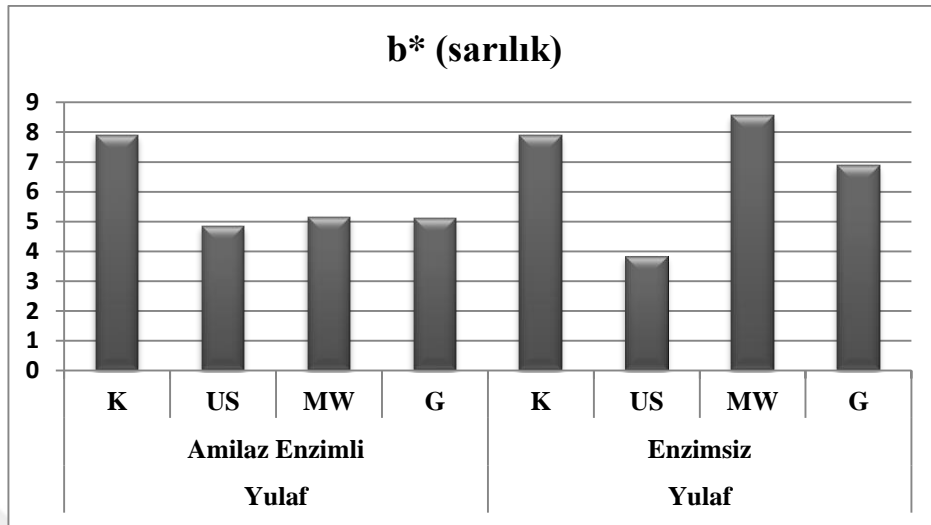
Varyans analiz sonuçları nohut sütü örneklerinin b* değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.14).

Varyans analiz sonuçları badem sütü örneklerinin b* değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.16’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; amilaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük sarılık değeri verdiği görülmüştür. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek b* değerlerinin kontrol örneğinde tespit edildiği ve geleneksel yöntemle üretilen süt örneklerinde ise en düşük sarılık değeri gözlenmiştir. Mikrodalga ve ultrason yöntemiyle üretilen yulaf sütü örnekleri istatistiki olarak benzer b* değeri vermiştir.

Şekil 4.16’de yulaf sütü örneklerinin b* (sarılık) değeri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu verilmektedir. Amilaz enzimli yulaf sütlerinde kontrol en yüksek b* değerine sahipken, US en düşük b* değeri göstermektedir. MW ve G yöntem ise birbirine yakın değerler göstermektedir. Enzimsiz yulaf sütlerinde ise yine

MW en yüksek b* değerine sahipken, bunu K ve G izlemiş, US en düşük b* değerleri vermiştir.

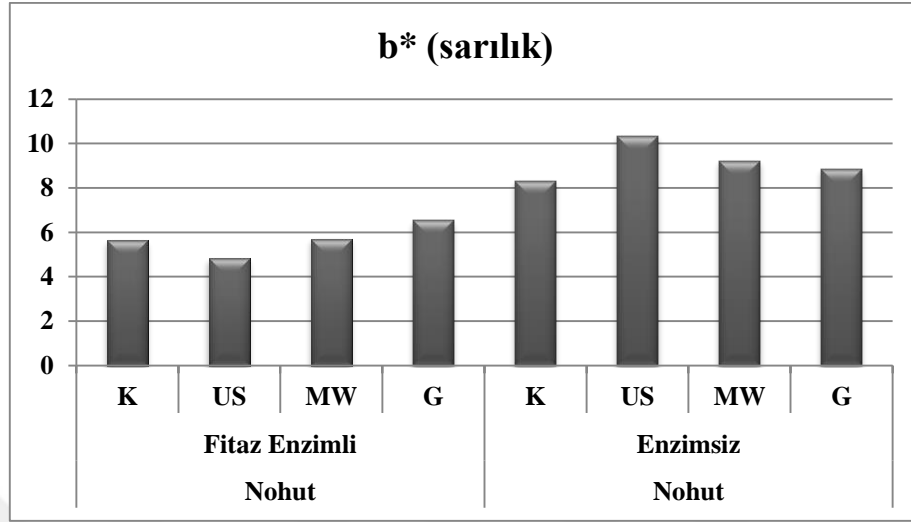


Şekil 4. 16. Yulaf sütü örneklerinin b* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.17’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; fitaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük sarılık değerleri verdiği görülmüştür. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en düşük sarılık değerleri kontrol örneğinde gözlenirken, mikrodalga, ultrason ve geleneksel yöntemle üretilen nohut sütü örnekleri istatistiki olarak benzer sarılık değerleri göstermiştir. Yapılan bir çalışmada, yulaf, badem, soya ve pirinç sütü gibi çeşitli bitkisel sütlerin renk özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada, badem sütünde b* değerinin düşük bulunduğu (daha az sarımsı), ancak pirinç sütünde nispeten yüksek bir b* değerine ulaşıldığı rapor edilmiştir. Bu farklılıkların, kullanılan hammaddelerdeki doğal pigmentlerin (karotenoidler gibi) miktarından kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Pettracci ve ark. 2015).

Şekil 4.17’de nohut sütü örneklerinin b* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu gösterilmiştir. Nohut sütü örneklerinin farklı işleme yöntemleri (kontrol, ultrason, mikrodalga, geleneksel) ve enzim varlığına/yokluğuna bağlı olarak "b*" renk değerlerindeki değişimleri gösterilmektedir. Fitaz enzimli nohut sütlerinde, G yöntem en yüksek b* değerine sahipken, diğer yöntemler (K, US, MW) daha düşük ve birbirine yakın değerlere sahiptir. Enzimsiz

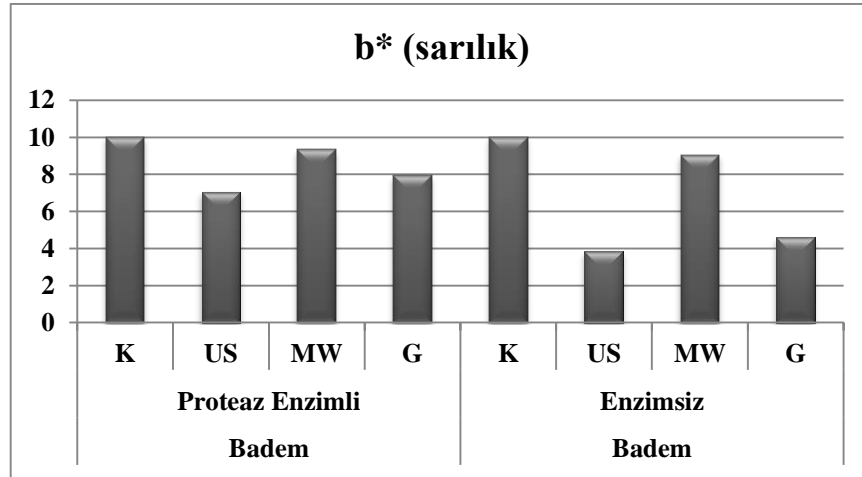
nohut grubunda ise US en yüksek sarılık değerleri vermiş bunu sırasıyla, MW ve G yöntemleri izlemiş, K örneği ise daha düşük b* değerine sahip bulunmuştur.



Şekil 4. 17. Nohut sütü örneklerinin b* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.18’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; proteaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek b* değerleri verdiği bulunmuştur. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek b* değerlerinin kontrol örneğinde tespit edildiği, bunu sırasıyla mikrodalga, geleneksel ve ultrason yöntemiyle elde edilen badem sütü örneklerinin izlediği gözlenmiştir. Ultrason yöntemiyle üretilen süt örnekleri en düşük sarılık değerleri göstermiştir. Bitkisel sütlerde doğal karotenoidler ve flavonoidler gibi bileşikler, sarımsı renk tonlarını etkileyebilmektedir. Örneğin, yağlı tohumlardan yapılan sütlerde b* değerindeki artış, fındık veya bademde bulunan doğal pigmentlerden kaynaklanabilmektedir (Sujatha ve ark. 2019).

Şekil 4.18’de nohut sütü örneklerinin b* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu gösterilmiştir. Proteaz enzimli badem sütü örneklerinde, kontrol en yüksek b* değerine sahip bulunmuştur. US yöntem ise diğer yöntemlere kıyasla daha düşük değerler göstermektedir. Enzimsiz badem sütü örneklerinde ise K en yüksek b* değerlerine sahipken, US yöntem oldukça düşük sarılık değerlerine sahiptir.



Şekil 4. 18. Badem sütü örneklerinin b^* (sarılık) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Yapılan çalışmada mung fasulyesi bazlı vegan süt geliştirmek için farklı ev tipi işleme yöntemleri kullanılmıştır. Çimlendirme ile hazırlanan örnekler çimlendirme ve haşlama (47.45), ıslatma (46.93) ve ıslatma ve haşlama (45.77) ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir L^* değeri (48.61) göstermiş, b^* değeri sırasıyla (1.76), (1.66), (1.48) ve (1.38) olarak ölçülmüş ve a^* değerlerinin benzer olduğu bildirilmiştir (Joshi ve ark. 2023).

Jemaa ve ark.(2023) çalışmalarında dört farklı bitki bazlı sütü (yulaf, badem, kenevir ve kinoa sütü) karakterize etmişlerdir. Bu sütlerin kolorimetrik özellikleri (L^* , a^* , b^*) L^* değerleri bakımından; azalan sırayla kenevir > badem > yulaf > kinoa şeklinde sıralanırken, a^* değerleri açısından; badem > kenevir > yulaf > kinoa şeklinde gözlemlenmiş, b^* değerleri açısından ise; kinoa > yulaf > badem > kenevir şeklinde sıralanmıştır (Jemaa ve ark. 2023).

Bitkisel sütlerde kullanılan stabilizatörler ve emülgatörler, ürünün fizikokimyasal özelliklerini değiştirebilir. Örneğin, vanilya veya diğer aromaların eklenmesiyle b^* değerini artırabilmektedir. Çünkü bu tür maddeler sarımsak tonlar içerebilmektedir (Silva ve ark. 2020).

Yapılan başka bir çalışmada, darbeli elektrik alanı (PEF) farklı PEF parametreleri açısından soya sütünün kalite özellikleri ve mikrobiyal inaktivasyonu üzerine etkileri

incelenmiştir. “a” değerlerinin ve “L” değerlerinin PEF süresiyle 50.34’den 53.64’e bir artış gösterdiği, “b” değerlerinin PEF süresiyle 5.31’den 5.17’e bir düşüş rapor edilmiştir (Li ve ark. 2013).

Soya sütü üzerine yapılan bir çalışmada, farklı sıcaklık ve basınç uygulamalarının b* değerini değiştirdiği belirtilmiştir. Isıl işlem, soya sütünde Maillard reaksiyonlarına neden olarak sarımsı bir görünüm (b* değerlerinde artış) oluşturmuştur (Seth ve ark. 2017).

4.1.6.4. SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değeri

Kroma değerleri (SI, Doygunluk indeksi) renk saflığıyla ilişkili olup, daha yüksek seviyeleri daha yoğun veya canlı renkleri göstermektedir (Maskan, 2001) .

Bitkisel sütlere ait doymunluk indeksi ve ton açısı değeri Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Yulaf sütü örneklerinin doymunluk indeksi 4.17-10.67 arasında, hue angle (ton açısı) 177.69-179.23 değeri arasında; sırasıyla ortalama 8.42 ± 2.03 ve 178.75 ± 0.49 olarak bulunmuş, nohut sütü örneklerinin doymunluk indeksi değeri 8.00-12.01, hue angle 178.31-179.20 değeri arasında; sırasıyla ortalama 9.81 ± 1.55 , 178.82 ± 0.31 ve badem sütü örneklerinin doymunluk indeksi 4.17-10.24, ton açısı 175.40-178.45 değeri arasında; sırasıyla ortalama 8.14 ± 2.28 , 176.77 ± 1.07 olarak bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf süt örneklerinin doymunluk indeksi (SI) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür. Varyans analiz sonuçları yulaf sütü örneklerinin ton açısı (Hue angle) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüş, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü örneklerinin doymunluk indeksi (SI) ve ton açısı (Hue angle) değeri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.14.)

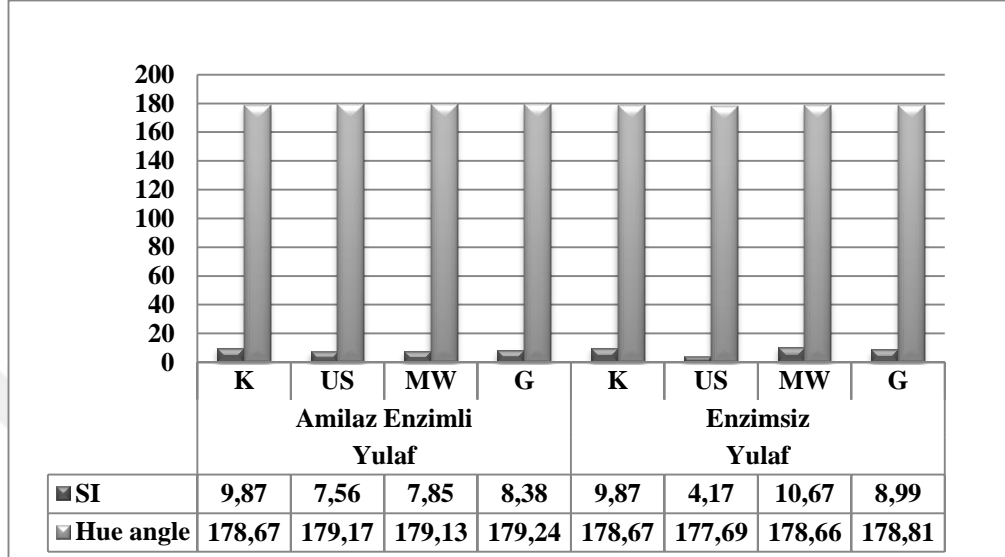
Varyans analiz sonuçları badem sütü örneklerinin doymunluk indeksi (SI) ve ton açısı (Hue angle) değerleri bakımından incelendiğinde enzim ilavesi, yöntemler ve “Enzim ilavesi x Yöntemler” interaksyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.16’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; amilaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük doymunluk indeksi (SI) değerleri ve daha yüksek ton açısı (Hue angle) değerleri verdiği bulunmuştur. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek doymunluk indeksi (SI) değerleri kontrol örneğinde ve en düşük SI değerleri geleneksel yöntemle üretilmiş yulaf sütlerinde tespit edilmiştir. Mikrodalga ve ultrason yöntemle üretilen yulaf sütü örnekleri istatistiki olarak benzer doymunluk indeksi (SI) değerleri vermiştir. Yulaf sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde istatistiki olarak benzer ton açısı değerleri göstermiştir. SI değeri, ürünün pigmentasyonunda veya bileşiminde bozulma olduğunu gösterebilmektedir. Bitkisel sütlerde hue açısı, ürünün doğal algısını belirlemektedir. Örneklerdeki farklılıklar, uygulanan işlemlerin renk özellikleri değerlerinde büyük farklılıklara sebep olduğunu göstermektedir. Renk değişimlerinin, örneklerin parçacık boyutu ve konsantrasyonundaki farklılıklardan kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 4.19’de yulaf sütü örneklerinin SI (doymunluk indeksi) ve hue angle (ton açısı) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu görülmektedir. Hem enzim varlığında hem de yokluğunda, SI ve renk tonu açısı değerlerinde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu, enzim varlığının veya yokluğunun yulafın renk özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir. Ultrason yöntemi ile üretilen hem enzimli hem de enzim ilave edilmeyen yulaf sütlerinde doymunluk indeksi değerleri diğer uygulamalara kıyasla daha düşük bulunmuştur.

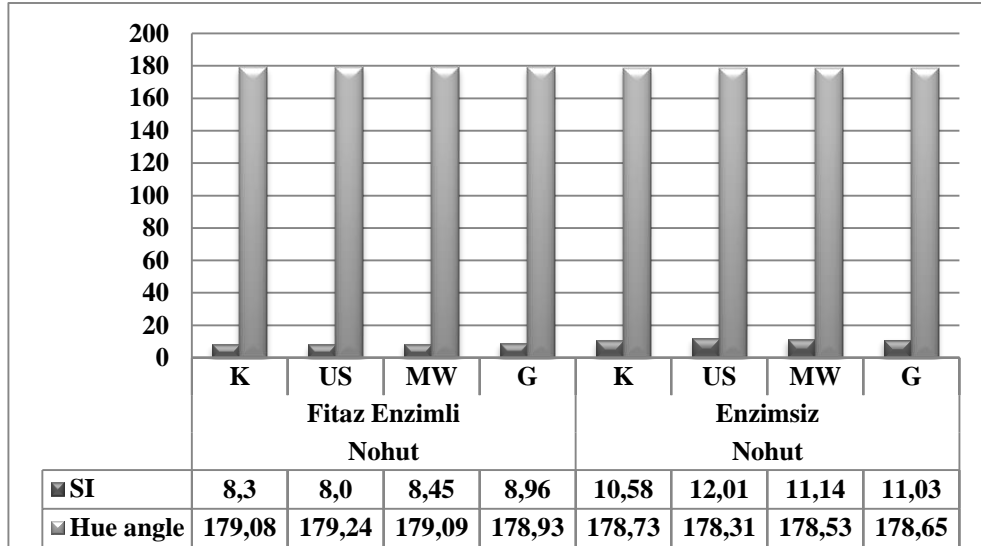
Çizelge 4.17’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; fitaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha düşük doymunluk indeksi (SI) değerleri ve daha yüksek ton açısı (Hue angle) değerleri verdiği bulunmuştur. Nohut sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde mikrodalga, ultrason ve geleneksel yöntemle üretilen nohut sütü

örnekleri istatistiki olarak benzer ve yüksek doygunluk indeksi (SI) değerleri ile istatistiki olarak benzer ve düşük ton açısı (Hue angle) değerleri göstermiştir. En düşük doygunluk indeksi (SI) ve en yüksek ton açısı (Hue angle) değerleri kontrol örneğinde tespit edilmiştir.



Şekil 4. 19. Yulaf sütü örneklerinin SI (doygunluk indeksi) ve hue angle (ton açısı) değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodal; G: Geleneksel

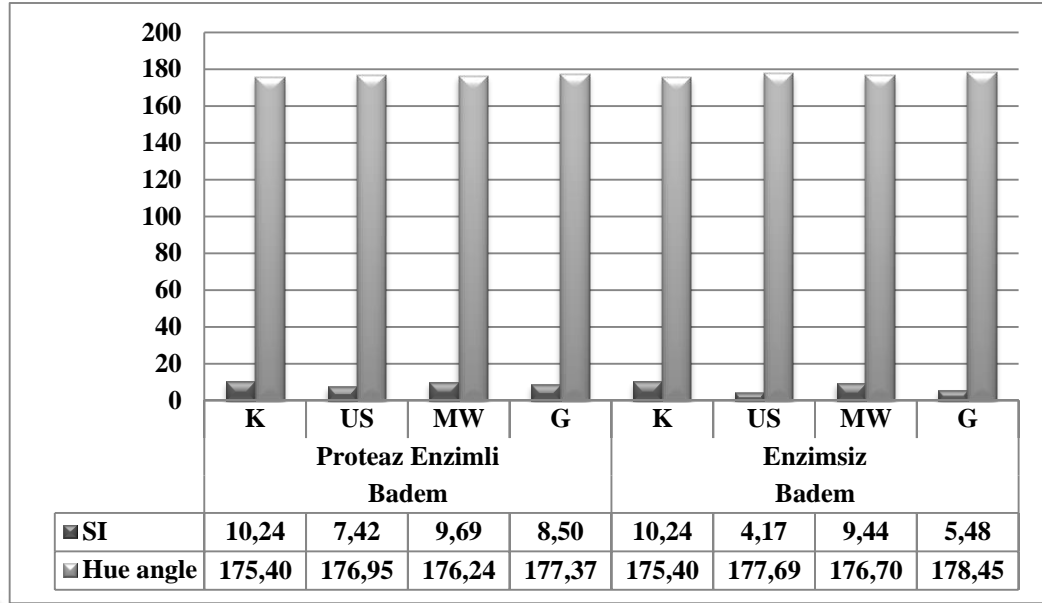
Şekil 4.20 'de nohut sütü örneklerinin SI (doygunluk indeksi) ve hue angle (ton açısı) değeri değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksyonu gösterilmektedir. Ton açısı değerlerinde enzimli ve enzimsiz örnekler arasında belirgin bir fark gözlemlenmemektedir. Tüm işleme yöntemleri açısından da ton açısı değerleri oldukça benzer olup, büyük bir değişiklik göstermemektedir. Bu durum, uygulanan işlemlerin nohutun temel renk tonunu önemli ölçüde değiştirmedini göstermektedir. SI değerleri tüm gruplarda oldukça yüksek olup, belirgin bir değişim gözlenmemektedir.



Şekil 4. 20. Nohut sütü örneklerinin SI (doymunluk indeksi) ve hue angle (ton açısı) değeri değerleri üzerinde etkili "Enzim İlavesi x Yöntemler" interaksyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.18'de gösterilen karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü enzim ilavesi açısından incelendiğinde; proteaz enzimi ilave edilen örneklerin ilave edilmeyen örneklere göre daha yüksek doymunluk indeksi ve ton açısı değerleri verdiği görülmüştür. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en yüksek doymunluk indeksi (SI) değerlerinin kontrol örneğinde tespit edildiği, bunu sırasıyla mikrodalga, geleneksel ve ultrason yöntemiyle üretilen süt örneklerinin izlediği, ultrason yöntemi ile üretilen badem sütü örneklerinin ise en düşük doymunluk indeksi (SI) değerleri verdiği gözlenmiştir. Badem sütü örnekleri yöntem açısından incelendiğinde ise en düşük ton açısı (Hue angle) değerleri kontrol örneğinde tespit edilmiş, geleneksel yöntemle üretilen süt örnekleri ise en yüksek ton açısı değerleri vermiştir.

Şekil 4.21 'de badem sütü örneklerinin SI (doymunluk indeksi) ve hue angle (ton açısı) değeri değerleri üzerinde etkili "Enzim İlavesi x Yöntemler" interaksyonu gösterilmektedir. Ton açısı enzimli ve enzimsiz gruplar arasında ve işleme yöntemlerinde belirgin bir fark gözlemlenmemektedir. Bu durum, uygulanan işlemlerin badem sütünün temel renk tonunu önemli ölçüde değiştirmedeğini göstermektedir.



Şekil 4. 21. Badem sütü örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değeri değerleri üzerinde etkili “Enzim İlavesi x Yöntemler” interaksiyonu. K: Kontrol; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Yapılan bir çalışmada yüksek basınçlı homojenizasyon ve ısıl işlemlerin fındık ve badem sütlerinin ve kararlılık ve fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar badem sütünün daha beyaz ve açık bir renkte görüldüğünü, renk tonunun ve kroma değerlerinin azaldığını ve bunun sonucunda daha az doymuş kırmızımsı bir renk elde edildiği rapor edilmiştir (Bernat ark. 2015).

Maghsoudlou ve ark (2016) yaptıkları çalışmalarında, ultrason uygulamasının badem sütünün renk değerleri üzerinde önemli etkiler gözlemlendiğini belirtmişlerdir (Maghsoudlou ark. 2016).

Yapılan başka bir çalışmada, inek sütü yerine ikame olarak nohut ve hindistan cevizi bazlı bitki sütleri geliştirilmiştir. Kroma değerlerinin, hindistan cevizi sütü konsantrasyonu arttıkça azaldığı rapor edilmiştir (Jeske, Zannini, ve Arendt, 2017; Rincon ark. 2020).

4.1.7 Mikro yapı

Şekil 4.22, yulaf, nohut ve badem bazlı bitkisel süt örneklerinin mikroskop görüntüsü göstermektedir. Mikrograflarda, sütün homojenizasyonunun askıda kalan parçacıkların boyutunu önemli ölçüde azaltması nedeniyle homojenize edilmiş ve

homojenize edilmemiş örnekler arasında gözle görünür şekilde farklılıklar tespit edilmiştir.

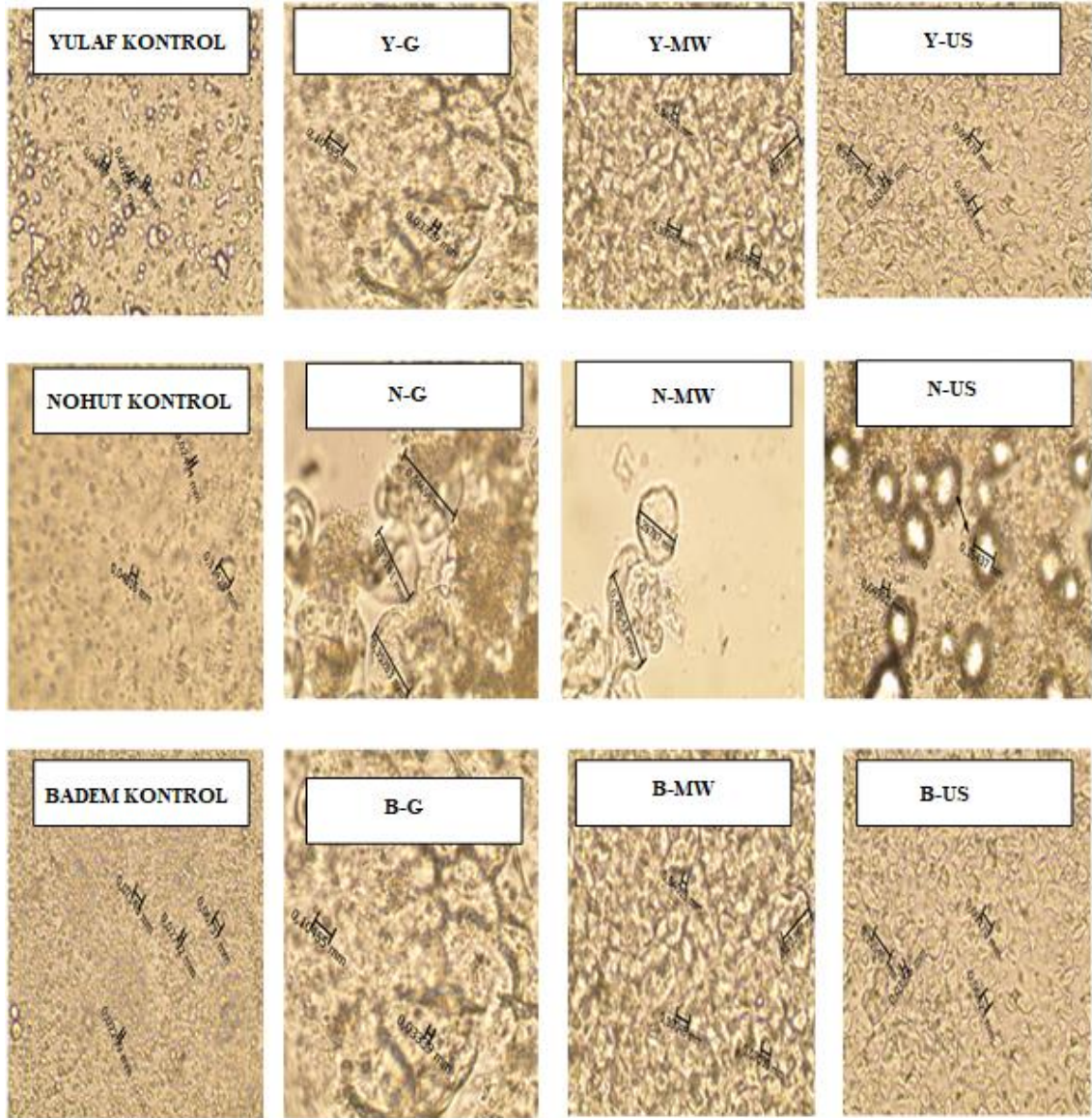
Enzimlerin mikro yapı üzerindeki genel etkileri arasında bitkisel sütlerde protein ve polisakkaritlerin parçalanmasında veya modifikasyonunda etkili olduğu gelmektedir. Örneğin, proteazlar proteinlerin hidrolizini sağlamakta ve bu durum ürünün partikül boyutunda değişikliğe neden olarak mikro yapıyı etkilemektedir.

Mikrograflar, işlenmiş ve işlenmemiş örnekler arasında belirgin bir fark olduğunu göstermiştir. Çünkü farklı yöntemler uygulanmış sütlerden ultrason uygulaması, sütteki askıda kalmış parçacıkların boyutunu önemli ölçüde azaltmıştır. Görülebileceği gibi, kontrol yöntemi ile elde edilmiş süt çoğunlukla düzensiz şekilli deforme edilebilir parçacıklardan ve hidrofobik karakterlerinden dolayı floküle proteinler olduğu düşünülen birkaç küçük parçacıktan oluştuğu düşünülmektedir. Öte yandan, geleneksel ve mikrodalga işlemi sonrasında nohut örneklerinde her iki grupta da son derece büyük protein kümeleri gözlemlenmiştir. Yulaf sütünde ise yüksek oranda nişasta bulunması nedeniyle sıcaklıktan dolayı jelatinleşme sürecinin meydana gelmesi mümkündür.

Bernat ve ark (2015) çalışmasında yüksek basınçlı homojenizasyon ve ısıl işlemlerin badem ve fındık sütünün fizikokimyasal özellikleri ve kararlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Homojenizasyon basıncının ürün mikro yapısı üzerindeki etkisi gözlenmiştir (Bernat ark. 2015).

Fındık sütü örneklerinin mikroskop görüntüsü incelendiğinde, kontrol ve ısıl işlem görmüş örnekler arasında ve her iki grupta da ısıl işlem görülmüş ve ultrason uygulanmış örnekler arasında belirgin bir fark olduğu görülmüştür (Şen ve Okur, 2023). Munir ve ark. (2019), ultrason işlemine tabi tutulan soya sütünde yağ globüllerinin boyutunda belirgin bir küçülme ve protein stabilitesinde artış gözlemlenmiştir (Munir ve ark. 2019).

Rashidi ve ark. (2020), mikrodalga yöntemi uygulanan pirinç sütlerinde nişasta granüllerinin yüzey yapısında bozulma gözlemlendiğini ve bunun daha iyi çözünürlük sağladığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4. 22. Bitkisel sütleri numunelerinin mikro yapısı.

US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

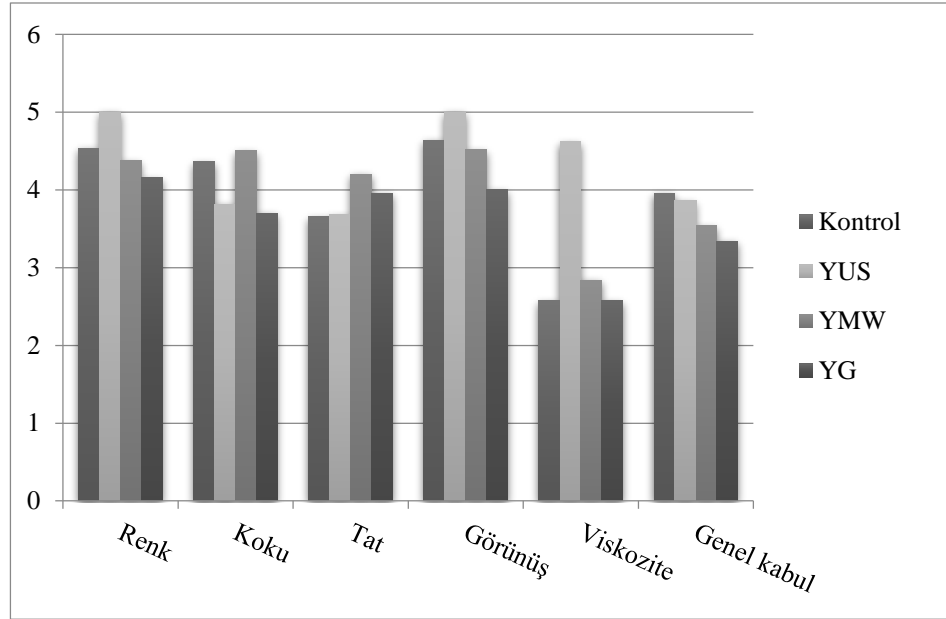
4.1.8. Duyusal değerlendirme

Enzim ilave edilmiş ve 4 farklı yöntemle elde edilmiş yulaf, nohut ve badem sütleri duyusal değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Şekil 4.23, 4.24, 4.25’de yulaf, nohut ve badem bazlı bitkisel süt örneklerine ait duyusal analiz sonuçları gösterilmektedir.

Yulaf sütü üretiminde kullanılan yöntemler arasında YU örneği en yüksek skorları almıştır. Bu durum, YU örneğinin renk ve görsellik açısından tüketiciler tarafından en çok beğenilen ürün olduğunu göstermektedir. YG örneği renk açısından

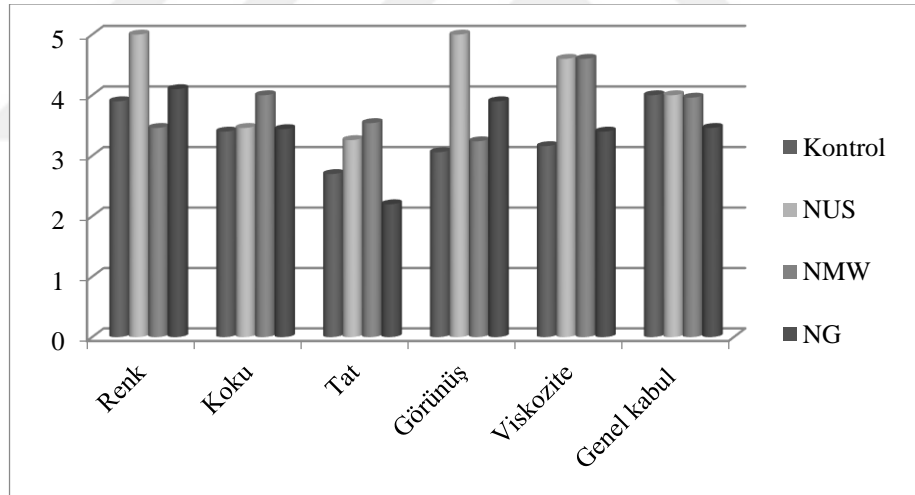
en düşük skorları almıştır. Koku açısından en yüksek skorları YM süt örneği toplamış, kontrol örneği ise ona yakın bir değere sahip bulunmuştur. Tat açısından tüketiciler YM örneğine en yüksek skorlar verirken, kontrol ve YU örneği benzer ve en düşük skorları almıştır. Süt örnekleri görünüş bakımından değerlendirildiğinde YU örnekleri 5 tam puan alarak en beğenilen süt olmuştur. YU örneği açık ara en yüksek viskozite puanını almıştır. Bu, YU grubunun kıvam açısından en çok tercih edilen örnek olduğunu göstermektedir. Diğer tüm gruplar (özellikle kontrol ve YG) daha düşük viskozite puanlarıyla kıvam açısından dezavantajlı görünmektedir. Genel kabul edilebilirlik açısından bakıldığında; en yüksek skorları kontrol örneği alırken, onu yakın bir skorlar YU YM ve YG örneği takip etmektedir. Bu sonuç, YU grubunun genel anlamda tüketiciler tarafından en beğenilen formülasyon olduğunu ortaya koymaktadır.

Yulaf sütü içeren ürünlerin genel tüketici memnuniyetinin yüksek olduğu ve tat-kıvam dengesinin bu kabulü desteklediği vurgulanmaktadır (Jeskeve ark., 2017). Yulaf sütünün yüksek viskozite sağlayan beta-glukan bileşeni sayesinde, özellikle kıvam açısından süt ürünlerine benzer duyusal özellikler sunduğu bildirilmiştir (Mäkinen ve ark. 2016). Yapılan çalışmada tüketicilerin yulaf sütünün hafif tatlı ve nötr lezzet profilini olumlu karşıladığı, özellikle tat yönünden yüksek puanlar verdiği bildirilmiştir (Bock ve ark., 2021). Yapılan bir çalışmada, yulaf sütünün görünüş olarak tüketicilere daha doğal ve süt benzeri bir alternatif sunduğu, görsel beğenin yüksek olduğu belirtilmiştir (Sethi ve ark., 2016).



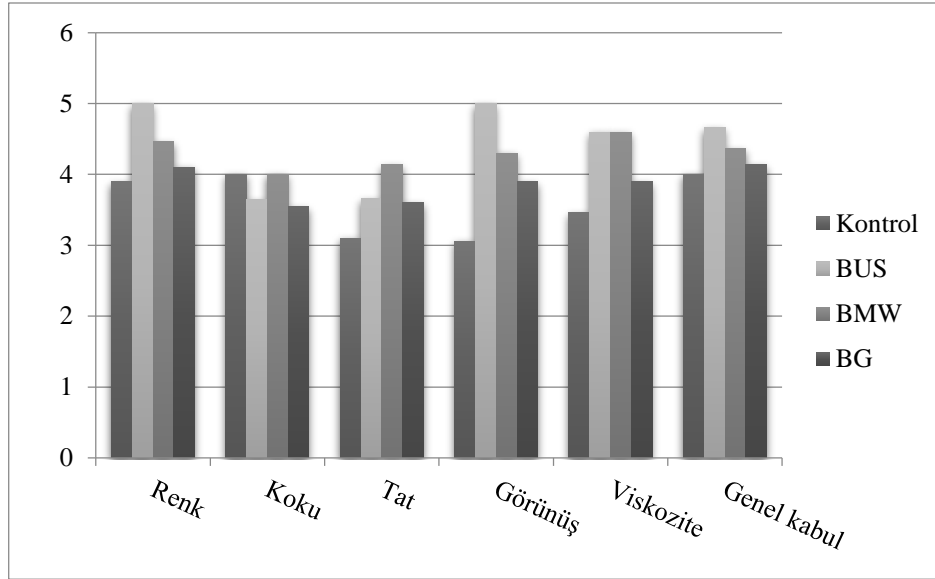
Şekil 4. 23. Yulaf sütü örneklerine ait duyu analizi sonuçları

US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel



Şekil 4. 24. Nohut sütü örneklerine ait duyu analizi sonuçları

US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel



Şekil 4. 25. Badem sütü örneklerine ait duyu analizi sonuçları

US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Nohut sütü duyu analizi açısından değerlendirildiğinde; farklı örneklerin renk, koku, tat, görünüş, viskozite ve genel kabul açısından değişiklik gösterdiği görülmektedir. En yüksek renk skoru NU örneğine ait olup, bu da en beğenilen renk olduğunu göstermektedir. En düşük renk skoru ise NM örneğine verilmiş olup, bu örneğin renk açısından daha az tercih edildiği aşikârdır. En beğenilen koku NM örneğine ait bulunmuş olup, diğer not sütleri ise birbirine yakın değerlere sahiptir. NM örneği en en beğenilen tat olarak değerlendirilmiş ve yüksek tat skorları almış, NG örneği ise tat açısından en düşük skorları almıştır. NU örneği en iyi görünüş skorları ile (5 tam puan) en beğenilen örnek olmuştur. NU ve NM en yüksek viskozite skorları göstermiş, kontrol örneği ise daha akışkan bulunmuştur. En yüksek genel kabul edilebilirlik puanı NU ve kontrol örneğine verilirken, NG en düşük kabulü almıştır. Bu, NU örneğinin genel anlamda tüketiciler tarafından en fazla beğenildiğini göstermektedir.

Boukid ve ark. (2022), nohut sütü içeren ürünlerin özellikle aromalandırıldığında daha yüksek tüketici memnuniyeti sağladığını ifade etmiştir. Viskozite parametresinde nohut sütü içeren gruplar yüksek puan almış; bu, doğal protein ve nişasta içeriğine bağlanmıştır. Nohut sütü, kremi ve yoğun kıvam sağlayarak bu alanda olumlu değerlendirilmiştir (Mäkinen ve ark. 2016).

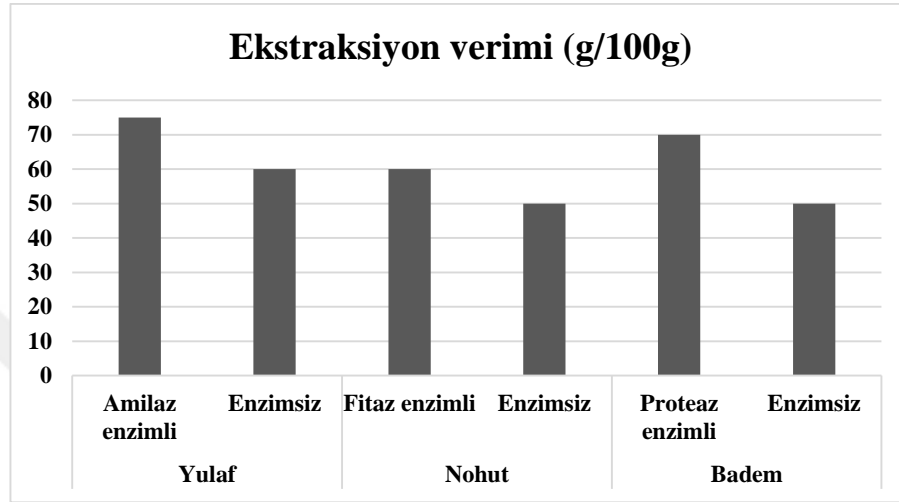
Badem sütü duyuusal analiz sonuçlarına göre, uygulanan yöntemlere göre renk, koku, tat, görünüş, viskozite ve genel kabul açısından değişiklik gösterdiği görülmektedir. BU örneği renk açısından 5 tam puan alarak en beğenilen örnek olmuş bunu BM örneği izlemiş, en düşük skorlar kontrol örneği ile elde edilmiştir. Bu durum, badem sütünün özellikle uygun formülasyonlarla süt benzeri görünüm sağlayabildiğini göstermektedir. Tüm gruplarda koku skorları birbirine yakın bulunmuş, ancak BG grubu nispeten daha düşük bir ortalama göstermiştir. BM örneği, en yüksek tat skoruna sahip bulunmuştur. BG ve BU grupları ise tat açısından daha düşük puanlar almış, kontrol grubuna nazaran yüksek puanlar almışlardır. BU grubu, görünüş açısından en yüksek puanı almıştır. Bu, badem sütünün estetik görünüş kazandırmada olumlu katkı sunduğunu göstermektedir. BM ve BU grupları, viskozite bakımından kontrol örneğinin üzerinde puanlar alarak beğenilmiştir. Bu, badem sütünün yapıya katkı sağladığını, özellikle kıvam açısından olumlu etki gösterdiğini göstermektedir. Tüm badem sütü grupları kontrol grubundan daha yüksek genel kabul edilebilirlik puanları almıştır. BU grubu, genel kabul açısından en yüksek değere sahiptir.

Yapılan bir çalışmada, badem sütünün tüketici tarafından süt benzeri rengi nedeniyle olumlu karşılandığı ve görsel olarak tercih edilebilir olduğu vurgulanmıştır (Sethi ve ark., 2016). Badem sütünün daha nötr ve alışılabılır aromalara sahip olması, tat kabulünü artıran önemli bir faktör olarak sunulmaktadır (Mäkinen ve ark. 2016). Badem sütünün kıvamı artırmak için ideal bir baz olduğu, özellikle ısıl işlem ve stabilizatör desteği ile kıvamlı ve hoş yapılar elde edilebildiği belirtilmiştir (Vanga ve ark. 2018). Yapılan çalışmada, badem sütünün genellikle yüksek genel kabul skorları aldığı ve piyasadaki bitkisel süt alternatifleri arasında popüler olduğunu ortaya koymuştur (García-Cano ve ark. 2019).

4.1.9. Ekstraksiyon verimi

Bitkisel sütlerin üretiminde enzim ilavesi, ekstraksiyon verimini ve ürün kalitesini artırmak için kullanılabilen bir yöntemdir. Enzimler, bitkisel materyalde bulunan hücre duvarı yapılarını ve polisakkaritleri parçalayarak çözünür bileşenlerin ekstraksiyonunu kolaylaştırır. Bu süreç, özellikle protein, nişasta ve yağ gibi besin öğelerinin verimli bir şekilde bitkisel süte geçmesini sağlar. Badem sütü ekstraksiyonunda ise proteaz enzimi ilavesinin verimi artırması; yulaf sütü

ekstraksiyonunda alfa amilaz enzimi kullanımı ile nişastanın parçalanması; nohut sütü ekstraksiyonunda fitaz enzimi kullanımının antibesinsel faktörleri azaltması; mikrodalga ve ses dalgalarının kullanılmasıyla birlikte kombine verimliliğin artmasına neden olabilmektedir. Enzim ilavesi, daha yüksek ekstraksiyon verimi sağladığı için üretim sırasında ham madde kullanımını azaltabilir ve atık miktarını düşürebilir. Bu da hem ekonomik hem de çevresel açıdan avantajlar sunmaktadır.



Şekil 4. 26. Bitkisel süt numunelerinin enzim ilavesine göre ekstraksiyon verimleri

Şekil 4.26’da bitkisel süt örneklerine ait ekstraksiyon verimi değerleri verilmektedir. Bitkisel süt örneklerinde ekstraksiyon verimi enzim ilaveli ve ilavesiz olarak gerçekleştirilmiş ve enzim ilave edilen tüm bitkisel sütlerde ekstraksiyon veriminin arttığı görülmüştür. Nohut sütünde bu oran 50 g/100g ‘dan 60 g/100g’a yükselirken, badem sütünde bu durum 50 g/100g ‘dan 70 g/100g’a arttığı şeklinde gözlemlenmiş, yulaf sütünde ise ekstraksiyon veriminin 60 g/100g ‘dan 75 g/100g’a yükseldiği görülmüştür. En fazla verim artışı yulaf sütünde sağlanmış bunu badem sütü izlemiştir. Fakat nohut sütünün ekstraksiyon verimi bitkisel sütler içerisinde en düşük artış olarak tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada soya sütünün mikrodalga destekli ekstraksiyonunun, özellikle ekstraksiyon verimi açısından kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiği bulunmuştur. Yeni uygulanan bu mikrodalga yönteminin, geleneksel yöntemle göre %23.92 oranında daha fazla soya sütü elde edilmesini sağladığı ve bunun sonucunda kg

soya fasulyesi başına 4.86 kg verim elde edildiği rapor edilmiştir (Varghese ve Pare, 2019).

Yapılan başka bir çalışmada enzim konsantrasyonunun ve sıvılaştırma süresinin verim, kıvam indeksi ve toplam katı madde miktarı üzerindeki etkisini belirlemek ve enzimatik sıvılaştırma proses parametrelerini optimize etmek amaçlanmıştır. Yulaf sütü verimi, partikül boyutunun küçültülmesi, hidrotermal işlem ve enzimatik işlem vb. gibi çeşitli ön işlemler kullanılarak artırılabilirdiği belirtilmiştir. Enzimatik işlem tek başına veya diğerleriyle birlikte, daha iyi yulaf sütü kalitesi ve kabul edilebilirliği ile artan verimle sonuçlanan potansiyel işlemlerden biridir (Deswal, Deora, ve Mishra 2014).

Bir araştırmada, selüloz enzimi kullanılarak badem sütü üretiminde toplam katı madde ekstraksiyonunun %25-30 oranında arttığı rapor edilirken (Karabulut ve ark., 2021), başka bir çalışmada pirinç sütü üretiminde amilaz ilavesinin ekstraksiyon verimini %40 oranında artırdığı ve ürünün daha homojen bir yapıya sahip olmasını sağladığı bildirilmiştir (Sharma ve ark., 2020). Soya sütü üretimi üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise lipaz enziminin ilavesiyle toplam yağ içeriğinde önemli bir artış sağlandığı belirtilmiştir (Lee ve Kim, 2019).

4.2. Bitkisel Süt Tozu Örneklerinin Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

Bir önceki aşamada elde edilen yulaf, nohut ve badem sütleri içinde enzim ilave edilen örnekler ile ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntemler kullanılarak elde edilen süt örnekleri dondurarak kurutma yöntemi ve kırım pencere kurutma yöntemi ile kurutularak elde edilen bitkisel süt tozlarının analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Yiğın yoğunluğu, parçacık yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk

Nihai ürün sınıflandırması için önemli bir karakteristik özellik ise yiğın ve sıkıştırılmış yoğunluktur. Toz gıdaların yiğın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluğu, parçacık yoğunluğu ve akışkanlığı yüksek oranda dağılımıyla ve parçacık boyutu ile

ilişkilidir (C' anovas, 2005). Yığın yoğunluğu, paketleme yoğunluğu olarak da adlandırılır, bir malzemenin partikülleri arasındaki boşlukları (porozite) da hesaba katarak birim hacim başına düşen toz ağırlığını temsil eder ve genellikle kg/m^3 veya g/cm^3 olarak belirtilmektedir. Yüksek yığın yoğunluğu, nakliye ve paketleme malzemelerinin maliyetini azaltabilir. Düşük yığın yoğunluğuna sahip tozlar daha fazla hava içerdiğinden depolama üzerinde olumsuz bir etkiye sahip, oksidasyon reaksiyonlarının meydana gelme ihtimali daha yüksektir (Samaram ve ark. 2015).

Parçacık yoğunluğu tek bir partikülün yoğunluğu olup, hesaplanırken partikül içindeki boşluklar dahil edilmeden sadece malzemenin hacmi alınır.

Sıkıştırılmış yoğunluk ve yığın yoğunluğu arasındaki ilişki, kohezyonun etkili bir değerlendirmesi olduğundan, sıkıştırılmış ve yığın yoğunlukları, toz davranışını tanımlamada en temel ve kullanışlı terimlerdir. Sıkıştırılmış yoğunluk, bir toz malzemenin belirli bir kuvvet uygulanarak sıkıştırılması sonucunda elde edilen hacme göre hesaplanan yoğunluğudur. Bu sebeple sıkıştırılmış yoğunluk, yığın yoğunluğundan daha yüksek bulunur.

Bitkisel süt tozlarına ait yoğunluk sonuçları Çizelge 4.19, 4.20, 4.21'de verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri $0.30\text{--}0.52 \text{ g/cm}^3$ arasında; ortalama $0.40\pm 0.12 \text{ g/cm}^3$, parçacık yoğunluğu değerleri $1.11\text{--}2.36 \text{ g/cm}^3$ arasında; ortalama 1.65 ± 0.08 , sıkıştırılmış yoğunluk değerleri $0.47\text{--}0.77 \text{ g/cm}^3$ arasında; ortalama $0.61\pm 0.14 \text{ g/cm}^3$ olarak değişiklik göstermiştir. Nohut sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri $0.24\text{--}0.59 \text{ g/cm}^3$ arasında ortalama 0.41 ± 0.16 ; parçacık yoğunluğu değerleri $1.22\text{--}3.19 \text{ g/cm}^3$ arasında; ortalama $1.96\pm 0.10 \text{ g/cm}^3$, sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ise $0.40\text{--}0.83 \text{ g/cm}^3$ arasında; ortalama $0.63\pm 0.21 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Badem sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri $0.12\text{--}0.40 \text{ g/cm}^3$ arasında ortalama 0.25 ± 0.15 ; parçacık yoğunluğu değerleri $1.24\text{--}2.53 \text{ g/cm}^3$ arasında; ortalama $2.07\pm 0.07 \text{ g/cm}^3$, sıkıştırılmış yoğunluk değerleri $0.25\text{--}0.62 \text{ g/cm}^3$ arasında; ortalama $0.45\pm 0.15 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri bakımından incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve "Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi" interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, parçacık yoğunluğu değerleri bakımından

incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.05$ seviyesinde önemli olduğu ve kurutma yöntemi açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu, sıkıştırılmış yoğunluk değerleri bakımından incelendiğinde ise; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.22).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri bakımından incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu, parçacık yoğunluğu değerleri bakımından incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, sıkıştırılmış yoğunluk değerleri bakımından incelendiğinde ise; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.23).

Çizelge 4. 19 Yulaf sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)
Ultrason (US)	DK	0.30±0.00	1.44±0.01	0.50±0.00
	KPK	0.48±0.00	1.68±0.00	0.70±0.01
Mikrodalga (MW)	DK	0.30±0.01	2.36±0.20	0.48±0.00
	KPK	0.52±0.01	1.98±0.03	0.73±0.01
Geleneksel (G)	DK	0.30±0.01	1.11±0.01	0.47±0.00
	KPK	0.52±0.00	1.34±0.13	0.77±0.01
Min –Maks		0.30–0.52	1.11–2.36	0.47–0.77
Ortalama±std		0.40±0.12	1.65±0.08	0.61±0.14

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. DK: Dondurarak kurutma, KPK: Kırınım pencereleli kurutma

Çizelge 4. 20 Nohut sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)
Ultrason (US)	DK	0.31±0.00	3.10±0.30	0.51±0.00
	KPK	0.59±0.01	1.55±0.00	0.82±0.01
Mikrodalga (MW)	DK	0.27±0.01	3.19±0.10	0.43±0.00
	KPK	0.54±0.00	1.45±0.30	0.80±0.00
Geleneksel (G)	DK	0.24±0.00	1.24±0.20	0.40±0.01
	KPK	0.53±0.00	1.22±0.10	0.83±0.01
Min –Maks		0.24–0.59	1.22–3.19	0.40–0.83
Ortalama±std		0.41±0.16	1.96±0.10	0.63±0.21

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. DK: Dondurarak kurutma, KPK: Kırınım pencereleli kurutma

Çizelge 4. 21 Badem sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)
Ultrason (US)	DK	0.17±0.01	2.53±0.01	0.33±0.01
	KPK	0.33±0.00	1.27±0.00	0.61±0.01
Mikrodalga (MW)	DK	0.17±0.00	1.24±0.02	0.36±0.00
	KPK	0.40±0.01	2.41±0.16	0.62±0.00
Geleneksel (G)	DK	0.12±0.01	2.45±0.08	0.25±0.02
	KPK	0.32±0.01	2.52±0.00	0.54±0.00
Min –Maks		0.12–0.40	1.24–2.53	0.25–0.62
Ortalama±std		0.25±0.15	2.07±0.07	0.45±0.25

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. DK: Dondurarak kurutma, KPK: Kırınım pencereleli kurutma

izelge 4. 22 Yulaf sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Yığın yoğunluğu		Parçacık yoğunluğu		Sıkıştırılmış yoğunluk	
		KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.01	63.00**	1.83	81.54**	0.002	19.37**
Kurutma yöntemleri (B)	1	0.13	15625**	0.00	0.23ns	0.19	3705.62**
A*B	2	0.05	31.00**	0.25	11.19*	0.003	30.62**
Hata		0.00		0.00		0.00	

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

Çizelge 4. 23 Nohut sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Yığın yoğunluğu		Parçacık yoğunluğu		Sıkıştırılmış yoğunluk	
		KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.01	120.20**	3.16	34.18**	0.06	48.78**
Kurutma yöntemleri (B)	1	0.22	5740.83**	3.65	78.99**	0.41	6064.51**
A*B	2	0.001	1.45ns	1.79	19.42**	0.06	44.39**
Hata		0.00		0.23		0.00	

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

Çizelge 4. 24 Badem sütü tozu örneklerinin yoğunluk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Yığın yoğunluğu		Parçacık yoğunluğu		Sıkıştırılmış yoğunluk	
		KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.009	85.781**	1.03	96.89**	0.019	130.34**
Kurutma yöntemleri (B)	1	0.116	2175.62**	0.00	0.00 ns	0.23	3207.2**
A*B	2	0.001	17.03**	2.93	274.93**	0.00	3.0682 ^{ns}
Hata		0.000		0.02		0.00	

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

Çizelge 4. 25 Yulaf sütü tozu örneklerinin yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)
Süte uygulanan yöntemler				
Ultrason (US)	2	0.39 ^c	1.56 ^b	0.59 ^c
Mikrodalga (MW)	2	0.40 ^b	2.17 ^a	0.60 ^b
Geleneksel (G)	2	0.41 ^a	1.22 ^c	0.62 ^a
Kurutma yöntemleri				
Dondurarak Kurutma(DK)	3	0.29 ^b	1.66 ^a	0.47 ^b
Kırınım Pencereci kurutma (KPK)	3	0.50 ^a	1.63 ^a	0.73 ^a

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p < 0.05$)

Çizelge 4. 26 Nohut sütü tozu örneklerinin yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)
Süte uygulanan yöntemler				
Ultrason (US)	2	0.45 ^a	2.32 ^a	0.66 ^a
Mikrodalga (MW)	2	0.40 ^b	2.31 ^a	0.61 ^b
Geleneksel (G)	2	0.38 ^c	1.22 ^b	0.61 ^b
Kurutma yöntemleri				
Dondurarak Kurutma(DK)	3	0.27 ^b	2.51 ^a	0.44 ^b
Kırınım Pencereci kurutma (KPK)	3	0.55 ^a	1.40 ^b	0.82 ^a

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p < 0.05$)

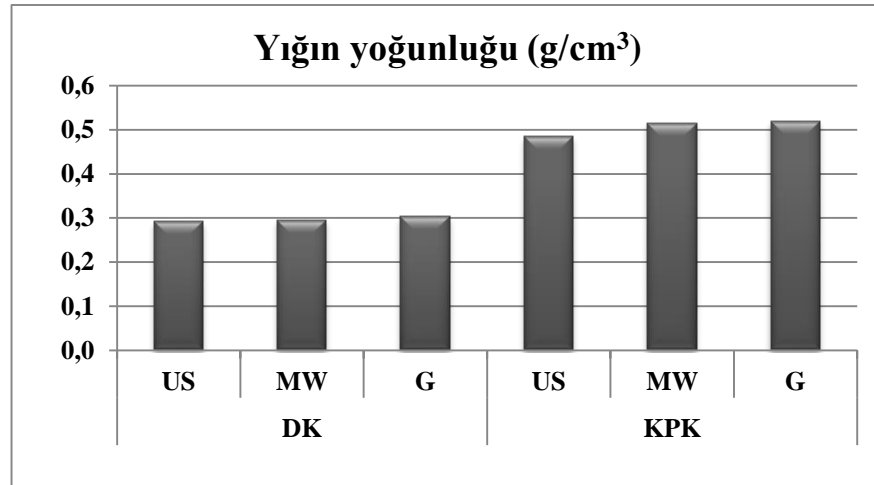
Çizelge 4. 27 Badem sütü tozu örneklerinin yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)
Süte uygulanan yöntemler				
Ultrason (US)	2	0.21 ^c	1.90 ^b	0.39 ^c
Mikrodalga (MW)	2	0.28 ^a	1.83 ^b	0.49 ^a
Geleneksel (G)	2	0.25 ^b	2.48 ^a	0.46 ^b
Kurutma yöntemleri				
Dondurarak Kurutma(DK)	3	0.15 ^b	2.07 ^a	0.31 ^b
Kırınım Pencereci kurutma (KPK)	3	0.34 ^a	2.07 ^a	0.59 ^a

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p < 0.05$)

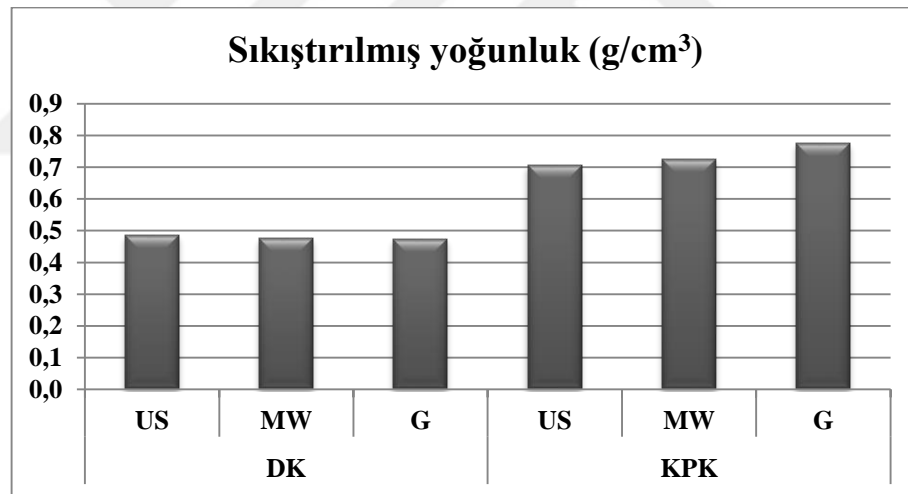
Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri bakımından incelendiğinde; Süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, parçacık yoğunluğu değerleri bakımından incelendiğinde; Süte uygulanan yöntemler ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu ve kurutma yöntemi açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu, sıkıştırılmış yoğunluk değerleri bakımından incelendiğinde ise; Süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmüştür (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.25’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu Süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin geleneksel yöntemle tespit edilmiş ve ultrason yöntemiyle üretilen süt tozu örneklerinde en düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Fakat en yüksek parçacık yoğunluğu değerleri mikrodalga yöntemiyle üretilen sütlerin tozlarında tespit edilmiş, geleneksel yöntemle üretilen süt tozu örneklerinde ise en düşük parçacık yoğunluğu değerleri belirlenmiştir. Yulaf sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde; kırım pencereci kurutma (KPK) yöntemiyle kurutulan bitkisel süt örneklerinin dondurarak kurutma yöntemine kıyasla daha yüksek yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri verdiği bulunmuştur. Dondurarak kurutma ve KPK yöntemiyle kurutulan süt örneklerinin parçacık yoğunluğu değerleri benzer olduğu tespit edilmiştir. Süt tozunun yığın yoğunluğunu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Örneğin bağıl nem, sıcaklık ve kurutma yöntemleri süt tozunun yığın yoğunluğunu etkileyebilmektedir. Yulaf sütünün, daha yüksek nişasta ve mineral içeriği nedeniyle en yüksek yığın yoğunluğuna sahip olduğu düşünülmektedir (Tian ve ark. 2024).



Şekil 4. 27. Yulaf sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel



Şekil 4. 28. Yulaf sütü tozu örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Şekil 4.27 ve 4.28’de yulaf sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu (g/cm³) ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. KPK işlemine tabi tutulan numuneler DK işlemi gören numunelere kıyasla daha yüksek yığın yoğunluğuna sahiptir. G-KPK ve KPK

MW numunesi en yüksek yığın yoğunluğuna sahiptir, bu da belirli bir işlem nedeniyle malzemenin daha yoğun paketlenmesine yol açtığını gösterebilir. DK numunelerinin yığın yoğunlukları birbirine yakın olup, KPK grubu ile kıyaslandığında daha düşük değerlere sahiptir.

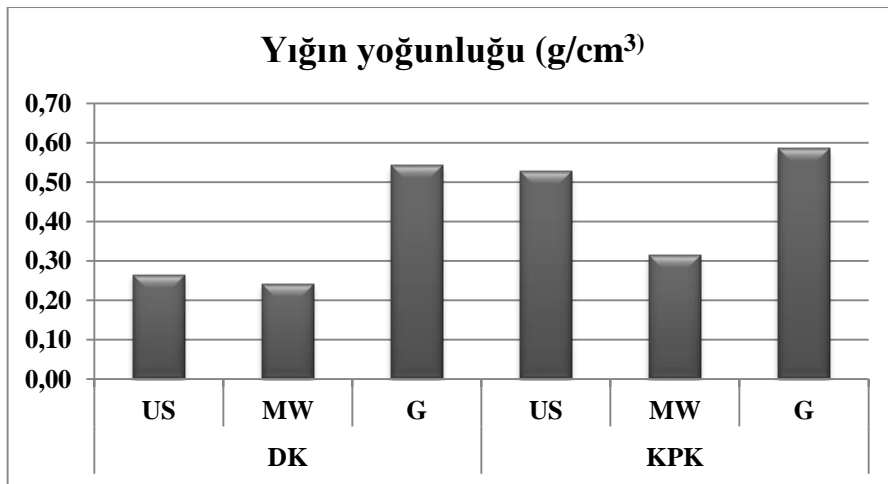
KPK, DK işlemine kıyasla daha yüksek sıkıştırılmış yoğunluk değerleri vermiştir. DK işleminde, farklı yöntemleri (G, MW, US) arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk değerleri yaklaşık olarak aynıdır. KPK işleminde, geleneksel yöntem, mikrodalga ve ultrason yöntemlerine göre biraz daha yüksek sıkıştırılmış yoğunluk değerleri vermiştir. Ancak, bu farklar çok büyük değildir.

Çizelge 4.26'de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek yığın yoğunluğu değerleri ultrason yöntemiyle üretilmiş sütlerden elde edilen tozlarda elde edilmiş, bunu sırasıyla mikrodalga ve geleneksel yöntemlerle üretilen sütlere ait tozlar takip etmiştir. Nohut sütü tozları parçacık yoğunluğu açısından incelendiğinde değerler geleneksel yöntemle en düşük değerler verirken, mikrodalga ve ultrason yöntemleri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Mikrodalga yöntemi, partikül içindeki gözenekleri artırabileceği için yoğunluğu azaltabilmektedir (Zhou ve ark. 2019).

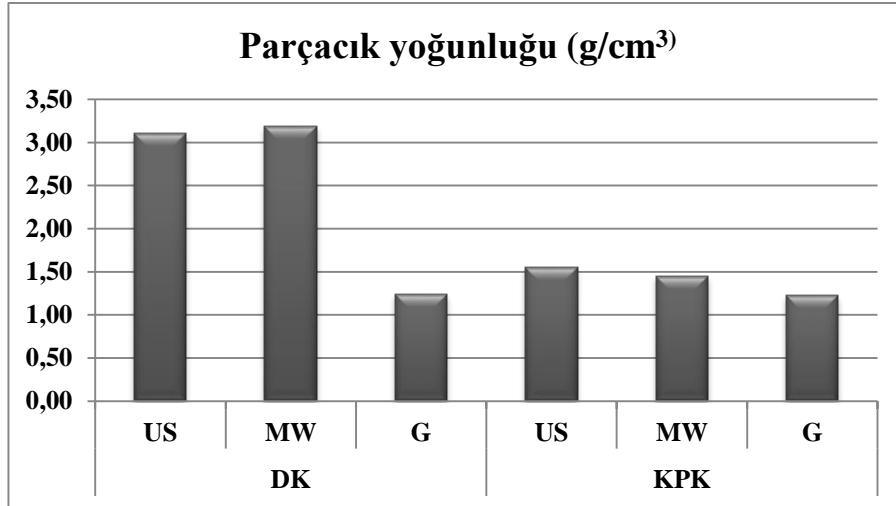
Nohut sütü tozlarına ait sıkıştırılmış yoğunluk değerleri incelendiğinde; ultrason uygulanmış sütlere ait tozlar en yüksek değerler verirken, mikrodalga ve geleneksel yöntemle üretilen sütlerin tozları istatistiki olarak benzer ve daha düşük sıkıştırılmış yoğunluk değerleri vermiştir. Ultrasonik yöntem, partikülleri daha homojen bir yapıya dönüştürebilmekte ve yüzey pürüzlülüğünü azaltarak daha yüksek yığın yoğunluğuna yol açabilmektedir (Mason ve ark. 2005). Geleneksel yöntem, genellikle daha büyük ve düzensiz partiküller oluşturmaktadır. Bu da partiküller arasında daha fazla boşluk bırakmakta ve yığın yoğunluğunun düşmesine neden olmaktadır (Jaya ve Das, 2004). Nohut sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin dondurarak kurutma yöntemine göre daha yüksek yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri verdiği bulunmuştur. Dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örnekler KPK yöntemine göre daha yüksek parçacık yoğunluğu değerlerine neden olmuştur. Bu yöntemde partiküller genellikle daha az gözenekli ve daha yoğun bir yapı sergiler. KPK yöntemi, tozun yığın yoğunluğunu artırmakta ve depolama açısından avantaj sağlamaktadır (Jayasundera ve ark. 2011). KPK yönteminde

tozlar sıkıştırıldığında yoğunlukta belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, partiküllerin daha düzenli ve sıkı bir yapıya sahip olmasıdır (Gharsallaoui ve ark. 2007).

Şekil 4.29 ve 4.30'de nohut sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu ve parçacık yoğunluğu değerleri üzerinde etkili "Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi" interaksyonu gösterilmiştir. KPK işlemi uygulanmış numuneler (G- KPK, MW-KPK, US- KPK), DK işlemi uygulanmış numunelere (G- DK, MW-DK, US-DK) kıyasla daha yüksek yığın yoğunluğu göstermektedir. US-KPK numunesi en yüksek yığın yoğunluğuna sahiptir, bu da ultrasonik işleme birlikte malzemenin daha yoğun hale gelmiş olabileceğini düşündürmektedir. DK grubu numuneleri yaklaşık 0.20 - 0.30 g/cm³ aralığında düşük yığın yoğunluğu göstermektedir. DK geleneksel, mikrodalga ve ultrason yöntemleri ile işlenen nohut sütü tozlarının yığın yoğunlukları benzer seviyelerde olup oldukça düşüktür. KPK işlemi uygulanan numunelerde yığın yoğunluğu belirgin şekilde artmıştır. Mikrodalga (MW-DK) ve ultrason (US-DK) işlemleri, nohut sütü tozunun parçacık yoğunluğunu belirgin şekilde artırırken, geleneksel yöntem (G-DK) daha düşük yığın yoğunluğu göstermektedir. DK işlemi uygulanan tüm numuneler düşük yoğunluk göstermektedir, bu da yapının daha gözenekli hale geldiğini düşündürülebilir.



Şekil 4. 29. Nohut sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerinde etkili "Süte uygulanan yöntemler Kurutma yöntemi" interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel



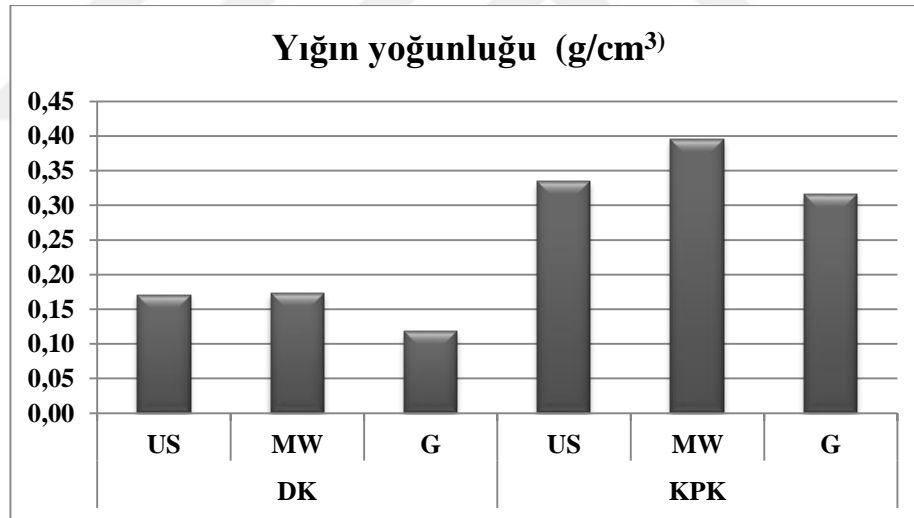
Şekil 4. 30. Nohut sütü tozu örneklerinin parçacık yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler” interaksiyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.27’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin mikrodalga yöntemiyle elde edildiği bunu sırasıyla geleneksel ve ultrason yöntemlerin takip ettiği tespit edilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilen badem sütü tozu örneklerinde parçacık yoğunluğu değerleri en yüksek değerler verirken, ultrason ve mikrodalga yöntemiyle üretilen sütlerin tozlarında istatistiki olarak benzer parçacık yoğunluğu değerleri belirlenmiştir. Badem sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde; dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin KPK yöntemiyle kurutulan örneklere göre daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ve benzer parçacık yoğunluğu değerleri verdiği bulunmuştur. Badem sütü ürünlerinin yığın yoğunlukları, artan yağ içeriği nedeniyle genellikle yulaf ve nohut sütü tozlarından daha düşüktür.

Şekil 4.31 ve 4.32’de badem sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu ve parçacık yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu gösterilmiştir. KPK işlemi, DK işleme kıyasla daha yüksek yığın yoğunluğu değerleri vermiştir. DK işleminde, mikrodalga ve ultrason yöntemleri geleneksel yöntemle göre biraz daha yüksek yığın yoğunluğu değerleri vermiştir. KPK işleminde, mikrodalga yöntemi en yüksek yığın yoğunluğu değerini vermiştir. Onu ultrason ve geleneksel yöntemler takip etmiştir. En yüksek yığın yoğunluğu değeri

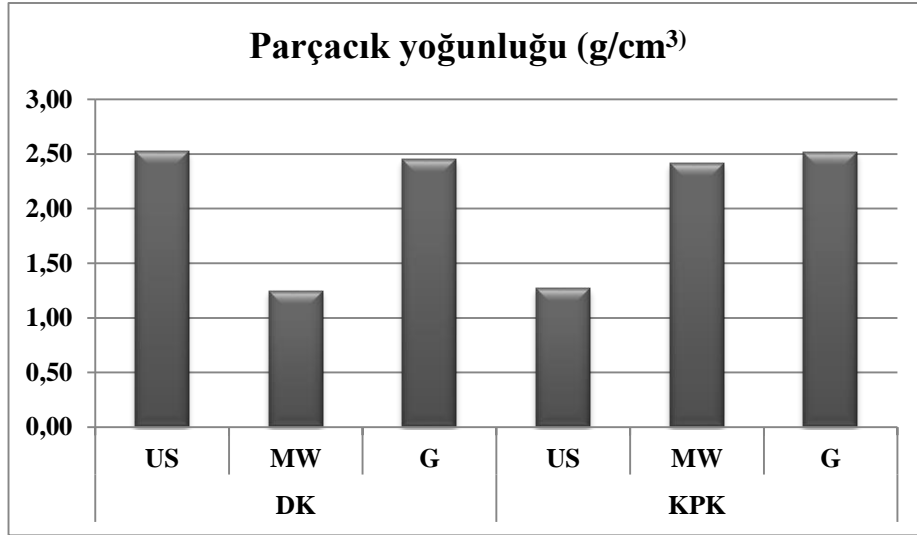
MW- KPK kombinasyonunda elde edilmiştir. En düşük yığın yoğunluğu değeri ise G-DK kombinasyonunda elde edilmiştir.

US-DK işleminden geçirilen badem sütü tozlarının parçacık yoğunluğu en yüksek değerdedir. G-DK ve US-DK işlemlerinden geçirilen bademlerin parçacık yoğunluğu değerleri birbirine yakın değerler vermiştir. MW-DK işlemlerinden geçirilen tozlar ise dondurarak kurutulmuş tozlar içerisinde en düşük parçacık yoğunluğu değerleri göstermiştir. G-KPK ve MW-KPK işlemlerinden geçirilen badem sütü tozlarının parçacık yoğunluğu G-DK DK-US işlemine benzer şekilde yüksektir. US-KPK işleminden geçirilen badem sütü tozlarının parçacık yoğunluğu MW-DK işlemine benzer şekilde düşüktür. Geleneksel işleme yönteminin (hem DK hem de KPK) bademlerin parçacık yoğunluğunu en yüksek seviyede tuttuğu görülmektedir. DK ve KPK işlemleri arasında G işlemlerinde belirgin bir fark görülmezken, MW ve US işlemlerinde de belirgin bir fark görülmektedir.



Şekil 4. 31. Badem sütü tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel



Şekil 4. 32. Badem sütü tozu örneklerinin parçacık yoğunluğu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Yapılan bir çalışmada, püskürtmeli kurutma yöntemi kullanılarak yulaf sütü tozunun yığın yoğunluğunun 376 ila 404 kg/m arasında değiştiği bulunmuştur (Tian ve ark. 2024). Saha ve ark. (2019) çalışmalarında, üç değişken kullanılarak kuru yer fıstığı sütünü püskürterek kurutma yöntemi ile kurutmuştur. Yer fıstığı sütü tozunun yığın yoğunluğunun 0.331 ila 0.419 g/cc aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada Kurutulmuş fıstık-börülce sütünün yığın yoğunlukları sırasıyla 0.52 ila 0.59 g/cm³ olarak rapor edilmiştir (Aidoo ve ark. 2010).

4.2.2 Hausner oranı (HR) ve Carr indeksi (CI)

Hausner oranı (HR) ve Carr indeksi (CI), çoğu toz bazlı uygulamalarda toz akışını tahmin etmekte kullanılmaktadır. Hem HR hem de CI, tozların hem yığın hem de sıkıştırılmış yoğunluklarına bağlı olan sayısal bir değeri temsil etmektedir (Kaleem ve ark. 2021). Carr indeksi değeri 15'ten küçük olduğunda partikülün akışkanlığı çok iyi, 15-20 arası (iyi), 20-35 arası (zayıf), 35-45 arası (kötü) ve 45'in üstü (çok kötü) olarak kabul edilir. HR değeri 1.2'den az olduğunda toz ürünün yapışkanlığı düşük; 1.2–1.4 (orta); daha büyük olduğunda yüksek yapışkanlık olarak tanımlanmaktadır (Bhandari ve ark. 2013; Cuq ve ark. 2013).

Bitkisel süt tozlarına ait Hausner oranı ve Carr indeksi sonuçları Çizelge 4.28, 4.29 ve 4.30'de verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı 1.42–1.63 arasında, ortalama 1.55 ± 0.09 ve Carr indeksi 0.32–0.40 arasında, ortalama 0.36 ± 0.03 , nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı 1.41- 1.70 arasında, ortalama 1.57 ± 0.11 ; Carr indeksi 0.28–0.41 arasında, ortalama 0.36 ± 0.04 ve badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı 1.62-2.13 arasında, ortalama 1.91 ± 0.19 ve Carr indeksi 0.37-0.54 arasında, ortalama 0.47 ± 0.06 değişiklik göstermiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı değerleri bakımından incelendiğinde süt tozu süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür Çizelge 4.31. Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin Carr indeks değerleri bakımından incelendiğinde süt tozu süte uygulanan yöntemler istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$), kurutma yöntemi açısından $p < 0.05$ seviyesinde önemli, “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.31).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu ve badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” açısından $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.32 ve 4.33).

Çizelge 4.34'de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek Hausner oranı geleneksel yöntemle üretilmiş sütlere ait tozlarda belirlenmiş, mikrodalga yöntemi ile üretilen yulaf sütü tozu örnekleri en düşük değerleri vermiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin Carr indeks değerleri süte uygulanan yöntemlerden etkilenmemiş, uygulanan yöntemlere ait örnekler istatistiki olarak benzer Carr indeks değerleri göstermiştir. Yulaf sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde; dondurularak kurutma yöntemi ile elde edilen örneklerin Hausner oranı ve Carr indeks değerleri kırımım pencereci kurutma yöntemine kıyasla daha yüksek değerler vermiştir. Daha yoğun ve düzenli partikül yapısı nedeniyle, kırımım pencereci kurutma yöntemiyle elde edilen süt tozlarının CI değeri düşük bulunmuştur. Bu, tozun daha iyi akışkanlık özelliklerine sahip olduğunu gösterir (Jayasundera ve ark. 2011).

Çizelge 4. 28 Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeksi, porozite ve higroskopisite değerlerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Hausner oranı	Carr İndeks	Porozite (%)	Higroskopisite (%)
Ultrason (US)	DK	1.60±0.00	0.40±0.00	66.70±0.34	0.97±0.16
	KPK	1.46±0.01	0.32±0.01	58.02±0.08	2.31±0.31
Mikrodalga (MW)	DK	1.63±0.01	0.38±0.00	79.90±0.67	1.77±0.28
	KPK	1.42±0.01	0.32±0.01	63.19±0.57	2.23±0.24
Geleneksel (G)	DK	1.61±0.01	0.37±0.00	57.32 ±0.59	1.49±0.08
	KPK	1.54±0.01	0.36±0.01	41.70±0.58	2.84±0.11
Min –Maks		1.42–1.63	0.32–0.40	41.70–79.90	0.97–2.84
Ortalama±std		1.55±0.09	0.36±0.03	61.14±2.09	1.94±0.09

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 29 Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeksi, porozite ve higroskopisite değerlerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Hausner oranı	Carr İndeks	Porozite (%)	Higroskopisite (%)
Ultrason (US)	DK	1.64±0.01	0.38±0.00	83.35±0.19	0.58±0.30
	KPK	1.41±0.00	0.28±0.01	46.69±0.70	2.30±0.22
Mikrodalga (MW)	DK	1.61±0.01	0.37±0.00	86.46±0.30	1.68±0.35
	KPK	1.48±0.01	0.33±0.00	43.50±0.50	3.06±0.42
Geleneksel (G)	DK	1.70±0.00	0.41±0.01	66.74±0.60	0.46±0.00
	KPK	1.61±0.01	0.38±0.00	31.59±0.50	2.46±0.01
Min –Maks		1.41–1.70	0.28–0.41	31.59–86.46	0.46–3.06
Ortalama±std		1.57±0.11	0.36±0.04	59.72±2.93	1.76±0.50

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 30 Badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeksi, porozite ve higroskopisite değerlerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Hausner oranı	Carr İndeks	Porozite (%)	Higroskopisite (%)
Ultrason (US)	DK	2.05±0.07	0.51±0.01	87.26±0.06	1.35±0.00
	KPK	1.82±0.00	0.45±0.00	52.29±0.66	1.43±0.05
Mikrodalga (MW)	DK	2.10±0.00	0.52±0.00	71.15±0.01	1.83±0.01
	KPK	1.62±0.02	0.37±0.00	73.99±0.75	1.26±0.16
Geleneksel (G)	DK	2.13±0.03	0.54±0.02	89.84±1.02	3.46±0.01
	KPK	1.74±0.01	0.43±0.01	78.35±0.06	1.47±0.06
Min –Maks		1.62–2.13	0.37–0.54	52.29–89.84	1.26–3.46
Ortalama±std		1.91±0.99	0.47±0.24	75.48±0.70	1.80±0.13

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 31 Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Hausner oranı		Carr İndeks		Porozite		Higroskopisite	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.05	33.44**	0.008	2.35 ^{ns}	1.83	81.54**	0.58	6.38*
Kurutma yöntemleri (B)	1	0.06	880.11**	0.008	49.23**	0.00	0.23 ^{ns}	3.28	72.04**
A*B	2	0.01	78.77**	0.002	6.68*	0.25	11.98*	0.52	5.75*
Hata		0.00		0.08		0.27		0.00	

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

Çizelge 4. 32 Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Hausner oranı		Carr İndeks		Porozite		Higroskopisite	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.04	359.30**	0.006	104.25**	3.16	34.18**	2.25	2.95 ^{ns}
Kurutma yöntemleri (B)	1	0.07	1175.55**	0.009	289.00**	3.65	78.99**	8.70	22.84**
A*B	2	0.01	88.47**	0.003	45.25**	1.79	19.42**	0.19	0.25 ^{ns}
Hata		0.00		0.001		0.23		0.00	

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

Çizelge 4. 33 Badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks, porozite ve higroskopisite değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Hausner oranı		Carr İndeks		Porozite		Higroskopisite	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.016	10.82**	0.003	20.56**	460.64	423.90**	2.69	243.6**
Kurutma yöntemleri (B)	1	0.403	545.04**	0.03	436.81**	634.38	1167.56**	2.03	367.52**
A*B	2	0.03	24.065**	0.004	30.79**	728.72	670.60**	2.23	202.29**
Hata		0.003		0.00		0.00		0.07	

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

Çizelge 4. 34 Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Hausner oranı	Carr İndeks	Porozite (%)	Higroskopisite (%)
Süte uygulanan yöntemler					
Ultrason (US)	2	1.54 ^b	0.35 ^a	62.36 ^b	1.64 ^b
Mikrodalga (MW)	2	1.52 ^c	0.34 ^a	71.54 ^a	2.00 ^{ab}
Geleneksel (G)	2	1.57 ^a	0.36 ^a	49.50 ^c	2.16 ^a
Kurutma yöntemleri					
Dondurarak Kurutma(DK)	3	1.62 ^a	0.38 ^a	67.97 ^a	1.41 ^b
Kırınım Pencereleli kurutma (KPK)	3	1.47 ^b	0.33 ^b	54.30 ^b	2.46 ^a

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Çizelge 4. 35 Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Hausner oranı	Carr İndeks	Porozite (%)	Higroskopisite (%)
Süte uygulanan yöntemler					
Ultrason (US)	2	1.52 ^b	0.33 ^c	65.02 ^a	1.44 ^a
Mikrodalga (MW)	2	1.54 ^b	0.35 ^b	64.97 ^a	2.37 ^a
Geleneksel (G)	2	1.65 ^a	0.39 ^a	49.16 ^b	1.46 ^a
Kurutma yöntemleri					
Dondurarak Kurutma(DK)	3	1.60 ^a	0.38 ^a	78.84 ^a	0.90 ^b
Kırınım Pencereleli kurutma (KPK)	3	1.49 ^b	0.33 ^b	40.59 ^b	2.61 ^a

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

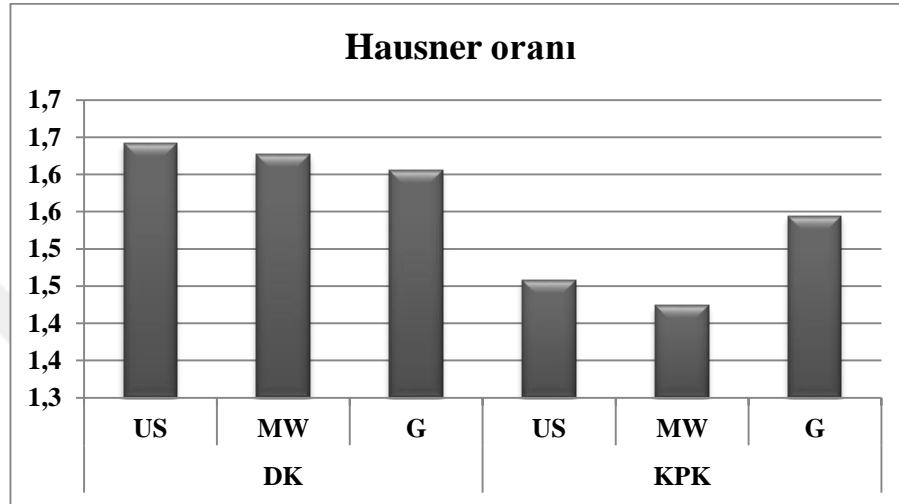
Çizelge 4. 36 Badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı, Carr indeks ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Hausner oranı	Carr İndeks	Porozite (%)	Higroskopisite (%)
Süte uygulanan yöntemler					
Ultrason (US)	2	1.93 ^a	0.47 ^a	69.77 ^c	1.39 ^b
Mikrodalga (MW)	2	1.93 ^a	0.47 ^a	72.57 ^b	1.55 ^b
Geleneksel (G)	2	1.93 ^a	0.47 ^a	84.09 ^a	2.46 ^a
Kurutma yöntemleri					
Dondurarak Kurutma(DK)	3	2.09 ^a	0.52 ^a	82.75 ^a	2.21 ^a
Kırınım Pencereleli kurutma (KPK)	3	1.72 ^b	0.42 ^b	68.21 ^b	1.39 ^b

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Şekil 4.33’de yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. Tüm uygulamalar arasında DK-US uygulamasının en yüksek Hausner değerini verdiğini görülmektedir. KPK ile kurutulmuş yulaf sütü tozlarının ise Hausner değerlerinin dondurarak kurutma yöntemine göre daha düşük Hausner oranı değerleri verdiği görülmektedir.

Geleneksel yöntemle üretilen tozların düzensiz partikül yapıları, HR değerinin yüksek olmasına neden olur. Bu, tozun zayıf akış özelliklerine sahip olduğunu gösterir (Masters, 2002). Mikrodalga yönteminin ürettiği gözenekli yapılar, HR değerinin artmasına yol açabilir. Ancak partikül boyutu ve şeklinin optimize edilmesi durumunda HR değeri iyileştirilebilir (Prat ve ark. 1996).



Şekil 4. 33. Yulaf sütü tozu örneklerinin Hausner oranı değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

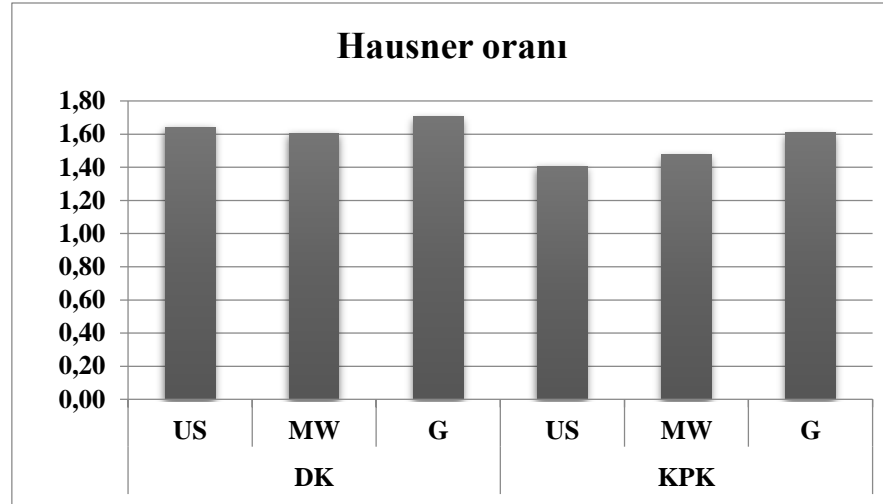
DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.35’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü tozu Süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek Hausner oranı geleneksel yöntemle elde edilen örneklerde belirlenmiştir. Ultrason ve mikrodalga yöntemleriyle üretilen yulaf sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer değerler gözlenmiştir. En yüksek Carr indeksi değerleri geleneksel yöntemle elde edilen örneklerde tespit edilirken, bunu sırasıyla mikrodalga ve ultrason yöntemiyle üretilen örnekler takip etmiş, ultrason yöntemiyle üretilen nohut sütü tozu örnekleri en düşük Carr indeks değerleri vermiştir. Geleneksel yöntemle üretilen tozlar, genellikle daha düzensiz ve heterojen partiküller oluşturduğu için CI değerleri daha yüksek çıkmış olabilir. Bu, tozların sıkışmaya daha yatkın olduğunu ve akışkanlık özelliklerinin zayıf olduğunu göstermektedir (Jaya ve Das, 2004). Ultrasonik yöntem, partiküllerin homojenliğini artırmakta ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmaktadır. Bu da partiküller

arasındaki sürtünmeyi düşürerek CI değerinin azalmasına yol açmaktadır. Daha düşük CI, daha iyi akışkanlık anlamına gelmektedir (Mason ve ark. 2005; Zhang ve ark. 2017). Nohut sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde en düşük Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri gözlenmiştir. KPK yöntemiyle kurutulan tozlarda partikül şekli ve yoğunluk daha homojen olduğundan HR değerleri genellikle 1.1-1.25 aralığında kalır. Bu, iyi akışkanlık ve düşük birikme eğilimi anlamına gelir (Bhandari ve Howes, 2005).

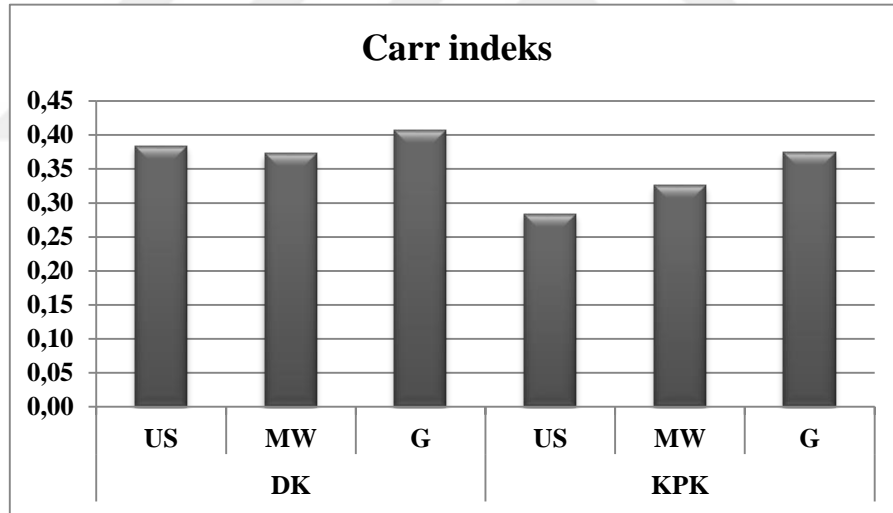
Şekil 4.34 ve 4.35’de nohut sütü tozu örneklerinin Hausner ve Carr indeks değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x *Kurutma yöntemi*” interaksyonu gösterilmiştir. DK ile kurutulmuş tüm uygulamalarda (G, MW, US) Hausner oranının yaklaşık olarak aynı olduğu ve 1.61 ile 1.70 arasında değiştiği görülmektedir. KPK grubunda ise, Hausner oranının uygulamalara göre değiştiği gözlemlenmektedir. G-KPK uygulamasında Hausner oranı yaklaşık 1.61 iken, mikrodalga ve ultrason uygulamalarında bu oran sırasıyla düşmektedir. Bu durum, mikrodalga ve ultrason uygulamalarının KPK grubunda Hausner oranını düşürücü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. DK grubunda ise, uygulamaların Hausner oranı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir.

DK ile kurutulan örneklerin tüm uygulamalarında (G, MW, US) Carr indeksinin yaklaşık olarak aynı olduğu ve 0.37 ile 0.41 arasında değiştiği görülmektedir. KPK grubunda ise, Carr indeksinin uygulamalara göre belirgin bir şekilde değiştiği (0.28 - 0.38) gözlemlenmektedir. Carr indeksi KPK kurutma yönteminde en yüksek G uygulamasıyla elde edilmiş, mikrodalga ve ultrason uygulamalarında bu oran sırasıyla düşmektedir. Bu durum, mikrodalga ve ultrason uygulamalarının KPK grubunda Carr indeksini düşürücü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. DK grubunda ise, uygulamaların Carr indeksi üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir (Şekil 4.35).



Şekil 4. 34. Nohut sütü tozu örneklerinin Hausner oranı değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel



Şekil 4. 35. Nohut sütü tozu örneklerinin Carr indeks değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

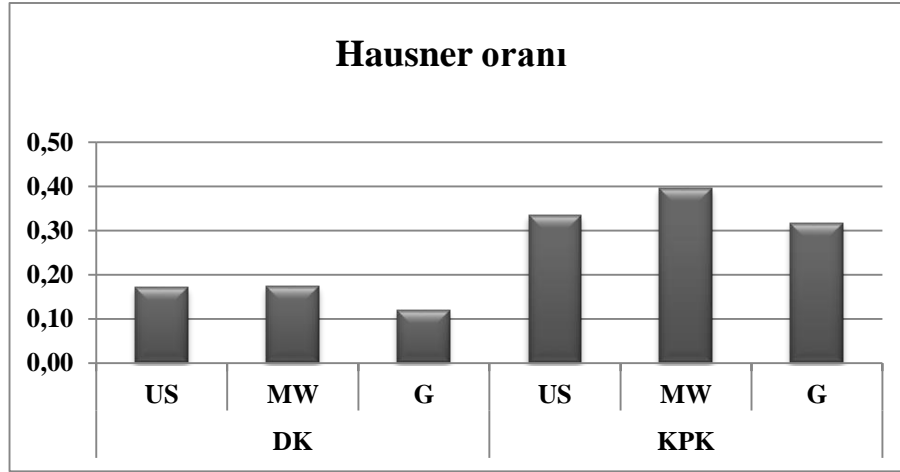
DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.36’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; tüm yöntemler benzer Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri tespit edilmiştir. Badem sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin daha düşük

Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri verdiği gözlenmiştir. Gözenekli yapı ve düzensiz partikül şekli nedeniyle HR değeri yüksek olma eğilimindedir. Bu durum, partiküllerin bir araya gelme eğilimini ve düşük akışkanlık özelliğini yansıtmaktadır (Ratti, 2001).

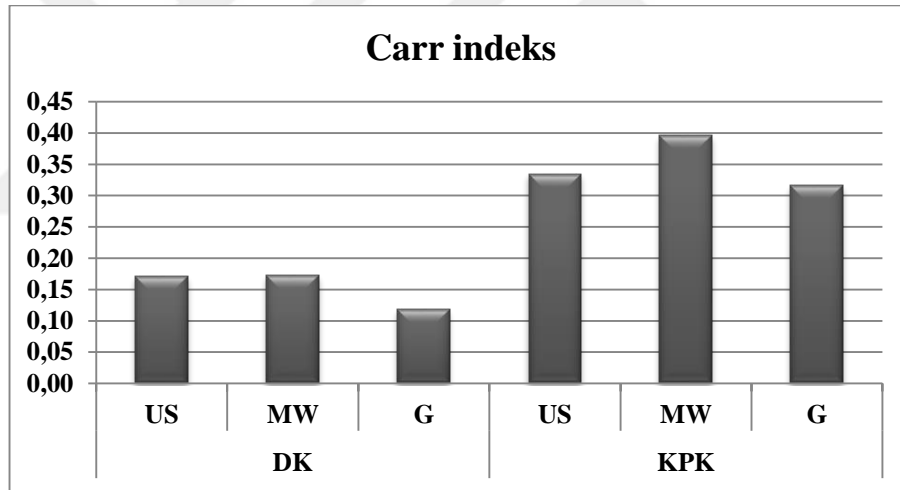
Şekil 4.36 ve 4.37’de badem sütü tozu örneklerinin Hausner ve Carr indeksi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. KPK grubu daha yüksek değerlere sahiptir. KPK (G, MW, US) kategorilerinde Hausner oranı DK gruplarına göre daha yüksektir. DK ile kurutulmuş örnekler daha düşük Hausner oranlarına sahiptir. DK (G, MW, US) örnekleri benzer değerlerde olup, Hausner oranı 0.12-0.17 arasında değişmektedir. KPK-MW en yüksek Hausner oranına sahiptir.

KPK ile kurutulmuş örneklerin Carr indeksinin daha yüksek olduğu görülmektedir, bu da DK gruplarına kıyasla daha düşük akışkanlığa işaret etmektedir. DK ile kurutulmuş örneklerin Carr indeksleri yaklaşık 0.12-0.17 arasında değişirken, KPK kategorilerinde bu değerler 0.32-0.40 seviyelerine çıkmaktadır. Bu, KPK tozların daha yüksek kohezyona sahip olduğunu göstermektedir. Bitkisel süt tozlarında düşük CI değeri, üretim sırasında karıştırma, paketleme ve depolama gibi işlemlerin kolaylaşmasını sağlar. Özellikle endüstriyel uygulamalarda, yüksek CI değerine sahip tozlar işlem verimliliğini düşürebilmekte ve ürünün nihai kalite özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Patel ve ark. (2022), bitki bazlı süt tozlarında toz akışkanlığı ve sıkıştırılabilirliği üzerine yaptığı çalışmalarında CI’in ürünün homojenliği ve endüstriyel kullanımı açısından önemine dikkat çekilmiştir.



Şekil 4. 36. Badem sütü tozu örneklerinin Hausner oranı değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel



Şekil 4. 37. Badem sütü tozu örneklerinin Carr indeks değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

4.2.3 Porozite (Gözeneklilik)

Bitkisel süt tozlarının porozitesi (gözeneklilik), partiküllerin içyapısındaki boşluk miktarını ifade etmekte ve toz üretim yöntemleri bu özelliği önemli ölçüde etkilemektedir.

Bitkisel süt tozlarına ait porozite değerleri Çizelge 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerin porozite değerleri %41.70–79.90 arasında, ortalama %61.14±2.09 bulunmuş, nohut sütü tozu örneklerin porozite değerleri %31.59–86.46 arasında, ortalama %59.72±2.93; badem sütü tozu örneklerin gözeneklilik %52.29–89.84 arasında, ortalama %75.48±0.70 olarak değişiklik göstermiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin porozite değerleri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, kurutma yöntemi açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.31).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin porozite değerleri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.32).

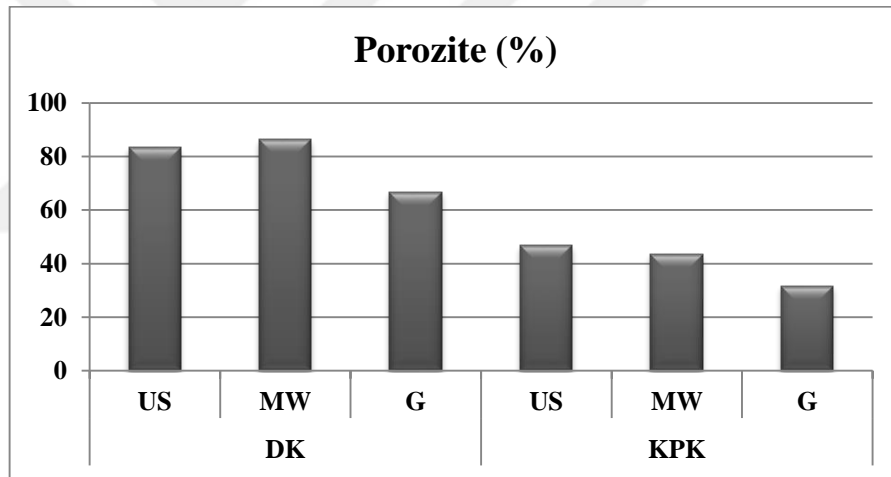
Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin porozite değerleri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, yöntemler, kurutma yöntemi ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.34'de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu örnekleri süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek porozite değerleri mikrodalga yöntemiyle üretilen örneklerde belirlenmiştir. Geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü örnekleri en düşük porozite değerleri vermiştir. Kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin dondurarak kurutma yöntemine göre daha düşük porozite değerleri belirlenmiştir. Dondurarak kurutma, ürünün donmuş haldeki suyunun süblimasyon yoluyla uzaklaştırıldığı bir yöntem olup, bu süreçte, ürünün yapısında büyük miktarda boşluk bırakmakta, bu da yüksek poroziteye neden olmaktadır (Skovgaard, 2009).

Çizelge 4.35'de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut süt tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; mikrodalga ve ultrason yöntemleriyle üretilen nohut sütü örnekleri istatistiksel olarak benzer ve daha yüksek

değerler vermiştir. Nohut sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde KPK yöntemiyle kurutulan örnekler en düşük porozite değerleri göstermiştir.

Şekil 4.38’de nohut sütü tozu örneklerinin porozite değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler \times Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. DK kurutma yöntemiyle kurutulan numuneler, özellikle MW ve US koşullarında en yüksek gözeneklilik değerlerine sahiptir. G-DK numunesi diğer DK numunelerine kıyasla daha düşük bir gözeneklilik göstermektedir. KPK’ya ait numuneler DK kurutma yöntemine kıyasla belirgin şekilde daha düşük gözenekliliğe sahiptir. G-KPK numunesi en düşük gözeneklilik oranına sahip bulunmuştur. MW-KPK ve US-KPK örnekleri geleneksel yöntemle kıyasla gözeneklilikte artış göstermektedir ancak DK kurutma yöntemine göre hala daha düşüktür.



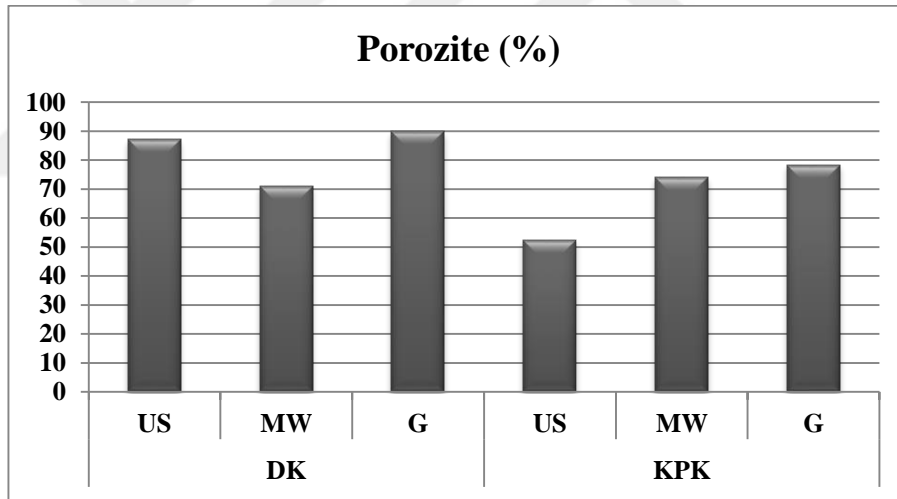
Şekil 4. 38. Nohut sütü tozu örneklerinin porozite değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler \times Kurutma yöntemi” interaksyonu.

DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.36’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem sütü tozu Süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek porozite değerleri geleneksel yöntemle üretilen örneklerde belirlenmiştir. Ultrason yöntemiyle üretilen badem sütü tozu örneklerinde ise en düşük porozite değerleri gözlenmiştir. Badem sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde; dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örnekleri KPK yöntemine göre daha yüksek porozite değerleri göstermiştir.

KPK yöntemi genellikle sprey kurutma gibi yöntemlerle ilişkilendirilmekte ve bu yöntem daha kompakt ve yoğun partikül yapılarının oluşmasını sağlamaktadır. Bu yöntemle elde edilen tozların porozitesi genellikle daha düşüktür. Düşük porozite, tozun daha iyi akışkanlık ve depolama stabilitesi göstermesini sağlar (C'anvas, 2005).

Şekil 4.39'de badem sütü tozu örneklerinin porozite değerleri üzerinde etkili "Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi" interaksyonu gösterilmiştir. DK kurutma yöntemi ile kurutulmuş tüm uygulamalar (G, MW, US) arasında porozite yüzdesinin G ve US uygulamalarında yüksek olduğu görülmekte; MW uygulamasında bu oran düşmektedir. KPK ile kurutulmuş örneklerde ise, porozite yüzdesinin uygulamalara göre belirgin bir şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Geleneksel yöntemde porozite yüzdesi %78 iken, mikrodalga uygulamasında %73'e düşmekte ve ultrason uygulamasında %52'ye kadar düşmektedir.



Şekil 4. 39. Badem sütü tozu örneklerinin porozite değerleri üzerinde etkili "Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi" interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Sprey kurutma sırasında hızlı su buharlaşması, partiküllerin yüzeyinde yoğun bir tabaka oluşmasına neden olur. Partikül morfolojisi genellikle yuvarlak ve yoğun olduğundan gözenekli yapı sınırlıdır (Bhandari ve Howes, 2005; Cano-Chauca ve ark., 2005).

Jaya ve Das (2004), geleneksel sprey kurutma yöntemiyle üretilen tozlarda daha yüksek porozite değerleri (%30-40) gözlemlendiğini bildirmiştir. Zhou ve ark. (2019), mikrodalga yöntemiyle üretilen bitkisel süt tozlarında porozitenin genellikle daha yüksek (%40-50) olduğunu, ancak güç ve süre optimizasyonu ile bu değerini düşürülebileceğini rapor etmiştir.

Mason ve ark. (2005), ultrasonik işlemin, tozların iç yapısını homojenleştirdiğini ve poroziteyi %10-20 aralığına düşürebildiğini belirtmiştir. Ultrasonik dalgaların partikül içindeki mikro boşlukları azalttığı vurgulanmıştır.

4.2.4. Higroskopisite

Bitkisel süt tozlarının higroskopisite (nem çekme eğilimi) özellikleri, ürünün bileşimine, kullanılan kurutma yöntemine ve kullanılan hammaddelere bağlı olarak değişmektedir. Higroskopisite, toz ürünlerin raf ömrünü, akışkanlığını ve depolama stabilitesini etkileyen önemli bir parametredir (Tian ve ark., 2024).

Bitkisel süt tozlarına ait higroskopisite değerleri Çizelge 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerin higroskopisite değerleri %0.97–2.84 arasında, ortalama %1.94±.09 bulunmuş, nohut sütü tozu örneklerin higroskopisite değerleri %0.46–3.06 arasında, ortalama %1.76±0.50; badem sütü tozu örneklerin higroskopisite %1.26–3.46 arasında, ortalama %1.80±0.13 olarak değişiklik göstermiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin higroskopisite değerleri bakımından incelendiğinde Süte uygulanan yöntemler ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu, kurutma yöntemi açısından istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu görülmüştür (Çizelge 4.31).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin higroskopisite değerleri bakımından incelendiğinde Süte uygulanan yöntemler ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistik olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu ve kurutma yöntemi açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.32).

Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin higroskopisite değerleri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, yöntemler, kurutma yöntemi ve

“Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.34’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu örnekleri süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek higroskopisite değerleri geleneksel yöntemiyle üretilen örneklerde belirlenmiştir. Ultrason yöntemiyle üretilen yulaf sütü örnekleri en düşük higroskopisite değerleri vermiştir. Kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin dondurarak kurutma yöntemine göre daha yüksek higroskopisite değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.35’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları nohut süt tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; mikrodalga, geleneksel, ve ultrason yöntemleriyle üretilen nohut sütü örnekleri istatistiksel olarak benzer higroskopisite değerleri vermiştir. Nohut sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde KPK yöntemiyle kurutulan örnekler en düşük higroskopisite değerleri rapor edilmiştir.

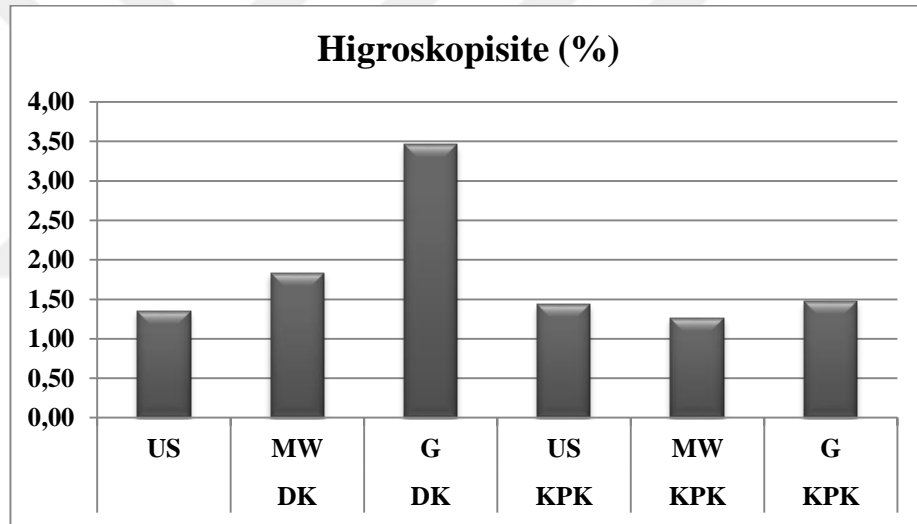
Çizelge 4.36’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek higroskopisite değerleri geleneksel yöntemle üretilen örneklerde belirlenmiştir. Ultrason ve mikrodalga yöntemleriyle üretilen badem sütü tozu örneklerinde ise benzer higroskopisite değerleri gözlenmiştir. Badem sütü tozu kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde; dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örnekleri KPK yöntemine göre daha yüksek higroskopisite değerleri tespit edilmiştir.

Şekil 4.40’de badem sütü tozu örneklerinin higroskopisite değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. En yüksek higroskopisite değeri G yöntemi ile elde edilmiş ve DK yöntemi ile kurutulmuş badem sütü örneğine aittir, yaklaşık %3.5 ile dikkat çekmektedir. MW-DK ve US-DK örneklerinin higroskopisite değerleri sırasıyla yaklaşık %1.8 ve %1.3 civarındadır. KPK yöntemi ile kurutulmuş örneklerin (G, MW, US) higroskopisite değerleri birbirine oldukça yakındır, örnekler arasında belirgin bir fark gözlenmemektedir.

Yapılan araştırmada soya sütü tozlarının nem alma davranışları incelenmiş ve higroskopik doğasının büyük ölçüde içerdiği düşük moleküllü karbonhidratlara bağlı olduğu belirtilmiştir (Chew ve ark. 2019). Yapılan çalışmada, sprey kurutmaya elde

edilen farklı bitkisel kaynaklı tozların higroskopisite değerleri karşılaştırılmış ve düşük toplam katı madde içeriği ile yüksek şeker oranlarının higroskopisiteyi artırdığı ifade edilmiştir (Tonon ve ark. 2008). Zhao ve ark. (2020) çalışmalarında badem, soya, hindistancevizi, yulaf ve pirinç gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen bitkisel süt tozlarının higroskopisite düzeylerinin, içeriklerindeki karbonhidrat, protein ve yağ oranlarına göre değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, atık üründen bitkisel süt tozu üretmek ve değerlendirmek için kavun çekirdeği sütü tozu üretimi yapılmıştır. Çeşme ve Kırkağaç tozları için elde edilen higroskopiklik değerlerinin sırasıyla 7.9 ile 25.6 g · kg⁻¹ ve 9.8 ile 23.6 g · kg⁻¹ arasında değiştiği rapor edilmiştir (Zungur Bastıoğlu ve ark., 2016).



Şekil 4. 40. Badem sütü tozu örneklerinin higroskopisite değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

4.2.5 Fonksiyonel özellikler

4.2.5.1. Su absorpsiyonu

Su (veya yağ) absorpsiyon kapasitesi, bir gıda sisteminin su (veya yağ) ile kimyasal olarak bağ kurma yeteneğini ifade ederken; su (veya yağ) tutma kapasitesi, bir gıda sisteminin suyu (veya yağı) yerçekimine karşı fiziksel olarak tutma becerisini ifade

eder. Bu kapasiteler, özellikle viskoz (yoğun kıvamlı) gıdalarda; dokunun iyileştirilmesi, lezzetin artırılması ve son üründe aromanın korunması açısından önemli fonksiyonel özelliklerdir (Ahmed ve ark., 2016; Jogihalli ve ark. , 2017).

Bitkisel süt tozlarının üretiminde kullanılan kurutma yöntemleri, su absorpsiyonu önemli ölçüde etkiler. Geleneksel, ultrason ve mikrodalga yöntemleri; bitkisel süt tozunun mikro yapısını, yüzey özelliklerini ve fonksiyonel bileşenlerini değiştirerek su tutma kapasitesi üzerinde farklı etkiler oluşturur.

Bitkisel süt tozlarına ait su absorpsiyonu sonuçları Çizelge 4.37, 4.38, 4.39’de verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin su absorpsiyonu değerleri 2.23– 4.24 g/g arasında; ortalama 3.31 ± 0.31 g/g olarak tespit edilmiştir. Nohut sütü tozu örneklerinin su absorpsiyonu değerleri 3.1–4.1 g/g arasında; ortalama 3.6 ± 0.10 g/g olarak bulunmuştur. Badem sütü tozu örneklerinin su absorpsiyonu değerleri 1.54–3.27 arasında; ortalama

2.56 ± 0.09 olarak bulunmuştur.

Yulaf sütü tozu örnekleri varyans analiz sonuçları bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksyonunun su absorpsiyonu değerleri üzerinde istatistiki olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu belirlenmiştir. Kurutma yöntemleri su absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.40).

Nohut sütü tozu örneklerinin varyans analiz sonuçları incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler su absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu, kurutma yöntemleri ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksyonları su absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak önemsiz olduğu ($p > 0.05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Çizelge 4. 37 Yulaf sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Su absorpsiyonu (g/g)	Yağ absorpsiyonu (g/g)	Köpük Kapasitesi (%)	Emülsiyon Kapasitesi (%)
Ultrason (US)	DK	3.46±0.14	2.37±0.02	11.50±0.71	66.80±0.23
	KPK	2.49±0.35	1.84±0.11	13.80±0.28	61.17±0.08
Mikrodalga (MW)	DK	4.10±0.16	2.83±0.13	5.50±2.12	67.17±0.71
	KPK	2.23±0.38	1.90±0.10	3.50±0.71	56.28±0.04
Geleneksel (G)	DK	4.24±0.12	3.44±0.03	5.00±1.41	64.76±2.69
	KPK	3.33±0.95	2.32±0.20	4.50±1.01	52.23±0.04
Min –Maks		2.23– 4.24	1.84–3.44	3.50–13.80	52.23–67.17
Ortalama±std		3.31±0.31	2.45±0.07	7.30±4.26	61.41±6.06

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 38 Nohut sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Su absorpsiyonu (g/g)	Yağ absorpsiyonu (g/g)	Köpük Kapasitesi (%)	Emülsiyon Kapasitesi (%)
Ultrason (US)	DK	3.2±0.17	2.18±.12	13.00±1.41	75.00±0.00
	KPK	3.5±0.00	1.83±.05	4.00±0.00	68.67±0.94
Mikrodalga (MW)	DK	3.7±0.14	2.43±.09	9.00±1.41	78.57±0.00
	KPK	4.1±0.17	1.80±.02	9.00±0.00	74.50±0.71
Geleneksel (G)	DK	3.75±0.16	3.57±.09	9.50±2.16	70.59±0.00
	KPK	3.1±0.02	1.69±.03	7.50±0.71	68.83±0.11
Min –Maks		3.1–4.1	1.69–3.57	4.00–13.00	68.67–78.57
Ortalama±std		3.6±0.10	2.25±0.07	8.67±2.93	72.69±3.97

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 39 Badem sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait sonuçlar¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	Su absorpsiyonu (g/g)	Yağ absorpsiyonu (g/g)	Köpük Kapasitesi (%)	Emülsiyon Kapasitesi (%)
Ultrason (US)	DK	2.98±0.04	3.28±0.18	16.50±0.71	99.99±0.01
	KPK	2.13±0.22	3.79±0.05	8.50±0.00	99.98±0.02
Mikrodalga (MW)	DK	3.27±0.04	4.45±0.02	14.50±0.71	99.97±0.04
	KPK	1.54±0.22	1.95±0.15	2.50±0.70	99.98±0.01
Geleneksel (G)	DK	3.17±0.14	4.17±0.03	15.50±0.71	99.98±0.01
	KPK	2.26±0.03	3.25±0.04	2.50±0.71	99.94±0.03
Min –Maks		1.54–3.27	1.95–4.45	2.50–16.50	99.94–99.99
Ortalama±std		2.56±0.09	3.48±0.08	10.00±6.37	99.97±0.02

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 40 Yulaf sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Su absorpsiyonu		Yağ absorpsiyonu		Köpük Kapasitesi		Emülsiyon Kapasitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	1.46	3.78 ^{ns}	1.26	45.97 ^{**}	171.86	92.06 ^{**}	61.15	17.45 ^{ns}
Kurutma yöntemleri (B)	1	4.62	23.83 ^{**}	2.24	163.34 ^{**}	0.01	0.01 ^{ns}	282.07	161.03 ^{**}
A*B	2	0.58	1.51 ^{ns}	0.17	6.38 [*]	9.52	5.10 ^{ns}	25.78	7.36 [*]
Hata		0.19		0.08		4.6		8.7	

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

Çizelge 4. 41 Nohut sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	Su absorpsiyonu		Yağ absorpsiyonu		Köpük Kapasitesi		Emülsiyon Kapasitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.50	6.55 [*]	0.86	80.72 ^{**}	0.66	0.35 ^{ns}	97.82	241.06 ^{**}
Kurutma yöntemleri (B)	1	0.01	0.40 ^{ns}	2.66	496.46 ^{**}	40.33	43.21 ^{**}	49.53	244.10 ^{**}
A*B	2	0.37	4.8 ^{ns}	1.34	125.08 ^{**}	44.66	23.92 ^{**}	10.42	25.67 ^{**}
Hata		0.03		0.00		4.6		1.01	

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

Çizelge 4. 42 Badem sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynakları	SD	Su absorpsiyonu		Yağ absorpsiyonu		Köpük Kapasitesi		Emülsiyon Kapasitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.19	4.98 ^{ns}	0.53	25.84 ^{**}	38.00	57.00 ^{**}	0.016	0.62 ^{ns}
Kurutma yöntemleri (B)	1	4.06	204.02 ^{**}	2.80	273.05 ^{**}	363.00	1089 ^{**}	0.033	2.50 ^{ns}
A*B	2	0.48	12.14 ^{**}	4.56	222.32 ^{**}	14.00	21.00 ^{**}	0.016	0.62 ^{ns}
Hata		0.01		0.06		1.66		0.00	

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

Çizelge 4. 43 Yulaf sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerinin çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Su absorpsiyonu (g/g)	Yağ absorpsiyonu (g/g)	Köpük Kapasitesi (%)	Emülsiyon Kapasitesi (%)
Süte uygulanan yöntemler					
Ultrason (US)	2	2.97 ^a	2.10 ^c	12.65 ^a	64.0 ^a
Mikrodalga (MW)	2	3.16 ^a	2.36 ^b	4.50 ^b	61.72 ^a
Geleneksel (G)	2	3.79 ^a	2.88 ^a	4.75 ^b	58.49 ^b
Kurutma yöntemleri					
Dondurarak Kurutma(DK)	3	3.93 ^a	2.88 ^a	7.33 ^a	66.25 ^a
Kırınım Pencereci kurutma (KPK)	3	2.69 ^b	2.01 ^b	7.26 ^a	56.55 ^b

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Çizelge 4. 44 Nohut sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerinin çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Su absorpsiyonu (g/g)	Yağ absorpsiyonu (g/g)	Köpük Kapasitesi (%)	Emülsiyon Kapasitesi (%)
Süte uygulanan yöntemler					
Ultrason (US)	2	3.49 ^b	2.00 ^b	8.50 ^a	71.83 ^b
Mikrodalga (MW)	2	3.99 ^a	2.12 ^b	9.0 ^a	76.5 ^a
Geleneksel (G)	2	3.77 ^{ab}	2.62 ^a	8.50 ^a	69.71 ^c
Kurutma yöntemleri					
Dondurarak Kurutma(DK)	3	3.72 ^a	2.72 ^a	10.50 ^a	74.72 ^a
Kırınım Pencereci kurutma (KPK)	3	3.79 ^a	1.78 ^b	6.83 ^b	70.66 ^b

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Çizelge 4. 45 Badem sütü tozu örneklerinin fonksiyonel özelliklerinin çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	Su absorpsiyonu (g/g)	Yağ absorpsiyonu (g/g)	Köpük Kapasitesi (%)	Emülsiyon Kapasitesi (%)
Süte uygulanan yöntemler					
Ultrason (US)	2	2.55 ^{ab}	3.53 ^a	12.50 ^a	99.99 ^a
Mikrodalga (MW)	2	2.40 ^b	3.20 ^b	8.50 ^b	99.99 ^a
Geleneksel (G)	2	2.71 ^a	3.71 ^a	9.00 ^b	99.99 ^a
Kurutma yöntemleri					
Dondurarak Kurutma(DK)	3	3.13 ^a	3.96 ^a	15.50 ^a	99.99 ^a
Kırınım Pencereci kurutma (KPK)	3	1.97 ^b	2.99 ^b	4.50 ^b	99.99 ^a

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Badem sütü tozu örneklerinin varyans analiz sonuçları incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler su absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak önemsiz olduğu ($p>0.05$), kurutma yöntemleri ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonları su absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.43’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; su absorpsiyonu değerlerinin istatistiki olarak benzer değerler verdiği tespit edilmiştir. Yulaf sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak yöntemiyle kurutulan örneklerin KPK yöntemiyle elde edilen toz örneklerle kıyasla daha yüksek su absorpsiyonu değerleri verdiği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada, yulaf ezmesinin kalitesi ve yulaf nişastasının fizikokimyasal özellikleri üzerine enzim modifikasyonunun etkisini belirlemek amacıyla alfa (α)-amilaz ve alfa-amilaz/sellülaz (α -amilaz + sellülaz) enzim kombinasyonu kullanılarak modifikasyon uygulanmıştır. Enzimle muamele edilen yulaf ezmelerinde, özellikle α -amilaz ve sellülaz kombinasyonu ile yapılan işlem sonucunda su absorpsiyon kapasitesinde artış gözlemlenmiştir (Jeong ve ark., 2022).

Çizelge 4.44’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları nohut sütü tozu Süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek su absorpsiyonu değerlerinin mikrodalga yöntemiyle üretilmiş örneklerde tespit edilmiş, ve ultrason yöntemiyle üretilen yulaf sütü tozu örnekleri en düşük su absorpsiyonu değerleri vermiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; istatistiki olarak benzer su absorpsiyonu değerleri bulunmuştur.

Yapılan bir çalışmada, pişirme yöntemlerinin nohut tohumunun fiziksel, fonksiyonel ve mikro yapısal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş; pişirilmiş nohutların su absorpsiyon ve tutma kapasitelerinin, çiğ örneklerle göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (Yixiang Xu ve ark., 2014).

Su ve yağın proteinlerle etkileşimi, gıdalarda tat ve doku üzerine etkilerinden dolayı oldukça önemlidir. Gıda proteinlerinin su bağlama kapasitesini etkileyen içsel faktörler arasında amino asit bileşimi, protein konformasyonu ve yüzey polaritesi/hidrofobikliği yer alır. Ancak, gıda işleme yöntemleri protein yapısını ve

hidrofobikliğini önemli ölçüde etkileyebilir. Yapılan çalışmada elde edilen veriler, kavurmanın yer fıstığı ununun hem su tutma kapasitesini hem de yağ bağlama kapasitesini azalttığını; fermantasyonun ise hem ham hem de kavrulmuş fıstık tozlarında su tutma kapasitesini ve yağ bağlama kapasitesini artırdığını göstermiştir (Yu ve ark., 2007).

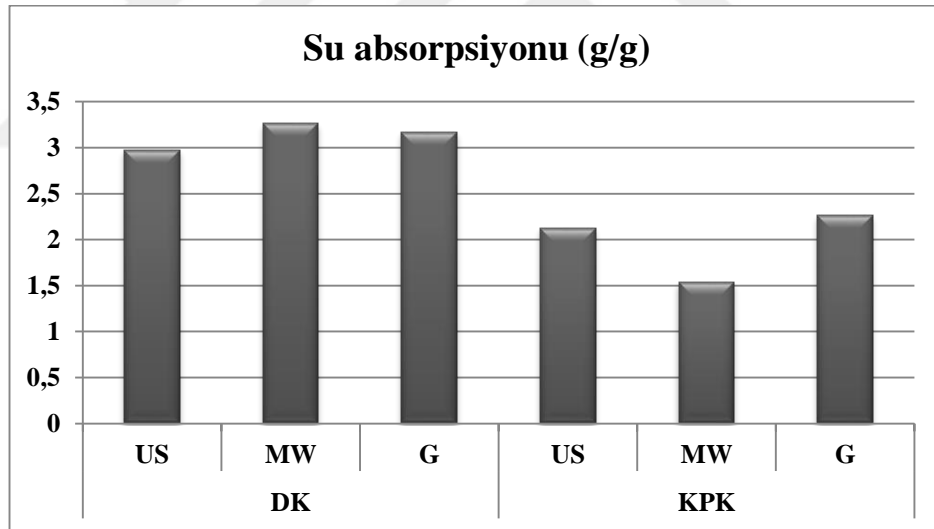
Yapılan çalışmada mikrodalga kavurma işleminin güç ve süresinin, nohut ununun su absorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kavurma gücü ve süresi arttıkça su absorpsiyon kapasitesi değerlerinde anlamlı bir artış gözlemlenmiştir ($p < 0.05$). En yüksek su absorpsiyon kapasitesi değeri 900 W'da 15 dakika kavurma ile 2.64 ± 0.10 g/g olarak bulunurken, en düşük değer kavrulmamış örneklerde 0.89 ± 0.02 g/g olarak ölçülmüştür (Jogihalli ve ark., 2017).

Çizelge 4.45'de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre badem sütü tozu elde etme yöntemleri açısından incelendiğinde; en yüksek su absorpsiyonu değerlerinin geleneksel yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit edilmiş, mikrodalga yöntemiyle üretilen badem sütü örnekleri en düşük su absorpsiyonu değerleri vermiştir. Badem sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin su absorpsiyonu değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek değerler vermiştir. Dondurarak kurutma, ürün içindeki suyun önce dondurulup ardından vakum altında süblimasyonla uzaklaştırılması esasına dayanır. Bu süreç, ürün yapısında daha fazla mikro gözenek oluşmasına neden olur. Bu gözenekli yapı, suyun toz tarafından daha kolay ve fazla miktarda tutulmasını sağlar. Dondurarak kurutma düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için, proteinler gibi su tutma kapasitesini etkileyen yapılar korunur. KPK yöntemi ise belirli bir ısıl işlem içerdiğinden, bazı proteinlerin denatüre olması veya yapısal değişime uğraması nedeniyle su absorpsiyon kapasitesi düşebilir.

Şekil 4.41'de badem sütü tozu örneklerinin su absorpsiyonu (g/g) değerleri üzerinde etkili "*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*" interaksyonu gösterilmiştir. DK yöntemi ile kurutulan örnekler (G, MW, US) KPK yöntemine kıyasla daha yüksek su absorpsiyonuna sahiptir. KPK yönteminde, özellikle MW işlemi uygulandığında en düşük su absorpsiyonunu görülmektedir. MW işlemi uygulanmış ve DK yöntemi ile kurutulan örnekler yüksek su absorpsiyon değerine sahiptir, ancak MW işlemi KPK yönteminde düşük su absorpsiyonu değerleri vermiştir.

Geleneksel kurutma (örneğin sıcak hava ile kurutma), genellikle düşük sıcaklıkta ve uzun sürede gerçekleştiğinden, proteinlerin ve liflerin yapısal bütünlüğünü büyük ölçüde korur. Bu da su tutma kapasitesini artırabilir. Yavaş kuruma ile oluşan daha gözenekli yapı, suyun toz matrisi içine daha fazla nüfuz etmesini sağlar (Ratti, 2001).

Yapılan çalışmada elde edilen armut posası tozunun su tutma kapasitesi 3.48 ± 0.11 g su/g kuru madde olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, kinoa ununun su tutma kapasitesi 1.20 ± 0.22 g su/g kuru madde, pirinç ununun 1.18 ± 0.21 g su/g kuru madde ve patates nişastasının ise 0.62 ± 0.21 g su/g kuru madde olarak tespit edilmiştir (Bozdoğan, 2015). Toz ürünlerin su tutma kapasiteleri, ürünlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak belirli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu ürünlerin su absorpsiyon kapasitelerinin genellikle içerdiği nişastanın karakteristik özellikleriyle ilişkili olduğu ifade edilmektedir. Nişastanın bu karakteristik özellikleri ise; amiloz içeriği, tanecik yapısı ve moleküler yapısı gibi faktörlerle bağlantılıdır (Pérez and Bertoft, 2010).



Şekil 4. 41. Badem sütü tozu örneklerinin su absorpsiyonu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

4.2.5.2. Yağ absorpsiyonu

Bitkisel süt tozlarına ait yağ absorpsiyonu sonuçları Çizelge 4.37, 4.38, 4.39’da belirlenmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonu değerleri 1.84–3.44 g/g

arasında; ortalama 2.45 ± 0.07 g/g olarak tespit edilmiştir. Nohut sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonu değerleri 1.69–3.57 g/g arasında; ortalama 2.25 ± 0.07 g/g olarak bulunmuştur. Badem sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonu değerleri 1.95–4.45 g/g arasında; ortalama 3.48 ± 0.08 g/g olarak bulunmuştur.

Yulaf sütü tozu örnekleri varyans analiz sonuçları bakımından incelendiğinde Süte uygulanan yöntemler nin ve kurutma yöntemleri yağ absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonunun yağ absorpsiyonu değerleri üzerinde istatistiki olarak $p < 0.05$ seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.40).

Nohut sütü tozu örneklerinin varyans analiz sonuçları incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları yağ absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

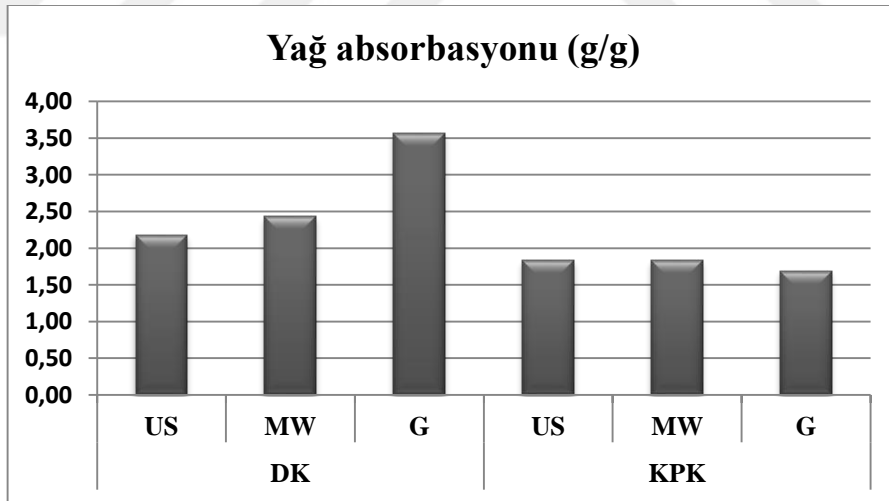
Badem sütü tozu örneklerinin varyans analiz sonuçları incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları yağ absorpsiyonu değeri üzerinde istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.43’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek yağ absorpsiyonu değerlerinin geleneksel yöntemiyle üretilmiş örneklerde tespit edilmiş, ultrason yöntemiyle üretilen yulaf sütü tozu örnekleri en düşük yağ absorpsiyonu değerleri vermiştir. Yulaf sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak yöntemi; KPK yöntemiyle elde edilen toz örneklerin yağ absorpsiyonu değerlerine kıyasla daha yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Yulaf proteinleri ve lifleri, düşük sıcaklıkta yapısını daha iyi koruyarak daha yüksek yağ absorpsiyonu sağlayabilir. Ultrason uygulaması, gözenekliliği artırabilir ancak protein yüzeyindeki yapısal değişimler yağ bağlama kapasitesini azaltabilir. Yüksek sıcaklık ve hızlı kuruma nedeniyle protein denatürasyonu artar, bu da yağ bağlama kapasitesini düşürebilir (Ahmed ve Ramaswamy,2021).

Çizelge 4.44’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek yağ

absorpsiyonu değerlerinin geleneksel yöntemiyle üretilmiş örneklerde tespit edilmiş, mikrodalga ve ultrason yöntemiyle üretilen nohut sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer yağ absorpsiyonu değerleri vermiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin yağ absorpsiyonu değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Şekil 4.42’de nohut sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonu (g/g) değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. En yüksek yağ absorpsiyonu değeri (3.44 g/g), geleneksel yöntemle elde edilen DK yöntemi ile kurutulan örnekte görülmektedir. Bu durum, protein yapısının daha az bozulduğu geleneksel ve kurutma kombinasyonunun yağ tutma kapasitesini artırdığını göstermektedir. MW-DK ve US-DK örneklerinde yağ absorpsiyonu değerleri sırasıyla 2.83 g/g ve 2.37 g/g ile orta düzeydedir. Mikrodalga ve ultrason yöntemleri, belirli oranda protein yapısını denatüre ederek yağ bağlama kapasitesini azaltmış olabilir. KPK yöntemi ile kurutulan örneklerde (G, MW, US) yağ absorpsiyon değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmektedir.



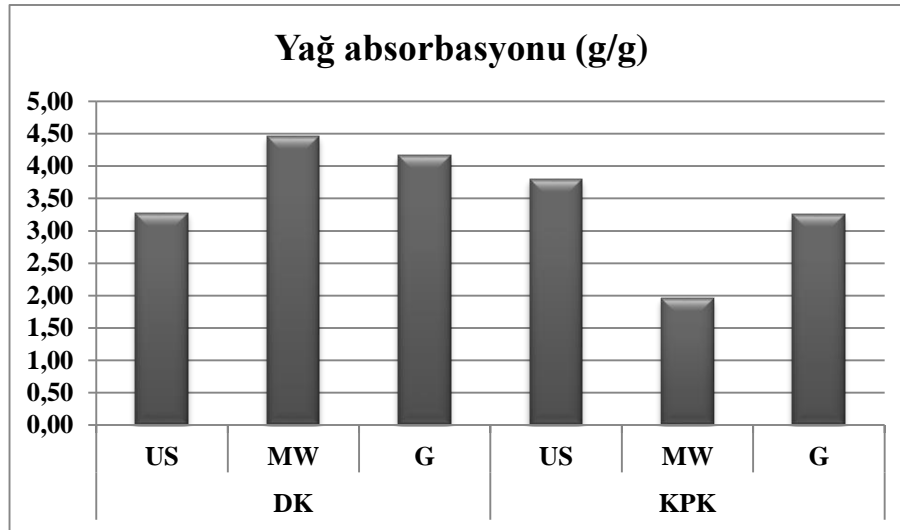
Şekil 4. 42. Nohut sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonunu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırımım pencereli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Nohut yüksek oranda protein içermektedir. Kavurma işlemi hidrofobik bölgeleri ortaya çıkararak yağ absorpsiyonunu artırabileceği gibi, aşırı ısı işlem bu kapasiteyi

azaltabilir. Fermentasyon ise genel olarak protein yapılarını daha fonksiyonel hale getirerek yağ tutma kapasitesini artırabilir (Wangve ark. 2011).

Çizelge 4.45’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem süt tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en düşük yağ absorpsiyonu değerlerinin mikrodalga yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit edilmiş, ultrason ve geleneksel yöntemlerle üretilen badem sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer yağ absorpsiyonu değerleri vermiştir. Badem sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin yağ absorpsiyonu değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek değerler vermiştir. Bademdeki doğal yağ oranı yüksek olduğu için geleneksel yöntemle kurutulan tozlar daha fazla yağ tutabilir. Ultrason protein ve lif yapılarına zarar vermeden uygulandığında yağ bağlama kapasitesini artırabilir (Yu ve ark. 2022).

Şekil 4.43’de badem sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonu (g/g) değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. En yüksek yağ absorpsiyon değeri, DK-MW yöntemine ait badem süt tozunda gözlenmiştir. Mikrodalga işleminin protein yapısını kısmen denatüre ederek daha fazla hidrofobik bölge açığa çıkarması, DK ise bu yapıyı koruması bu sonuca neden olmuş olabilir, G-DK yöntemi MW uygulanmış örneklere kıyasla daha düşük yağ absorpsiyonu göstermesine rağmen, oldukça yüksek bir yağ absorpsiyon değerine sahiptir. US-DK ve G-KPK kombinasyonları benzer düzeyde olup orta seviye yağ absorpsiyonu sergilemektedir. KPK-MW yöntemiyle işlenen badem süt tozu en düşük yağ absorpsiyon kapasitesine sahiptir.



Şekil 4. 43. Badem sütü tozu örneklerinin yağ absorpsiyonunu değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

4.2.5.3. Köpük kapasitesi

Bitkisel süt tozlarında köpürme özellikleri, ürünün fonksiyonel ve duyu kalitesini belirleyen kritik parametrelerden biridir. Köpürme özellikleri, genellikle proteinlerin ve diğer yüzey aktif bileşenlerin hava-su ara yüzeyindeki davranışlarına bağlıdır. Bu özellikler, bitkisel süt tozlarının formülasyondaki performansını artırmak ve ürün çeşitliliğini genişletmek açısından önemlidir.

Bitkisel süt tozlarına ait köpük kapasitesi sonuçları Çizelge 4.37, 4.38, 4.39’de verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri %3.50–13.80 arasında; ortalama 7.30 ± 4.26 olarak tespit edilmiştir. Nohut sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri %4.00-13.00 arasında; ortalama 8.67 ± 2.93 olarak bulunmuştur. Badem sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri %2.50–16.50 arasında; ortalama 10.00 ± 6.37 olarak bulunmuştur.

Yulaf sütü tozu örnekleri varyans analiz sonuçları bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemlerin köpük kapasitesi değeri üzerinde istatistik olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Kurutma yöntemleri ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonunun ise köpük kapasitesi değerleri üzerinde istatistik olarak önemsiz ($p > 0.05$) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.40).

Nohut sütü tozu örneklerinin varyans analiz sonuçları incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler köpük kapasitesi değeri üzerinde istatistiki olarak önemsiz olduğu ($p>0.05$), kurutma yöntemleri ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları köpük kapasitesi değeri üzerinde istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

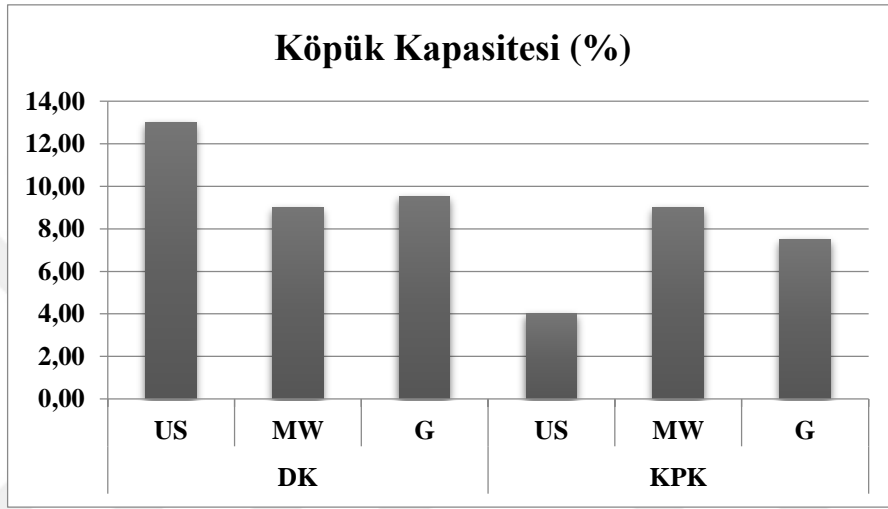
Badem sütü tozu örneklerinin varyans analiz sonuçları incelendiğinde köpük kapasitesi değeri üzerinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları köpük kapasitesi değeri üzerinde istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.43’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek köpük kapasitesi değerlerinin ultrason yöntemiyle üretilmiş örneklerde tespit edilmiş, mikrodalga ve geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer ve daha düşük köpük kapasitesi değerleri vermiştir. Yulaf sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ve KPK yöntemiyle elde edilen toz örneklerin köpük kapasitesi değerlerinin istatistiki olarak benzer değerler verdiği belirlenmiştir. Geleneksel yöntemler genellikle sıcaklıkla uygulanmakta, proteinlerin denatürasyonuna neden olmakta, bu durumda oluşan yüksek denatürasyon köpüğün stabilitesini olumsuz etkilemektedir (Vasantha ve ark., 2015).

Çizelge 4.44’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları nohut sütü tozu Süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; bu yöntemler istatistiki olarak benzer köpük kapasitesi değerleri vermiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin köpük kapasitesi değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Şekil 4.44’de nohut sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu gösterilmiştir. En yüksek köpük kapasitesi, US-DK yöntemiyle elde edilen nohut sütü tozunda görülmektedir. Ultrasonik işlem, proteinlerin yüzey aktivitesini ve çözünürlüğünü artırarak köpük oluşumunu desteklemiş olabilir. DK, protein yapısını koruduğu için bu

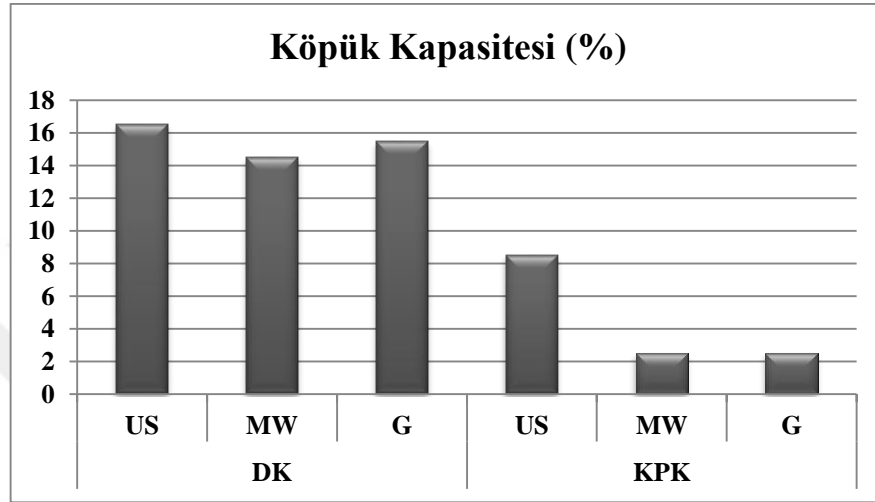
etki maksimum düzeyde kalmıştır. Geleneksel ve mikrodalga yöntemleri ile DK kombine edildiğinde (G-DK ve MW-DK), köpük kapasitesi düşmektedir. Geleneksel ve mikrodalga işlemleri, protein yapısını fazla denatüre etmeden köpüklenmeye katkı sağlamış gibi görünmektedir. KPK yöntemi uygulanan örneklerde, köpük kapasitesi belirgin şekilde düşmüştür. Özellikle US-KPK yönteminde köpük kapasitesi en düşük seviyeye inmektedir.



Şekil 4. 44. Nohut sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereleli kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.45’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem süt tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek köpük kapasitesi değerlerinin ultrason yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit edilmiş, mikrodalga ve geleneksel yöntemlerle üretilen badem sütü örnekleri istatistiki olarak benzer köpük kapasitesi değerleri vermiştir. Badem sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin köpük kapasitesi değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek değerler vermiştir. Ultrasonik dalgalar, süt tozlarının protein ve lipid yapısında değişimlere yol açarak, partikül boyutunun küçülmesini ve proteinlerin yüzey aktivitesinin artırılmasını ve köpük kapasitesi özelliklerini olumlu yönde etkiler. Ultrason, bitkisel sütlerde homojen bir yapının sağlanmasına da katkıda bulunur (Gulzar ve ark. 2021).

Şekil 4.45’de badem sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler \times Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. DK yöntemiyle kurutulan örnekler, KPK yöntemi ile kurutulanlara göre çok daha yüksek köpük kapasitesine sahiptir. Ultrasonik işlem, her iki grupta da köpük kapasitesini artıran en etkili yöntem gibi görünmektedir. KPK grubu, köpük oluşumunda zayıf kalmaktadır.



Şekil 4. 45. Badem sütü tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler \times Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Badem sütü düşük protein içeriği nedeniyle sınırlı bir köpük kapasitesine sahiptir. Ancak, yağ içeriği ve protein yapısı köpüğün stabilitesini artırabilir (Lee ve Paquin, 2020). Nohut sütü, protein içeriği açısından diğer bitkisel sütlere kıyasla daha avantajlıdır. Özellikle, nohut proteininin köpürme ve emülsifiye edici özellikleri ile vegan alternatiflerde tercih edilmektedir (Tang ve ark. 2020). Yulaf sütü, yüksek karbonhidrat içeriği ve beta-glukan gibi çözünür liflerin varlığı nedeniyle, doğal olarak köpük stabilitesini artıran bir yapıya sahiptir. Ancak protein içeriği badem ve nohut sütlerinden düşüktür (Bernat ve ark. 2021).

Tang ve ark. (2021) enzimatik modifikasyonun, badem sütü gibi düşük proteinli sütlerin köpük stabilitesini artırdığını rapor etmişlerdir (Tang ve ark.2021).

Jogihalli, Singh ve Sharanagat (2017) çalışmalarında mikrodalga ile kavrulmuş nohutun fonksiyonel ve antioksidan özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Kavrulmamış nohut ununun köpük kapasitesi %26.29 olarak bulunmuş, 900 W, 15 dk mikrodalgada kavrulmuş örnekte ise bu değerin %4.21'e düştüğü ve köpük kapasitesinin önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir Mikrodalga işleminin köpük kapasitesinin düşmesine yol açtığı yapılan çalışmalarda da belirtilmektedir (Yu ve ark., 2007; Jogihalli, Singh, and Sharanagat 2017).

4.2.5.4.Emülsiyon kapasitesi

Emülsiyon termodinamik olarak kararsız bir sistem olup, zamanla doğal olarak ayrılmaktadır. Yüzey aktif maddelerin eklenmesi yüzey gerilimini düşürerek, sadece birkaç nm damlacık boyutu çaplarına sahip emülsiyonların neredeyse kendiliğinden oluşmasına olanak tanımaktadır (Flanagan ve Singh, 2006).

Bitkisel süt tozlara ait emülsiyon kapasitesi sonuçları Çizelge 4.37, 4.38, 4.39'de verilmiştir. Yulaf süt tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerleri %52.23–67.17 arasında değişiklik göstermiş; ortalama 61.41 ± 6.07 olarak bulunmuştur. Nohut sütü tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerleri %68.83–78.57 arasında; ortalama 72.69 ± 3.97 bulunmuştur. Badem süt tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerleri %99.94–99.99 arasında; ortalama 99.97 ± 4.24 tespit edilmiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu görülmüş, kurutma yöntemleri açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.40).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.41).

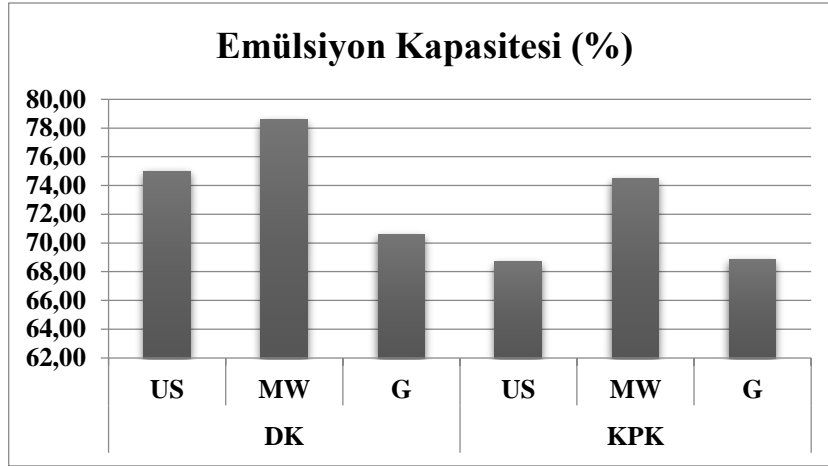
Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “*Süte*

uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonları açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu ($p>0.05$) bulunmuştur (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.43’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en düşük emülsiyon kapasitesi değerleri geleneksel yöntemle elde edilen süt tozu örneğinde gözlenmiştir. Mikrodalga ve ultrason yöntemiyle üretilen yulaf sütü örneklerinin tozları istatistiki olarak benzer emülsiyon kapasitesi değerleri vermiştir. Yulaf süt tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak yöntemi ile kurutulan örnekler KPK yöntemiyle örneklere kıyasla daha yüksek emülsiyon kapasitesi değerleri göstermiştir. Geleneksel ısı işlemde uygulanan aşırı ısı, proteinlerin çökmesine veya istenmeyen özelliklere yol açabilmekte, protein denatürasyonunu artırmakta ve emülsiyon özelliklerini etkilemektedir. Ultrason kavitasyonu ile proteinlerin yapısında modifikasyon oluşmakta, bu da daha kararlı ve homojen bir emülsiyon oluşturabilmektedir.

Çizelge 4.44’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek emülsiyon kapasitesi değerlerinin mikrodalga yöntemiyle, en düşük değerlerin ise geleneksel yöntemle elde edilen örneklerde tespit edilmiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin emülsiyon kapasitesi değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Şekil 4.46’de badem sütü tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. Mikrodalga işleme yöntemi, her iki kurutmada da en iyi emülsiyon kapasitesi sonuçlarını vermektedir. Geleneksel işleme yöntemi ise yöntemler içerisinde en düşük emülsiyon kapasitesiyle sonuçlanmaktadır. Ultrasonik yöntem, MW’ye göre daha düşük ancak G’ye göre daha yüksek bir emülsiyon kapasitesi sağlamaktadır. DK kurutma yönteminin emülsiyon kapasitesi değerleri KPK yöntemine göre daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 4. 46. Nohut sütü tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

4.2.6. Renk

4.2.6.1 L* (parlaklık) değeri

Bitkisel süt tozlara ait renk analiz sonuçları (L^* , a^* , b^* , SI ve Hue angle) Çizelge 4.46, 47, 48’de verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin L^* (parlaklık) değerleri 87.11–91.18 arasında; ortalama 89.25 ± 2.06 olarak tespit edilmiştir. Nohut sütü tozu örneklerinin L^* (parlaklık) değerleri 87.56–92.19 arasında; ortalama 89.85 ± 1.99 olarak bulunmuştur. Badem sütü tozu örneklerinin L^* (parlaklık) değerleri 78.59-90.71 arasında; ortalama 84.41 ± 4.98 olduğu belirlenmiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin L^* (parlaklık) değeri bakımından incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.49).

Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin L^* (parlaklık) değeri bakımından incelendiğinde; süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.5

Çizelge 4. 46 Yulaf sütü tozu örneklerinin renk sonuçları¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	L*	a*	b*	SI (Doygunluk indeksi)	Hue angle (Ton açısı)
Ultrason (US)	DK	91.10±0.04	-4.30±0.01	15.30±0.06	15.80±0.06	105.70±0.11
	KPK	87.55±0.04	-3.75±0.01	17.38±0.01	17.78±0.01	102.18±0.04
Mikrodalga (MW)	DK	91.18±0.01	-4.31±0.01	15.35±0.02	15.94±0.02	105.69±0.03
	KPK	87.48±0.01	-3.73±0.01	17.70±0.02	18.08±0.02	101.90±0.03
Geleneksel (G)	DK	91.12±0.02	-4.27±0.02	15.36±0.03	15.94±0.02	105.52±0.10
	KPK	87.11±0.03	-3.81±0.10	17.86±0.10	18.26±0.02	102.04±0.04
Min-Maks		87.11–91.18	-4.31– -3.73	15.30–17.86	15.80–18.26	101.90–105.70
Ortalama±std		89.25±2.06	-4.02±0.29	16.48±1.28	16.97±1.18	103.83±1.97

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 47 Nohut sütü tozu örneklerinin renk sonuçları¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	L*	a*	b*	SI (Doygunluk indeksi)	Hue angle (Ton açısı)
Ultrason (US)	DK	91.45±0.04	-4.92±0.01	20.52±0.01	21.10±0.01	103.49±0.03
	KPK	87.56±0.01	-3.20±0.02	23.42±0.11	23.63±0.10	97.77±0.09
Mikrodalga (MW)	DK	91.10±0.05	-4.98±0.01	22.07±0.03	23.02±0.03	102.50±0.02
	KPK	87.81±0.04	-3.21±0.01	24.70±0.04	24.28±0.04	97.58±0.04
Geleneksel (G)	DK	92.19±0.04	-4.93±0.02	21.74±0.06	22.29±0.05	102.78±0.07
	KPK	88.98±0.01	-3.48±0.02	22.15±0.10	22.42±0.10	98.92±0.01
Min-Maks		87.56–92.19	-4.98– -3.20	20.52–24.70	21.10–24.28	97.58–103.49
Ortalama±std		89.85±1.99	-4.12±0.91	22.39±1.25	22.79±1.12	100.51±2.70

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 48 Badem sütü tozu örneklerinin renk sonuçları¹

Süte uygulanan yöntemler	Kurutma yöntemi	L*	a*	b*	SI (Doygunluk indeksi)	Hue angle (Ton açısı)
Ultrason (US)	DK	90.71±0.07	-5.15±0.06	17.32±0.01	18.06±0.02	106.56±0.173
	KPK	78.59±0.05	-3.97±0.04	23.68±0.25	24.00±0.24	99.51±0.18
Mikrodalga (MW)	DK	87.63±0.02	-4.53±0.02	18.25±0.26	18.80±0.25	103.93±0.25
	KPK	79.24±0.44	-5.04±0.11	25.50±0.11	25.99±0.09	101.17±0.28
Geleneksel (G)	DK	89.47±0.26	-5.78±0.05	18.03±0.03	18.93±0.01	107.76±0.17
	KPK	80.84±0.02	-5.10±0.04	24.38±0.28	24.90±0.28	101.81±0.05
Min -Maks		78.59–90.71	-5.78– -3.97	17.32–25.50	18.06–25.99	99.51–107.76
Ortalama±std		84.41±43.87	-4.92±2.61	21.19±0.17	21.78±11.46	103.46±53.63

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Çizelge 4. 49 Yulaf sütü tozu örneklerinin renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	L*		a*		b*		SI (Doygunluk indeksi)		Hue angle (Ton açısı)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	0.11	115.84**	0.01	1.41 ^{ns}	0.18	35.43**	0.18	37.04**	0.04	4.74 ^{ns}
Kurutma yöntemleri (B)	1	42.22	81990.31**	0.81	2066.85**	16.19	6276.602**	13.63	5522.75**	38.55	7346.46**
A*B	2	0.11	110.40**	0.07	10.02*	0.07	14.19 ^{ns}	0.07	14.67 ^{ns}	0.063	6.01*
Hata		0.02		0.01		0.01		0.01		0.02	

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

Çizelge 4. 50 Nohut sütü tozu örneklerinin renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	L*		a*		b*		SI (Doygunluk indeksi)		Hue angle (Ton açısı)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	3.24	1667.64**	0.05	65.74**	4.61	442.33**	4.42	451.52**	1.39	273.00**
Kurutma yöntemleri (B)	1	35.91	36898.77**	8.18	23494.76**	8.03	1541.43**	5.13	1049.07**	69.89	27372.11**
A*B	2	0.27	140.62**	0.06	85.07**	3.10	297.51**	2.90	296.92**	1.74	340.77**
Hata		0.01		0.02		0.02		0.05		0.01	

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

Çizelge 4. 51 Badem sütü tozu örneklerinin renk özelliklerine ait varyans analizi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	SD	L*		a*		b*		SI (Doygunluk indeksi)		Hue angle (Ton açısı)	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Süte uygulanan yöntemler (A)	2	6.23	73.2**	1.66	302.12**	3.79	63.74**	3.80	75.78**	11.02	117.96**
Kurutma yöntemleri (B)	1	283.04	6645.32**	0.61	222.14**	132.80	4460.38**	121.79	4846.89**	82.89	1774.35**
A*B	2	8.75	102.76**	1.51	274.90**	0.54	9.12*	1.02	20.49**	9.95	106.53**
Hata		0.21		0.01		0.14		0.12		0.23	

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

Çizelge 4. 52 Yulaf sütü tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	L*	a*	b*	SI (Doygunluk indeksi)	Hue angle (Ton açısı)
Süte uygulanan yöntemler						
Ultrason (US)	2	89.31 ^a	-4.01 ^a	16.31 ^b	16.80 ^b	103.78 ^a
Mikrodalga (MW)	2	89.32 ^a	-4.02 ^a	16.52 ^a	17.01 ^a	103.79 ^a
Geleneksel (G)	2	89.11 ^b	-4.03 ^a	16.61 ^a	17.10 ^a	103.92 ^a
Kurutma yöntemleri						
Dondurarak Kurutma(DK)	3	91.12 ^a	-4.28 ^b	15.32 ^b	15.90 ^b	105.62 ^a
Kırınım Pencereli kurutma(KPK)	3	87.37 ^b	-3.7 ^a	17.64 ^a	18.04 ^a	102.04 ^b

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Çizelge 4. 53 Nohut sütü tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	L*	a*	b*	SI (Doygunluk indeksi)	Hue angle (Ton açısı)
Süte uygulanan yöntemler						
Ultrason (US)	2	89.50 ^b	-4.20 ^b	21.96 ^b	22.36 ^b	100.62 ^b
Mikrodalga (MW)	2	89.50 ^b	-4.09 ^a	23.27 ^a	23.64 ^a	100.04 ^c
Geleneksel (G)	2	90.58 ^a	-4.05 ^a	21.94 ^b	22.35 ^b	100.84 ^a
Kurutma yöntemleri						
Dondurarak Kurutma(DK)	3	91.57 ^a	-4.94 ^b	21.57 ^b	22.13 ^b	102.91 ^a
Kırınım Pencereli kurutma(KPK)	3	88.11 ^b	-3.29 ^a	23.21 ^a	23.44 ^a	98.09 ^b

¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Çizelge 4. 54 Badem sütü tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktörler	n	L*	a*	b*	SI (Doygunluk indeksi)	Hue angle (Ton açısı)
Süte uygulanan yöntemler						
Ultrason (US)	2	84.64 ^b	-4.55 ^a	20.49 ^c	21.03 ^c	103.03 ^b
Mikrodalga (MW)	2	83.43 ^c	-4.78 ^b	21.8 ^a	22.39 ^a	102.55 ^b
Geleneksel (G)	2	85.15 ^a	-5.435 ^c	21.20 ^b	21.91 ^b	104.78 ^a
Kurutma yöntemleri						
Dondurarak Kurutma(DK)	3	89.26 ^a	-5.15 ^b	17.86 ^b	18.59 ^b	106.08 ^a
Kırınım Pencereli kurutma (KPK)	3	79.55 ^b	-4.69 ^a	24.51 ^a	24.96 ^a	100.82 ^b

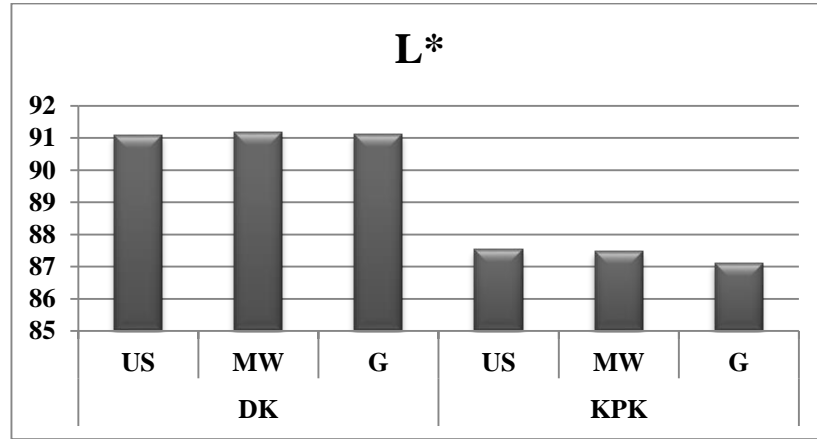
¹ Aynı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir ($p<0.05$)

Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin L* (parlaklık) değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemi ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.52’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; örneklerin en düşük L* (parlaklık)

değerleri geleneksel yöntemle elde edilmiş sütlere ait tozlarda tespit edilmiştir. Mikrodalga ve ultrason yöntemiyle üretilen yulaf sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer L^* (parlaklık) değerleri vermiştir. Yulaf sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin L^* (parlaklık) değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bitkisel süt tozlarının L^* (parlaklık) değeri üzerine geleneksel, ultrasonik ve mikrodalga yöntemlerin etkileri, bu yöntemlerin uygulandığı koşullara ve hammaddenin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Geleneksel yöntemler genellikle termal işlemlere dayandığından, uzun süreli ısıya maruz kalma bu da L^* değerini düşürerek ürünün daha koyu bir renk almasına neden olabilir. Ultrasonik dalgalar, gıda materyallerinde homojenizasyonu artırmakta ve partikül boyutunu küçültmektedir. Bu durum, süt tozunun yüzey özelliklerini iyileştirerek L^* değerinin artmasına katkıda bulunabilir (Wiktor ve ark. 2016; Nadeem ve ark., 2018).

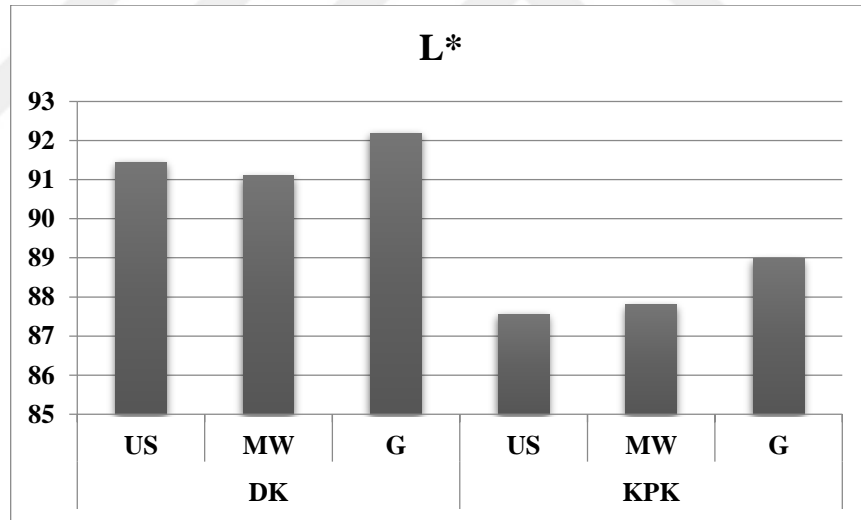
Şekil 4.47’de yulaf sütü tozu örneklerinin L^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler \times Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. DK yöntemi ile kurutulan örneklerin L^* değerleri KPK yöntemine kıyasla daha yüksek parlaklığa sahip bulunmuştur. Bu durum, KPK kurutma yönteminin DK kurutma yöntemine kıyasla yulaf sütü tozunun daha koyu bir renge sahip olmasına neden olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. 47. Yulaf sütü tozu örneklerinin L^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler \times Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.53’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları nohut sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; örneklerin en yüksek L* (parlaklık) değerleri geleneksel yöntemle elde edilmiş örneklerde bulunmuştur. Mikrodalga ve ultrason yöntemiyle üretilen nohut sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer parlaklık değerleri vermiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; en yüksek L* değerlerinin dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerde görülmüştür.

Şekil 4.48’de Nohut sütü tozu örneklerinin L* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu gösterilmiştir. DK kurutma yöntemi daha yüksek L* değerleri ile KPK yöntemiyle elde edilen örneklere göre daha yüksek parlaklığa sahip olduğu bulunmuştur. En yüksek parlaklık değerleri G-DK örneğinde tespit edilirken bunu US-DK ve MW-DK izlemektedir. En düşük parlaklık değerleri ise US-KPK örneğinde görülmüştür.



Şekil 4. 48 Nohut sütü tozu örneklerinin L* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

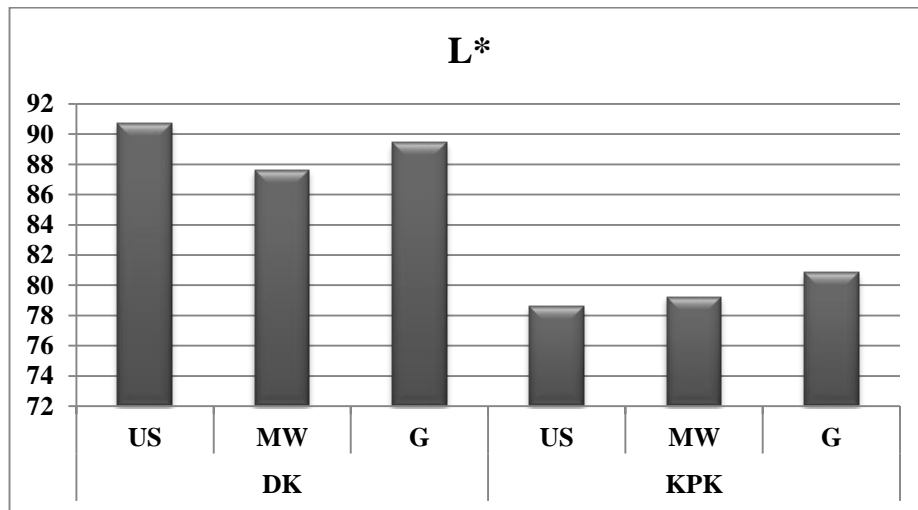
Çizelge 4.54’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; geleneksel yöntemle üretilen örneklerde en yüksek parlaklık değerleri elde edilmiş, en düşük L* değerleri ise mikrodalga yöntemiyle üretilen örneklerde tespit edilmiştir. Badem sütü tozu örnekleri kurutma

yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak yöntemi ile kurutulan örneklerin parlaklık değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Şekil 4.49’de badem sütü tozu örneklerinin L^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu verilmiştir. DK yöntemiyle kurutulan örneklerin L^* değerleri, uygulanan farklı işleme yöntemlerine göre (G, MW ve US) 87 ile 90 arasında değişmektedir. DK yöntemi ile kurutulan örnekler KPK yöntemine ile kurutulanlara kıyasla daha yüksek parlaklığa sahip bulunmuştur. En yüksek parlaklık değerleri US-DK örneğinde görülürken, en düşük parlaklık değerleri ise US-KPK örneğinde tespit edilmiştir. KPK yönteminde en yüksek parlaklık değerleri geleneksel yöntem uygulanan badem sütü tozu örneğinde görülmüştür.

Mikrodalga yöntemleri, hızlı enerji transferi sağlayan ve genellikle daha kısa işlem süreleriyle ürünlerde termal bozulmayı azaltan bir işlemdir. Datta (2001), mikrodalga işleminin hızlı bir kurutma sağlarken, düşük güç seviyelerinde renk değişimini de en aza indirdiğini rapor etmiştir.

Cano-Chauca ve ark. (2005), sprey kurutma yöntemi ile hazırlanan bitkisel süt tozlarında parlaklık değerinin, sıcaklık arttıkça azaldığını göstermiştir. Jambrak ve ark. (2008), ultrasonik işlemin gıda ürünlerinin fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini ve daha parlak ürünler elde edilmesine olanak tanıdığını göstermiştir.



Şekil 4. 49. Badem sütü tozu örneklerinin L^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Bir çalışmada, parçacık boyut dağılımının, ekstrüde ve ham nohut tozlarının fizikokimyasal, işlevsel termal ve yapısal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırılmıştır. Eleklerin gözenek büyüklükleri 80 ile 200 mesh arasında değiştirildiğinde L^* değerindeki artış 87.80 - 89.11 ve ekstrüde 91.81-92.22 arasında değişmiştir. Ham nohut ile karşılaştırıldığında, numunelerindeki parlaklıktaki azalmıştır (Raza ve ark. 2019). Kurutulmuş fıstık-börülce sütünün L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 88.50 ± 0.14 , 1.06 ± 0.06 ve 2.76 ± 0.12 olarak bulunmuştur (Aidoo ve ark. 2010).

4.2.6.2 a^* (Kırmızılık) değeri

Bitkisel süt tozlara ait renk özellikleri (L^* , a^* , b^* , SI ve Hue angle) Çizelge 4.46, 4.47 ve 4.48'de verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin a^* değerleri -4.31 ile -3.73 arasında; ortalama -4.02 ± 0.29 olarak değişim göstermiştir. Nohut sütü tozu örneklerinin, a^* değerleri -4.98 ile 3.20 arasında; ortalama -4.12 ± 0.91 olduğu bulunmuştur. Badem sütü tozu örneklerinin a^* değerleri -5.78 ile -3.97 arasında; ortalama -4.92 ± 0.56 olarak belirlenmiştir.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin kırmızılık değeri bakımından incelendiğinde; Süte uygulanan yöntemler açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu ($p > 0.05$) görülmüştür, Kurutma yöntemleri kırmızılık değeri bakımından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4. 49).

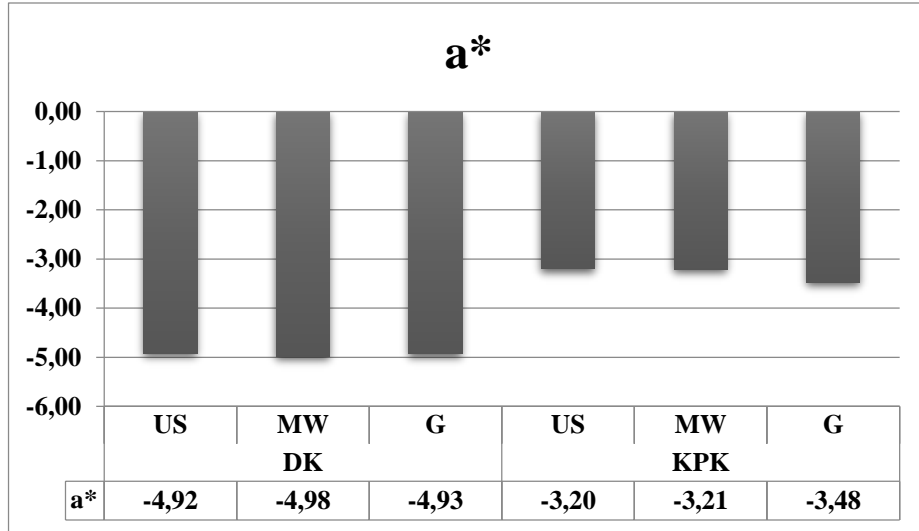
Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin a^* değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.50).

Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin a^* değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.52’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; örnekler istatistiki olarak benzer kırmızılık değerleri vermiştir. Yulaf sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak yöntemi ile kurutulan örneklerin a^* değerlerinin KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.53’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; örneklerin en düşük kırmızılık değerleri ultrason yöntemiyle elde edilen örneklerde bulunmuştur. Mikrodalga ve geleneksel yöntemle üretilen nohut sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer kırmızılık değerleri vermiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin a^* değerlerinin KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Geleneksel yöntemlerde yüksek sıcaklık ve uzun işlem süreleri, pigment bozunmasının artmasına neden olabilmektedir. Bu reaksiyon, a^* değerini artırarak ürünün daha kırmızımsı bir ton almasına yol açabilir.

Şekil 4.50’de nohut sütü tozu örneklerinin a^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu verilmiştir. DK yöntemi ile elde edilen nohut sütü tozları KPK yöntemiyle elde edilenlere kıyasla daha yeşil renge sahip olduğunu görülmektedir. Uygulanan süte uygulanan yöntemler a^* değerleri üzerinde belirgin farklar yaratmamıştır.

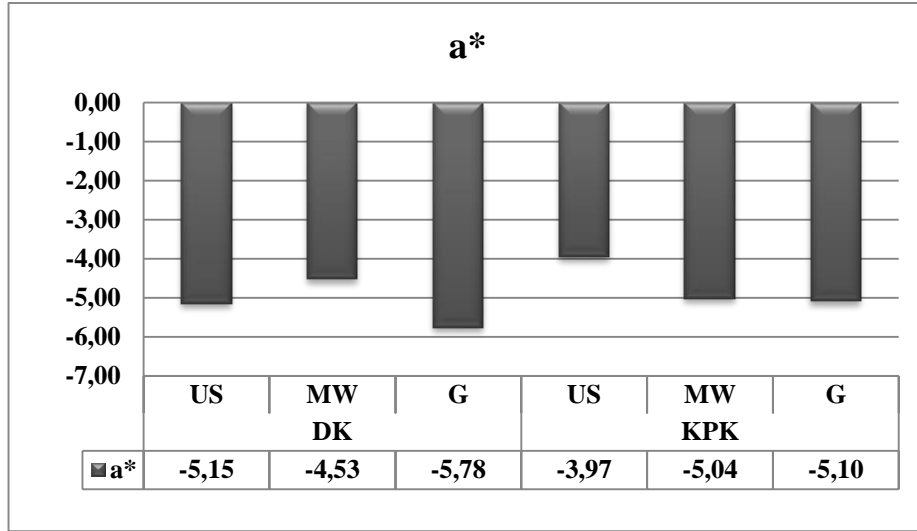


Şekil 4. 50. Nohut sütü tozu örneklerinin a^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.54’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; geleneksel yöntemle elde edilen örnekler en düşük kırmızılık değerleri verirken, en yüksek a^* değerleri ultrason yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit edilmiştir. Badem sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak yöntemi ile kurutulan örneklerin a^* değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük bulunmuştur. Bu yöntemlerin a^* (kırmızılık) değeri üzerindeki etkileri, hammaddenin içerdiği pigmentlerin türüne, uygulama koşullarına ve işlem sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonların derecesine göre farklılık göstermektedir.

Cano-Chauca ve ark. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, sprey kurutma ile işlenen süt tozlarında, sıcaklığın artmasıyla birlikte Maillard reaksiyonlarının hızlandığı ve a^* değerinde artış gözlemlendiği belirtilmiştir.

Şekil 4.51’de badem sütü tozu örneklerinin a^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu verilmiştir. a^* değeri, bir nesnenin kırmızı-yeşil eksenindeki rengini ölçer; pozitif değerler kırmızılığı, negatif değerler yeşilliği gösterir. DK bademinin yeşilliği -4.53 ile -5.78 arasında olup yeşilimsi rengi göstermektedir. KPK yönteminin a^* değerleri, DK yöntemine kıyasla daha düşüktür ve -3.97 ile -5.10 arasındadır.



Şekil 4. 51. Badem sütü tozu örneklerinin a* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

4.2.6.3 b* (Sarılık) değeri

Bitkisel süt tozlarına ait renk değerleri (L*, a*, b*, SI ve Hue angle) Çizelge 4.46, 4.47 v4 4.48’de verilmiştir. Sarılık değerleri yulaf sütü tozunda 15.3–17.86 arasında; ortalama 16.48 ± 1.28 olarak değişim göstermiştir. Nohut sütü tozu örneklerinin, b* değerleri 20.52– 24.70 arasında; ortalama 22.39 ± 1.25 olduğu bulunmuştur. Badem sütü tozu örneklerinin, b* (sarılık) değerleri 17.32-25.50 arasında; ortalama 21.19 ± 1.38 olduğu bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin b* değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler ve kurutma yöntemleri açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonları açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu ($p > 0.05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.49).

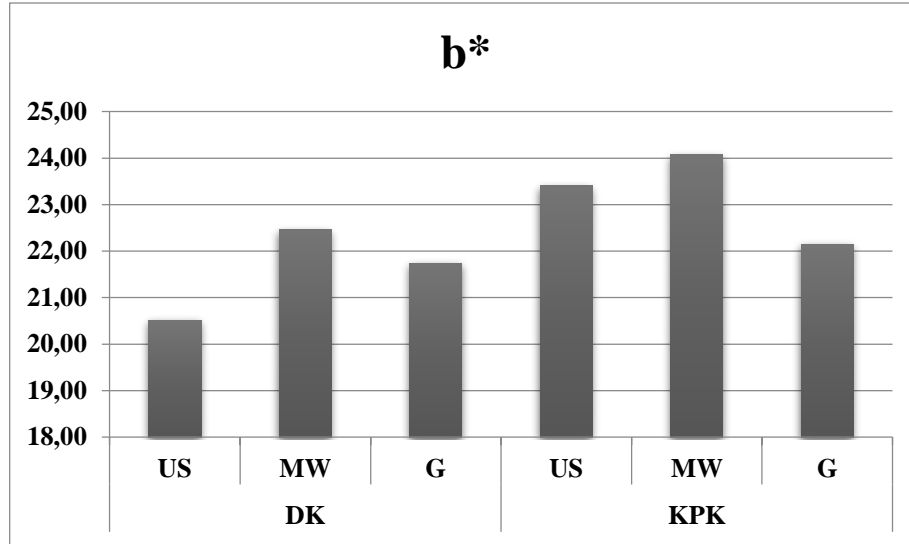
Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin b* değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonları açısından istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.50).

Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin sarılık değeri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler ve kurutma yöntemleri istatistiki olarak $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonları sarılık değeri üzerinde istatistiki olarak $p < 0.05$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.52’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en düşük b^* değerleri ultrason yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit edilmiş, mikrodalga ve geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer sarılık değerleri vermiştir. Yulaf sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin sarılık değerlerinin KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.53’de verilen Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre nohut sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en düşük sarılık değerleri geleneksel ve ultrason yöntemleriyle elde edilmiş örneklerde tespit edilmiş, mikrodalga yöntemiyle üretilen nohut sütü tozu örnekleri ise en yüksek b^* değerleri vermiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; dondurarak yöntemi ile kurutulan örneklerin sarılık değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.52’de nohut sütü tozu örneklerinin b^* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksiyonu verilmiştir. En yüksek sarılık değerleri MW-KPK örneğinde belirlenmiştir. KPK yöntemi DK yöntemine kıyasla daha sarı renkler göstermiştir. En düşük sarılık değerleri ise US-DK örneğinde görülmüştür. MW işleme yöntemi her iki kurutma yönteminde de yüksek sarılık değerleri vermiştir.



Şekil 4. 52. Nohut sütü tozu örneklerinin b* değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.54’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; ultrason yöntemiyle elde edilen örnekler en düşük b* değerleri verirken, en yüksek b* değerleri mikrodalga yöntemiyle elde edilen süt tozu örneklerinde tespit edilmiştir. Badem sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak yöntemi ile kurutulan örneklerin sarılık değerleri KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük bulunmuştur. Datta (2001), mikrodalga işleminin ürünün renk özellikleri üzerindeki etkilerinin işlem gücüne ve süresine bağlı olduğunu, yüksek güçte b* değerinin belirgin şekilde arttığını rapor etmiştir.

Bitkisel süt tozlarının hammaddesindeki doğal pigmentler (örneğin karotenoidler) ürünün sarılık değerini etkilerler. Bu pigmentler hem renk hem de antioksidan özellikler sunarak ürünün besin değerine katkıda bulunmaktadır. İşlem sırasında pigmentlerin korunması, ürünün hem görsel hem de besinsel kalitesi açısından önemlidir. Rodríguez-Amaya (2001), bitkisel kaynaklı ürünlerde karotenoidlerin renk üzerinde büyük bir etkisi olduğunu ve bu bileşiklerin işlem sırasında korunmasının ürün kalitesini artırdığını belirtmiştir.

Tonon ve ark. (2008), sprey kurutma ile hazırlanan toz gıdalarda, depolama sırasında renk stabilitesinin önemli bir kalite göstergesi olduğunu ve sarılık değerindeki değişimlerin oksidatif bozulmayı yansıtabileceğini belirtmiştir.

4.2.6.4 SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değeri

Bitkisel süt tozlarına ait renk sonuçları (L^* , a^* , b^* , SI ve Hue angle) Çizelge 4.46, 4.47 ve 4.48’de verilmiştir. Yulaf sütü tozu örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) değerleri 15.81–18.26, hue angle (Ton açısı) değerleri 102.18–105.7 değerleri arasında bulunmuş, nohut sütü tozu örneklerinin SI değerleri 21.10–24.28; hue angle değerleri 97.58–103.49 değerleri arasında; badem sütü tozu örneklerinin SI 18.06–25.99; hue angle 99.51-107.76 değerleri arasında bulunmuştur.

Varyans analiz sonuçları yulaf sütü tozu örneklerinin doygunluk indeksi değerleri bakımından incelendiğinde kurutma yöntemleri ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları açısından ve ton açısı değerleri açısından istatistiki olarak önemsiz olduğu görülmüştür.

Doygunluk indeksi değerleri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler ve kurutma yöntemleri $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu, “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak önemsiz ($p>0.05$) olduğu belirlenmiştir. Ton açısı değerleri kurutma yöntemleri bakımından incelendiğinde istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde; “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları açısından ise $p<0.05$ düzeyinde önemli olduğu, Süte uygulanan yöntemler bakımından önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.49).

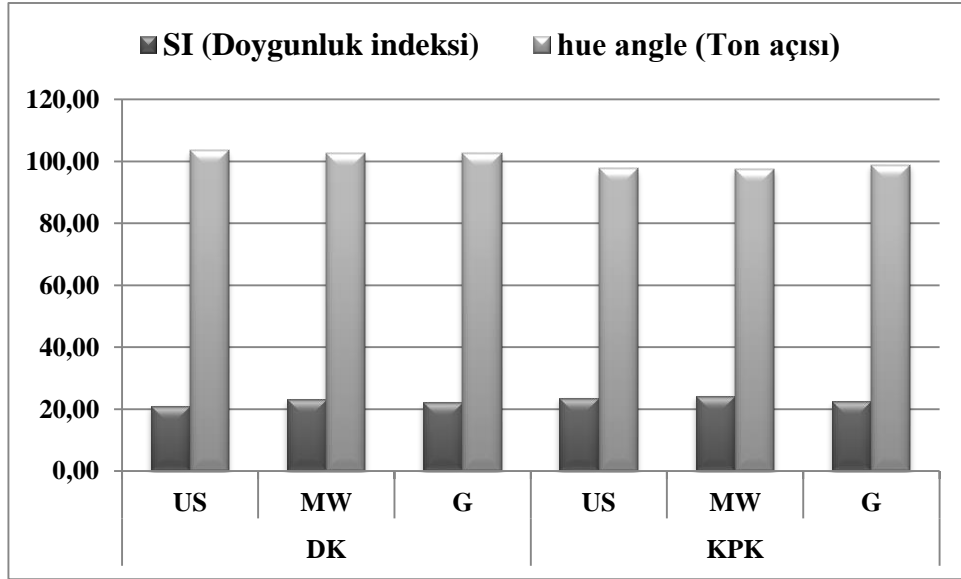
Varyans analiz sonuçları nohut sütü tozu örneklerinin SI ve ton açısı değerleri bakımından incelendiğinde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları açısından istatistiki olarak $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.50).

Varyans analiz sonuçları badem sütü tozu örneklerinin doygunluk indeksi ve ton Hue angle değerleri bakımından incelendiğinde nohut sütü tozuna benzer şekilde süte uygulanan yöntemler, kurutma yöntemleri ve “*Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi*” interaksiyonları açısından $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.52’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları yulaf sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en düşük doygunluk indeksi değerlerinin ultrason yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit edilmiş, mikrodalga ve geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü tozu örneklerinde istatistiki olarak benzer doygunluk indeksi değerleri belirlenmiştir. Yulaf süt tozu örneklerinin SI değerleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örnekler KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük bulunmuştur. Farklı Süte uygulanan yöntemler ile üretilen yulaf sütü tozu örnekleri istatistiki olarak benzer Hue angle değerleri vermiştir. Hue angle değerleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise; KPK yöntemi ile kurutulan örneklerin dondurarak kurutma yöntemine kıyasla daha düşük değerler verdiği bulunmuştur.

Çizelge 4.53’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları nohut sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde; en yüksek doygunluk indeksi değerlerinin mikrodalga yöntemiyle elde edilen örneklerde tespit edilmiş, geleneksel ve ultrason yöntemleriyle üretilen nohut sütü tozu örneklerinde istatistiki olarak benzer doygunluk indeksi değerleri belirlenmiştir. Geleneksel yöntemle üretilen nohut sütü tozu örneklerinde en yüksek ton açısı değerleri elde edilmiştir. Nohut sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından değerlendirildiğinde ise dondurarak yöntemi ile kurutulan örneklerin KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük doygunluk indeksi değerleri ile daha yüksek ton açısı değerleri verdiği belirlenmiştir.

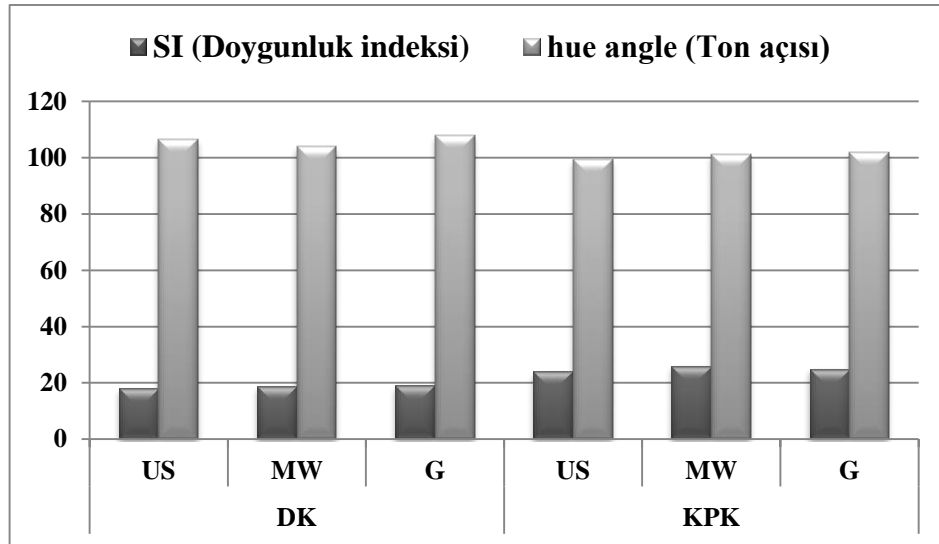
Şekil 4.53’de nohut sütü tozu örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu verilmiştir. DK ve KPK arasında doygunluk indeksinde önemli bir fark gözlenmezken DK yöntemi biraz daha yüksek doygunluk indeksi değerleri vermiştir. Ton açısı değerleri bakımından KPK kurutma yöntemi DK yöntemine kıyasla biraz daha yüksek ton açısı değerleri göstermiştir.



Şekil 4. 53. Nohut sütü tozu örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve Hue angle değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

Çizelge 4.54’de gösterilen karşılaştırma testi sonuçları badem sütü tozu süte uygulanan yöntemler açısından incelendiğinde en yüksek SI değerlerinin mikrodalga yöntemiyle elde edilmiş örneklerde belirlenmiş, ultrason yöntemiyle üretilen badem sütü tozu örnekleri ise en düşük doygunluk indeksi değerleri vermiştir. Geleneksel yöntemle üretilen nohut sütü tozu örneklerinde en yüksek ton açısı değerleri bulunmuştur. Badem sütü tozu örnekleri kurutma yöntemleri açısından incelendiğinde ise dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerin KPK yöntemiyle kurutulanlara göre daha düşük doygunluk indeksi değerleri ile daha yüksek ton açısı değerleri verdiği belirlenmiştir.

Şekil 4.54’de badem sütü tozu örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve hue angle (Ton açısı) değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu verilmiştir. DK ve KPK arasında doygunluk indeksinde önemli bir fark gözlenmezken KPK yöntemi biraz daha yüksek doygunluk indeksi değerleri vermiştir. Ton açısı değerleri bakımından DK kurutma yöntemi KPK yöntemine kıyasla biraz daha yüksek ton açısı değerleri göstermiştir.



Şekil 4. 54. Badem sütü tozu örneklerinin SI (Doygunluk indeksi) ve Hue angle değerleri üzerinde etkili “Süte uygulanan yöntemler x Kurutma yöntemi” interaksyonu. DK: Dondurarak kurutma; KPK: kırınım pencereci kurutma; US: Ultrason; MW: Mikrodalga; G: Geleneksel

4.2.7. Mikroskopik morfoloji (FE-SEM)

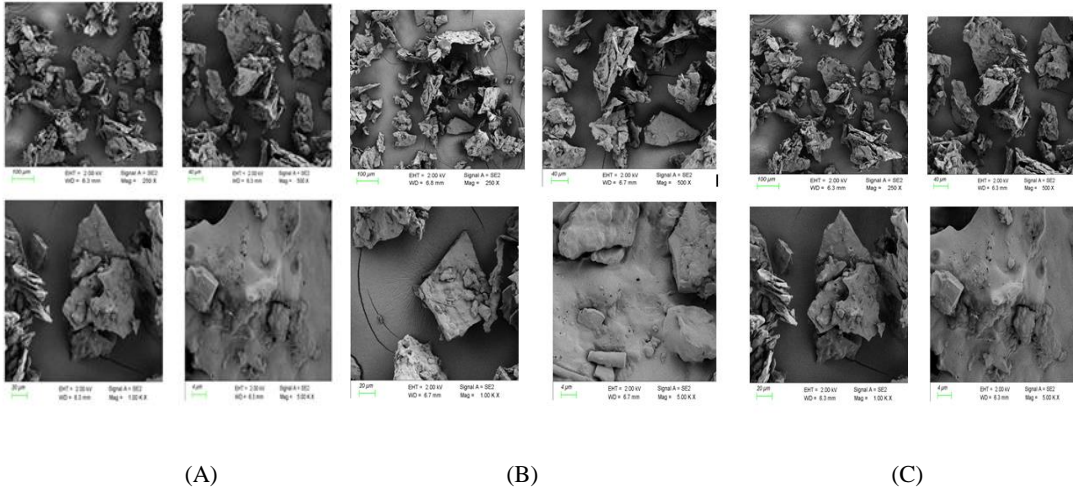
Farklı işleme yöntemleri (geleneksel, mikrodalga ve ultrason) ile üretilmiş bitkisel sütlerin Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM) (ZEISSGemin İSEM 500) 250 - 500 - 1000 ve 5000 kat büyütmelede mikroskopik morfoloji görüntüleri Şekil 4.52, 4.53 ve 4.54’de ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu değerler, farklı işlem yöntemlerinin bitkisel sütlerdeki partikül yapısı ve morfolojik değişimler üzerindeki etkileri göstermektedir.

FE-SEM görüntülerine bakıldığında, geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü partiküllerinin daha düzensiz ve büyük olduğu gözlemlenmektedir. Büyük ve yoğun kümelenmeler vardır, bu da çözünürlüğün düşük olduğunu ve partiküllerin tam olarak dağılmadığını göstermektedir. Parçacıkların yüzeyi pürüzlü ve düzensizdir. Mikrodalga uygulaması, partiküllerin boyutunu küçültmüş ve dağılımını daha homojen hale getirmiştir. Ancak bazı büyük partiküllerin varlığı hâlâ gözlemlenebilir. Termal işlem nedeniyle partiküllerin yüzeyi nispeten daha düzgün hale gelmiştir. Ultrason işlemine tabi tutulan yulaf sütü, en küçük ve en düzgün dağılımlı partiküllere sahiptir. Yüksek

frekanslı ultrason dalgaları, partikülleri daha küçük boyutlara ayırarak homojen bir yapı oluşturmuştur. Çözünürlüğün en yüksek olduğu yöntem olduğu söylenebilir.

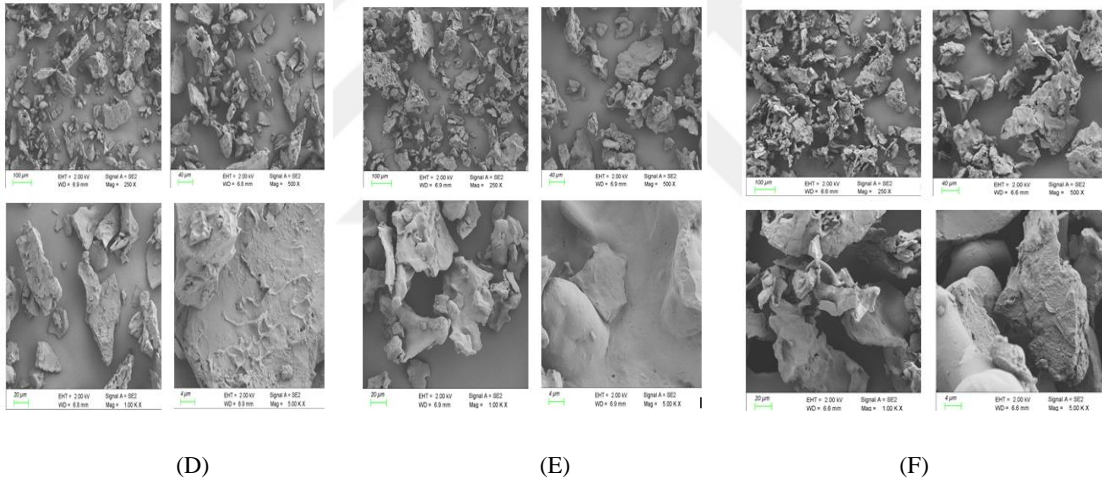
Yapılan bir çalışmada yulaf ununda kullanılan ekstrüzyon, silindirik kurutma ve enzimatik işleme püskürtmeli kurutma olmak üzere üç farklı prosesin yulaf ununun kalitesini değiştirdiği rapor edilmiştir. Üç işleme yönteminin yulaf ezmesinin dokusu ve organizasyonu üzerinde büyük bir etkisi olduğunu kaydedilmiş, moleküllerin birbirine kuvvetlice yapıştığı gözlenmiştir. Şekillerinin ekstrüzyon işlemindeki yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yüksek kesme kuvvetinden dolayı düzgün olmadığı rapor edilmiştir. Şiddetli ekstrüzyon koşulları nişastanın jelatinleşmesine, hidrolize olmasına ve proteinin parçalanması sebebiyle parçacıkların düzensiz ve daha gözenekli olmasına neden olduğu rapor edilmiştir (He ve ark., 2020). FE-SEM görüntülerinde, geleneksel yöntemle üretilen nohut sütü partiküllerinin düzensiz ve büyük olduğu görülmektedir. Mikrodalga uygulamasıyla partiküllerin boyutunda belirgin bir küçülme gözlemlenmektedir. Ultrason uygulamasıyla üretilen nohut sütü, en küçük ve en homojen partikül dağılımına sahiptir.

Samborska ve ark., (2024) baklagillerden soya fafulyesi içeceği üzerinde yaptıkları bir çalışmada; soya parçacıklarının yüzeylerinin buruşuk olduğu, dışbükeylikler içerdiği ve şeklinin golf topuna benzediği belirtilmiştir. Soya içeceği yüksek miktarda protein ve karbonhidrat içermektedir ve bu farklılıklar farklı parçacık morfolojisine yol açabilmektedir. Çünkü kimyasal bileşim, su buharlaşması sırasında damlacıkların yüzeyinde sert kabuk oluşumunu etkilemekte ve bu da oluşan parçacıkların küçülmesine veya düzenli yuvarlak bir şekilde kalma yeteneğini etkilemektedir (Samborska ve ark., 2024).



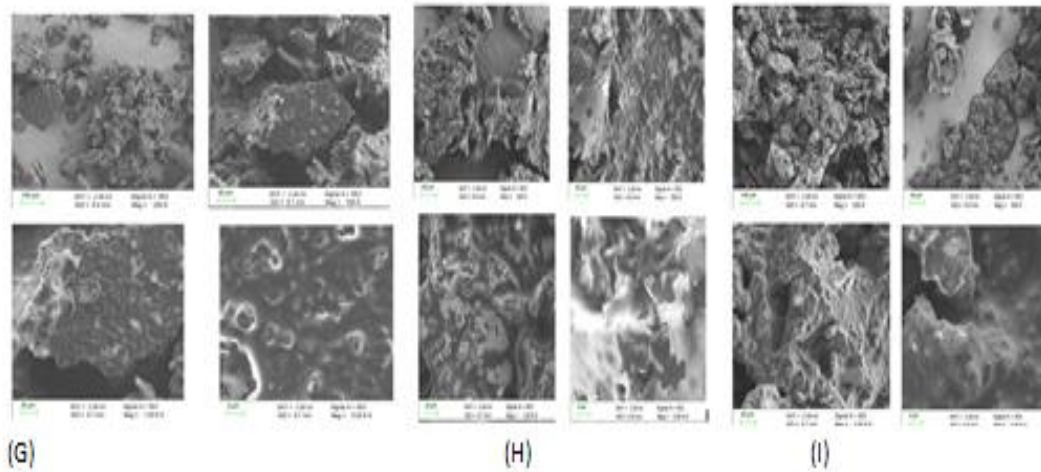
(A) Ultrason uygulama (B) Mikrodalga uygulama (C) Geleneksel uygulama

Şekil 4. 55. Yulaf sütü tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



(D) Ultrason uygulama (E) Mikrodalga uygulama (F) Geleneksel uygulama

Şekil 4. 56. Nohut sütü tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



(I) Ultrason uygulama (H) Mikrodalga uygulama (G) Geleneksel uygulama ile üretilen badem sütü tozu

Şekil 4. 57. Badem sütü tozlarının taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Badem sütü üretiminde farklı işlemlerin (geleneksel, mikrodalga ve ultrason) uygulanması, süt partiküllerinin morfolojisini ve stabilitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. SEM görüntülerinde, geleneksel yöntemle üretilen badem sütü partiküllerinin büyük ve düzensiz yapıda olduğu gözlemlenmektedir. Homojen bir dağılım sağlanamamış olup, partiküller arasında belirgin boşluklar bulunmaktadır. Mikrodalga işlemi, partikül boyutunun belirli bir oranda küçülmesini sağlamış, ancak tamamen homojen bir dağılım elde edilememiştir. Isıl işlem nedeniyle partikül yüzeyleri daha düzgün hale gelmiştir, ancak bazı bölgelerde büyük partiküllerin hâlâ mevcut olduğu görülmektedir.

Ultrason uygulamasının badem sütü partiküllerini en küçük boyutlara indirmediği gözlemlenmektedir. Homojen bir yapı sağlanmış olup, partiküllerin yüzeyi diğer yöntemlere kıyasla daha düzgün ve daha az pürüzlüdür. Ultrason dalgalarının oluşturduğu kavitasyon etkisi sayesinde protein ve lipidlerin çözünürlüğü artmış, süt daha stabil hale gelmiştir.

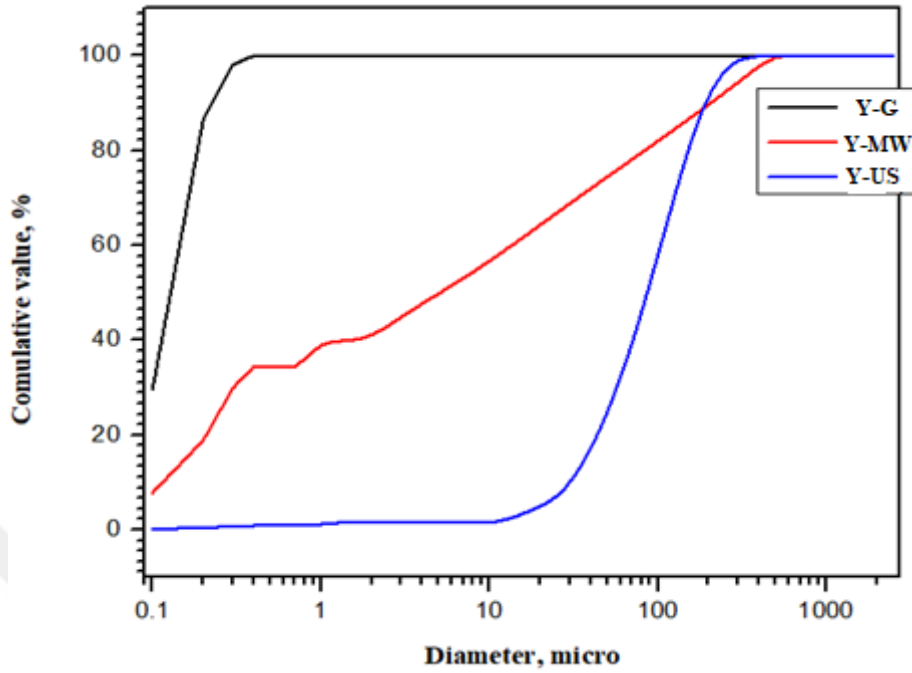
Yapılan bir çalışmada darbeli elektrik alanının badem sütünün reolojik, yapısal ve fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Parçacık boyutu önemli ölçüde azalmış ve monodispers dağılımlar gözlenmiş, parçacık boyutundaki azalma taramalı elektron mikroskobu ile de doğrulanmıştır (Manzoor ve ark. 2020). Proteinin

düşük su afinitesi ve yüksek hidrofobisitesi ile ilgili zayıf stabilizasyon özellikleri, sonraki faz ayrımının ve flokülasyon sürecinin nedenidir. Darbeli elektrik alan işleminin damlacık boyutunu azalttığı ve kısmi protein çözünürlüğünü teşvik ettiği belirtilmiştir (Dhakal ve ark. 2014 ; Hemar ve ark., 2011).

4.2.8. Partikül boyutu

Gıda endüstrisinde bitkisel süt üretimi giderek önem kazanmakta olup, partikül boyut analizi ürünlerin fizikokimyasal özelliklerini değerlendirmede kritik bir rol oynamaktadır. Farklı Süte uygulanan yöntemler nin (ultrason, mikrodalga ve geleneksel) yulaf sütü tozu partikül boyutları üzerindeki etkisi Çizelge 4.57’da gösterilmiştir. Çizelge 4.58’da sunulan sonuçlara göre, sütee uygulanan yöntemler partikül boyutu dağılımı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir.

Ultrason yöntemi ile elde edilen yulaf sütü tozu, diğer yöntemlere kıyasla daha büyük partikül boyutlarına sahip olmuştur. D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla 29.92 μm , 86.58 μm ve 192.79 μm olarak ölçülmüştür. Ultrasonik işlem, genellikle partikül boyutunu küçültmede etkili bir yöntem olarak kabul edilse de (Aghbashlo ve ark., 2021), yulaf sütü tozunda daha büyük partikül boyutları gözlenmiştir. Bunun nedeni, yulafın içeriğindeki beta-glukan ve diğer çözünür liflerin yapısal özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Zhu, 2020).



Şekil 4. 58. Yulaf süt tozu örneklerine ait partikül boyut dağılım grafiği

— Ultrason — Mikrodalga — Geleneksel

Çizelge 4. 55 Yulaf sütü tozu örneklerinin partikül boyutu ve zeta potansiyeli sonuçları¹

Süte uygulanan yöntemler	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)	Zeta potansiyeli (mV)
Ultrason (US)	29.93 ^a	86.58 ^a	192.79 ^b	-3.62 ^b
Mikrodalga (MW)	0.11 ^b	5.08 ^b	205.36 ^a	55.50 ^a
Geleneksel (G)	0.03 ^c	0.13 ^c	0.22 ^c	-3.09 ^b

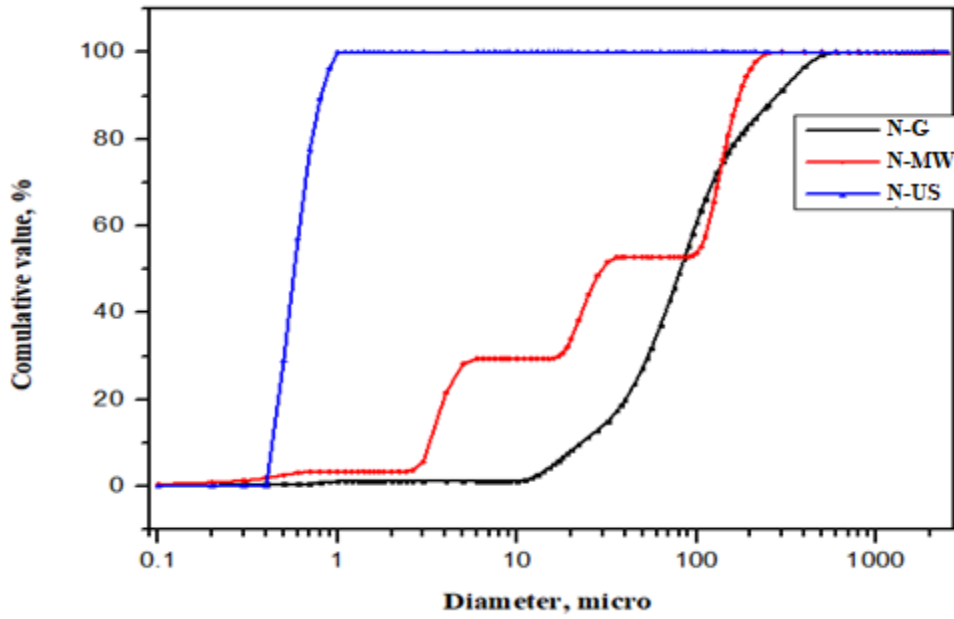
¹Sonuçlar iki tekrerrün ortalamasıdır.

Ultrason işlemi, partiküllerin homojen dağılımını sağlasa da bazı hidrokolloid bileşenlerin agregasyon oluşturmaya neden olabilmektedir. Mikrodalga yöntemi ile elde edilen yulaf sütü tozu, ultrason yöntemine göre daha küçük partikül boyutlarına sahiptir. D₁₀, D₅₀ ve D₉₀ değerleri sırasıyla 0.11 µm, 5.08 µm ve 205.36 µm olarak belirlenmiştir. Mikrodalga işlemi, gıda matrisinde lokal sıcaklık artışları oluşturarak partiküllerin küçülmesini sağladığı için partikül boyutu dağılımı daha düşük bulunmuştur (Feng ve ark., 2022). Bununla birlikte, D₉₀ değeri ultrason yöntemine yakın olup, bazı büyük partikül kümelerinin varlığını göstermektedir. Geleneksel yöntem ile üretilen yulaf sütü tozu, en küçük partikül boyutlarına sahip olmuştur. D₁₀,

D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla $0.03 \mu\text{m}$, $0.13 \mu\text{m}$ ve $0.22 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Geleneksel yöntemler genellikle daha büyük partikül boyutlarına neden olurken, bu çalışmada oldukça küçük partikül boyutları gözlenmiştir. Bunun nedeninin, kullanılan mekanik işlem basamakları ve düşük sıcaklıkta uygulanan kurutma teknikleri olabileceği düşünülmektedir (Chen ve ark., 2019).

Yulaf unu üzerinde uygulanan üç farklı işlemin (ekstrüzyon, tambur kurutma ve enzimle işlenmiş püskürtmeli kurutma) yulaf ununun kalitesi üzerine etkisinin incelendiği araştırmada parçacık boyutu dağılımı açısından, ekstrüde edilmiş ve tamburla kurutulmuş yulaf unu daha küçük parçacık boyutu gösterdiği ve parçacıkların daha az eksiksiz ve düzensiz yüzeylere sahip olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, enzimle işlenmiş püskürtmeli kurutma örnekleri en iyi parçacık düzgünlüğünü ve küreselliğini gösterdiği belirtilmiştir (He ve ark. 2020).

Ultrason yöntemiyle üretilen nohut sütü tozu, en düşük partikül boyutlarına sahip olmuştur. D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla $0.43 \mu\text{m}$, $0.57 \mu\text{m}$ ve $0.80 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, ultrasonun yüksek frekanslı ses dalgaları sayesinde partiküllerin daha küçük boyutlarda kalmasını sağladığını ve homojen bir dağılım oluşturduğunu göstermektedir. Mikrodalga yöntemi ile üretilen nohut sütü tozu, ultrason yöntemine kıyasla daha büyük partikül boyutlarına sahip olmuştur. D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla $3.25 \mu\text{m}$, $29.80 \mu\text{m}$ ve $172.65 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. Mikrodalga enerjisinin suyun hızlı buharlaşmasını sağlaması, partiküllerin bir araya gelerek agregasyon oluşturmaya ve daha geniş partikül boyutu dağılımına neden olmuş olabilir. Geleneksel yöntemle üretilen nohut sütü tozu, en büyük partikül boyutlarına sahip olmuştur. D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla $22.63 \mu\text{m}$, $81.43 \mu\text{m}$ ve $279.81 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, geleneksel yöntemin partiküllerin büyük kümeler halinde kalmasına neden olduğunu ve homojen dağılımın sağlanamadığını göstermektedir. Nohut sütünün partikül boyut dağılımı depolama süresi boyunca monomodal dağılım gösterdiği yapılan bir çalışmada da belirtilmiştir (Snir ve ark., 2025).



Şekil 4. 59. Nohut sütü tozu örneklerine ait partikül boyut dağılım grafiği

— Ultrason — Mikrodalga — Geleneksel

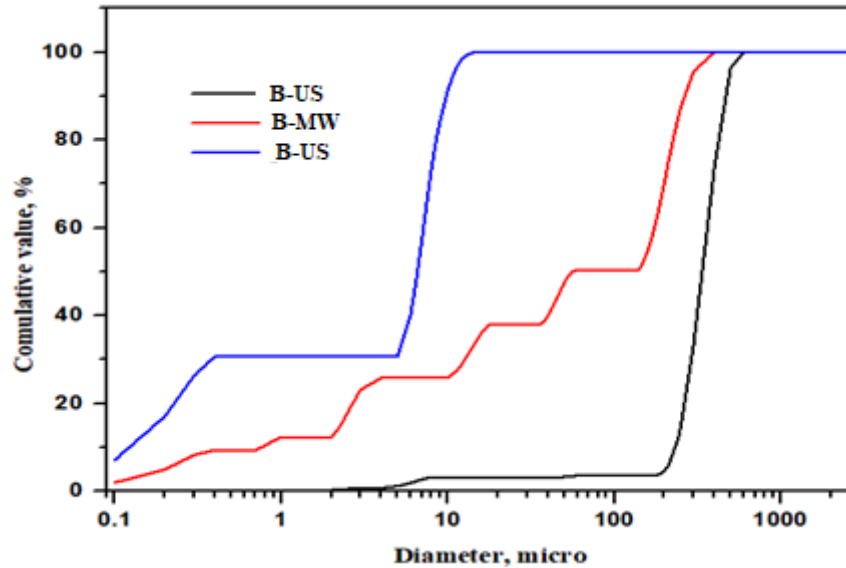
Çizelge 4. 56 Nohut sütü tozu örneklerinin partikül boyutu ve zeta potansiyeli sonuçları¹

Süte uygulanan yöntemler	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)	Zeta potansiyeli (mV)
Ultrason (US)	0.43 ^c	0.57 ^c	0.80 ^c	-13.33 ^a
Mikrodalga (MW)	3.25 ^b	29.80 ^b	172.65 ^b	-16.75 ^c
Geleneksel (G)	22.63 ^a	81.43 ^a	279.81 ^a	-15.30 ^b

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Farklı Süte uygulanan yöntemler nin (ultrason, mikrodalga ve geleneksel) badem sütü tozu partikül boyutları üzerindeki etkisi Çizelge 4.58'de incelenmiştir. Çizelge 4.58'de elde edilen sonuçlara göre, süte uygulanan yöntemlerin partikül boyut dağılımı üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmektedir. Ultrason yöntemi ile üretilen badem sütü tozu, en düşük partikül boyutlarına sahip olmuştur. D₁₀, D₅₀ ve D₉₀ değerleri sırasıyla 0.12 µm, 6.56 µm ve 9.80 µm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, ultrasonun yüksek frekanslı ses dalgaları sayesinde partiküllerin homojen dağılımını sağladığını ve küçük boyutlarda kalmasını desteklediğini göstermektedir. Mikrodalga yöntemi ile üretilen badem sütü tozunda partikül boyutları ultrason yöntemine kıyasla daha büyük,

ancak geleneksel yöntemle göre daha küçük bulunmuştur. D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla $0.76 \mu\text{m}$, $55.74 \mu\text{m}$ ve $265.77 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. Mikrodalga enerjisi, partiküllerin su içeriğini hızla buharlaştırarak farklı boyutlarda agregasyonlara neden olabilmekte, bu da partikül boyut dağılımında geniş bir aralık oluşmasına sebep olabilmektedir. Geleneksel yöntemle üretilen badem sütü tozu, en büyük partikül boyutlarına sahip olmuştur. D_{10} , D_{50} ve D_{90} değerleri sırasıyla $231.85 \mu\text{m}$, $337.63 \mu\text{m}$ ve $469.51 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu yüksek değerler, geleneksel yöntemle elde edilen partiküllerin büyük kümeler oluşturduğunu ve homojen olmayan bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Ultrason yönteminin partikül boyutunu küçültmede en etkili teknik olduğunu ortaya koymaktadır. Küçük partikül boyutları, ürünün çözünürlüğünü ve stabilitesini artırarak daha kaliteli bir badem sütü tozu elde edilmesine olanak tanımaktadır. Mikrodalga yöntemi kısmen etkili olurken, geleneksel yöntem en büyük partikül boyutlarına sahip olmuş ve daha az homojen bir dağılım göstermiştir. Yapılan çalışmada yüksek basınç homojenizasyonunun ve ısıl işlemin badem ve fındık sütlerinin fiziksel özellikleri ve kararlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Işık saçılımı kırınımı ile parçacık boyutlarındaki büyük azalma rapor edilmiştir (Bern ve ark. 2015).



Şekil 4.60. Badem sütü tozu örneklerine ait partikül boyut dağılım grafiği

— Ultrason — Mikrodalga — Geleneksel

Çizelge 4. 57 Badem sütü tozu örneklerinin partikül boyutu ve zeta potansiyeli sonuçları¹

Sütle uygulanan yöntemler	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)	Zeta potansiyeli (mV)
Ultrason (US)	0.12 ^c	6.56 ^c	9.80 ^c	-23.52 ^c
Mikrodalga (MW)	0.76 ^b	55.74 ^b	265.77 ^b	-15.35 ^a
Geleneksel (G)	231.85 ^a	337.63 ^a	469.51 ^a	-18.68 ^b

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Yapılan çalışmada badem sütü hazırlama sırasında uzatılmış ultrason (US) süresi nedeniyle daha yüksek kesme etkisi görülmüş, parçacık boyutunda bir azalmaya neden olmuştur. Parçacık boyutu başlangıçta yaklaşık 300 µm iken 5 dklık ultrason süresinden sonra 45 µm'ye azaldığı rapor edilmiştir (Maghsoudlou ve ark., 2016).

Yapılan bir çalışmada fıstık sütüne 3 dakikalık süreyle 3 farklı yoğunlukta uygulanan (200 W, 300 W ve 400 W) sonikasyon işlemlerinden 200 W yoğunlukta uygulanan sonikasyon işleminin, yağ küreciklerinin boyutunu azalttığı ve azalma yoğunluğu sırasıyla 300 W ve 400 W'da yapılan uygulamalara kıyasla daha fazla olduğu belirtilmiştir (Marchesini ve ark., 2015).

Lu ve ark., (2019) formülasyonda mısır taneleri ve yüksek amilozlu mısır nişastasası bulunan hindistan cevizi sütü kompozit sistemi üzerinde yüksek yoğunluklu ultrasonun etkisini incelemek üzere bir araştırma yürütmüştür. Çalışmada, ultrasonik işlem görmeyen saf hindistan cevizi sütü, 60-300 µm, 0.01 µm ve 1-20 µm olmak üzere iki grupta parçacıklar göstermiştir. Ancak, ultrason işleminden sonra parçacık boyutu azalmış ve boyut büyük ölçüde 0.01-0.7 µm ve 2-30 µm arasında olduğu rapor edilmiştir.

4.2.9. Zeta potansiyeli (Partikül yükü ζ)

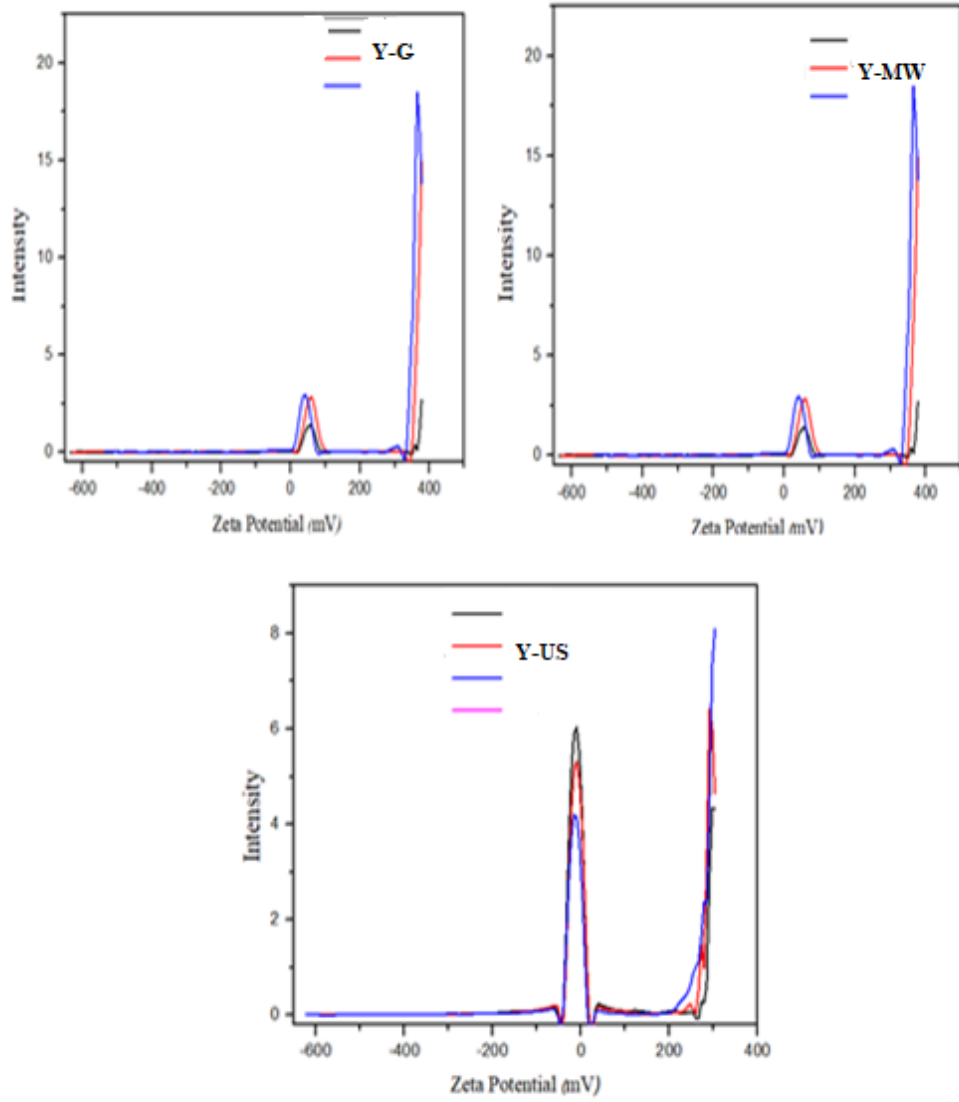
Kolloidal parçacıklar üzerindeki yüzey yükleri, parçacıklar arasında meydana gelen etkileşimlerin türü ve büyüklüğünün önemli bir belirleyicisi olarak işlev görür. Zeta potansiyeli (ζ), askıdaki parçacıkların yüzey yüklerinin büyüklüğünü açıklayan parametrelerden biridir.

Farklı işleme yöntemleriyle üretilen yulaf sütü tozlarının zeta potansiyeli değerleri Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntemlerle elde edilen numunelerin zeta potansiyeli dağılımı incelenmiş ve partikül yüzey

yüklerindeki farklılıklar değerlendirilmiştir. Uygulanan tüm yöntemlerde pozitif ve negatif yük dağılımları gözlemlenmiştir. Mikrodalga yöntemle üretilen numuneler yüksek zeta potansiyeli gösterirken, ultrason ve geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü tozları benzer yük profilleri sergilemiştir. Bu sonuçlar, işleme yöntemlerinin partikül stabilitesi ve kolloidal özellikler üzerindeki etkisini anlamak açısından önemlidir. Bu analiz, yulaf sütü tozunun üretiminde kullanılan farklı tekniklerin ürün stabilitesi üzerindeki rolünü belirlemek için önemli bir bilimsel karşılaştırma sunmaktadır.

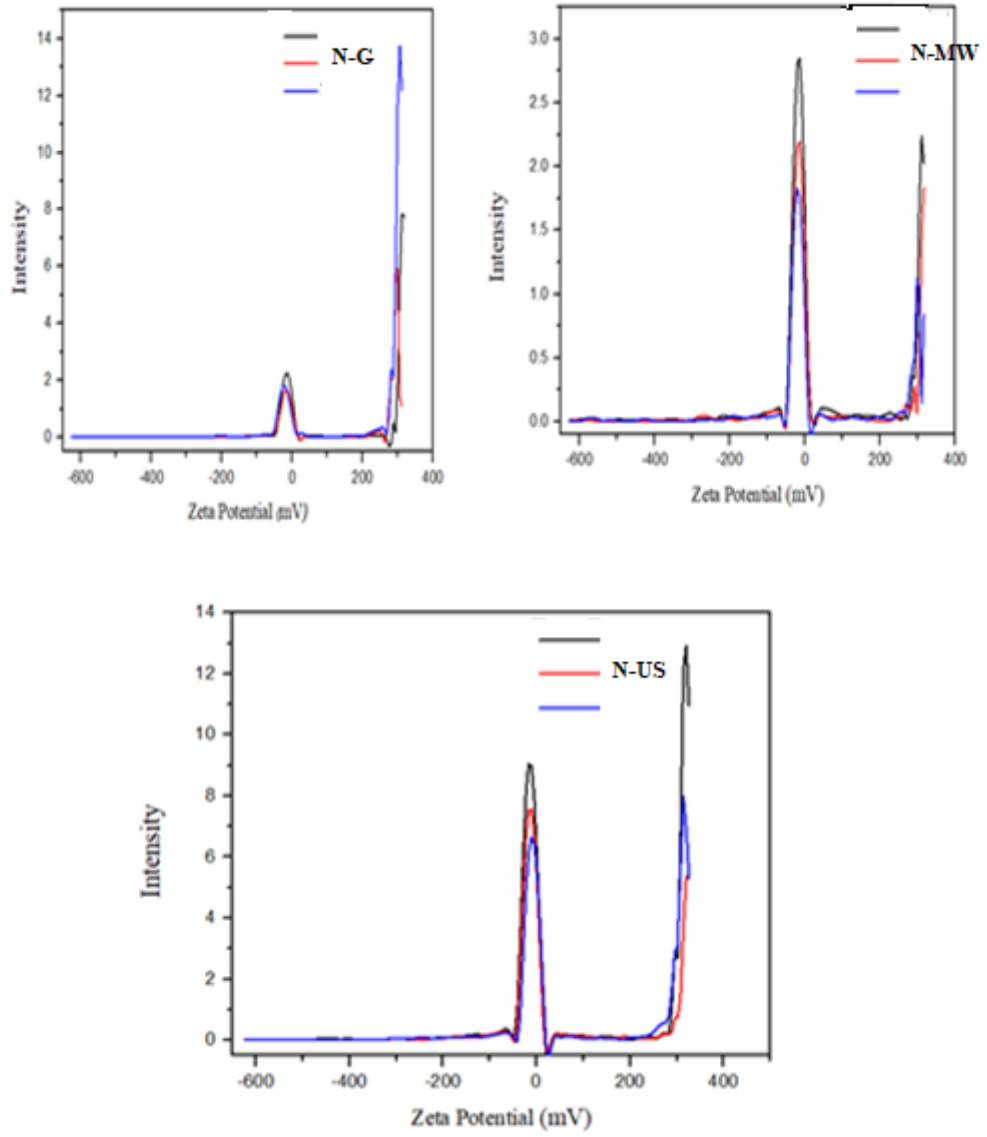
Geleneksel, mikrodalga ve ultrason yöntemleriyle üretilen nohut sütü tozlarının zeta potansiyeli dağılımı Şekil 4.57'de gösterilmiştir. Ultrason yöntemiyle üretilen nohut sütü tozları genellikle daha yüksek zeta potansiyeli sergilerken, mikrodalga ve geleneksel yöntemiyle elde edilen numunelerin zeta potansiyeli profili farklılık göstermiştir. Ultrason yöntemiyle üretilen numuneler ise belirgin şekilde çift tepe yapısı sergileyerek partikül dağılımı açısından farklılık göstermiştir. Bu sonuçlar, nohut sütü tozunun üretiminde kullanılan teknolojilerin partikül stabilitesi ve yüzey yükü üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Daha yüksek ζ -potansiyeli (60 mV üzeri) negatif veya pozitif olması stabilitenin iyi olduğunu, 20 mV'un altındaki ise sınırlı stabiliteyi ve 5 mV'un altındaki ise agregasyon ve pıhtılaşmaya neden olduğunu göstermektedir.

Ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntemler kullanılarak elde edilen badem süt tozu zeta potansiyeli değerleri incelenmiştir. Ultrason yöntemi en yüksek negatif zeta potansiyeline (-23.52 mV) sahip olup, bu da daha stabil bir kolloidal yapı sunduğunu göstermektedir. Mikrodalga yöntemiyle elde edilen numuneler daha düşük negatif yüke (-15.53 mV) sahip olmuş, bu da stabilitenin ultrason yöntemine göre daha düşük olabileceğini düşündürmektedir.



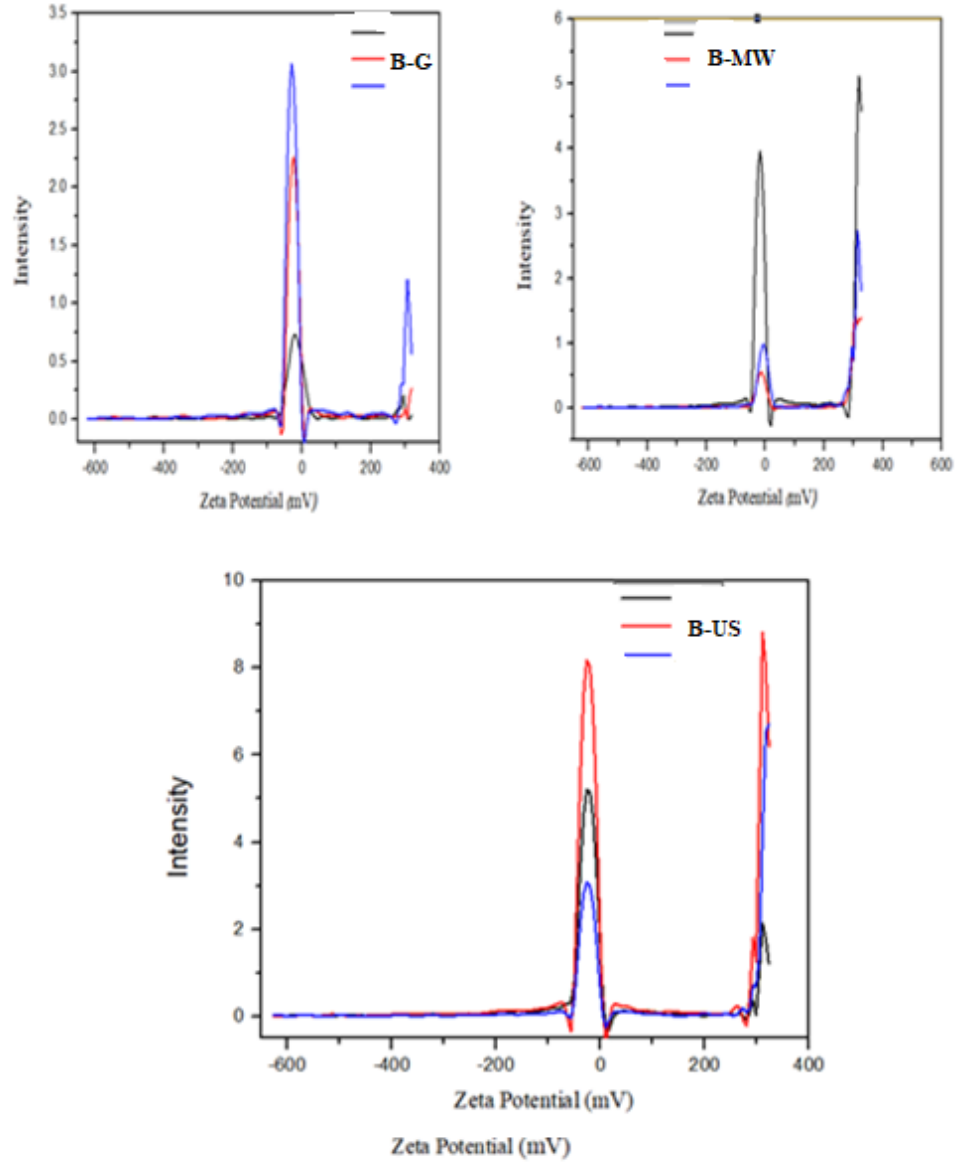
Şekil 4. 61. Yulaf sütü tozu örneklerine ait ζ -potansiyeli grafiği

Y-US Ultrason yöntemi **Y-MW** Mikrodalga yöntemi **Y-G** Geleneksel yöntem



Şekil 4. 62. Nohut sütü tozu örneklerine ait ζ -potansiyeli grafiği

N-US Ultrason yöntemi N-MW Mikrodalga yöntemi N-G Geleneksel yöntem



Şekil 4. 63. Badem sütü tozu örneklerine ait ζ -potansiyeli grafiği

B-US Ultrason yöntemi **B-MW** Mikrodalga yöntemi **B-G** Geleneksel yöntem

Geleneksel yöntemde ise zeta potansiyeli -18.68 mV olarak ölçülmüş, bu değer mikrodalga yöntemine kıyasla daha iyi bir stabilite sunduğunu göstermektedir. Badem sütü tozu üretiminde kullanılan yöntemlerin partikül boyutu ve yüzey yükü üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ultrason yöntemi en küçük partikül boyutuna ve en yüksek stabiliteye sahip ürünler üretirken, mikrodalga yöntemi daha geniş bir partikül dağılımı sergilemiştir.

Yapılan bir çalışmada nohut bazlı bitkisel süte transglutaminaz (TG) enzimi eklenmiş ve örneğin ζ potansiyeli -24,7 mV ile en yüksek değere ulaştığı, bunu (TG) eklenmemiş örneğin (12.4mV) izlediği bulunmuştur (Snir ve ark., 2025).

Yapılan farklı bir çalışmada ise fıstık sütüne uygulanan ultrasonikasyon işleminin ζ -potansiyeli incelenmiş, ultrasonikasyonun uygulanmadığı örneklerde ζ -potansiyel -27.6 mV iken, 300 W'da ultrason uygulanmış örneklerde bu değer -30 mV bulunmuştur.

Yapılan başka bir çalışmada saf hindistan cevizi sütünün mutlak ζ -potansiyel elektronegatiflik sayısının, ultrasonik kabarcıkların neden olduğu kavitasyon nedeniyle, su moleküllerinin ayrışması, hidrojen, hidroksil radikalleri ve diğer serbest radikallerin üretilmesi nedeniyle -0.446 mV'den -9.396 mV'ye çıkarıldığı rapor edilmiştir. Aynı çalışmada mısır tanesi hindistan cevizi sütü kompozit sisteminin elektronegatifliği -34.573 mV ve yüksek amilozlu mısır nişastasası hindistan cevizi sütü sisteminin elektronegatifliği -26.286 mV bulunmuş ve önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Bu da sistemin kararlılığının artmasına yol açmıştır. Bunun arkasındaki neden, ısıtmadan sonra nişasta granül yüzey proteinlerinin hidrofiliten hidrofobik yapıya potansiyel değişimi olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle hindistan cevizi sütünün elektrostatik kararlılığının, mısır tanesi ve mısır nişastasası eklenerek önemli ölçüde değiştiği rapor edilmiştir.

4.2.10. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), organik bileşiklerin fonksiyonel gruplarını belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

Şekil 4.59' da farklı işleme yöntemleriyle üretilen yulaf sütü tozlarına ait FTIR grafikleri verilmiştir. FTIR spektrumları 4000-400 cm^{-1} aralığında gösterilmiştir. Örneklerin spektrumları incelendiğinde YG, YM ve YU sırasıyla 3015 cm^{-1} - 523 cm^{-1} ; 3279 cm^{-1} - 523 cm^{-1} ; 3274 cm^{-1} - 529 cm^{-1} dalga sayısında pikler oluştuğu gözlenmektedir.

Bir bileşiğin molekülde O-H, N-H, C-H gerilme bölgesi 4000-2500 cm^{-1} dalga boyları arasında tespit edilmiştir. 3450 ve 3524 cm^{-1} de gerilimin karakteristik yoğunlukları hidroksil grubunun bulunduğunu gösterdiği bulunmuştur (Abd El-Rahman ve Al-Jameel , 2014; Chereddy ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada 3292 ve 3009

cm^{-1} pik değerlerinde karbonil (C-H gerilme) grubunun bulunduğu, aynı zamanda bu bölgede hidroksil grubunun bulunmadığı rapor edilmiştir. Gerilme bölgesi aralığında görülen 2922 ve 2853 cm^{-1} pik alifatik C-H -titreşimlerinin bulunduğu aralığa girerek burada C-H bağının var olduğu gösterilmiştir. Bilgiye göre 1800-1650 cm^{-1} bölgesi karbonil (C=O) grubudur (Güner Özkan, 2017) .

Yapılan çalışmalarda 1646 cm^{-1} (C–OH grupları ve O-H gerilmeleri), 1704 cm^{-1} (C=O gerilmesi), 2925 cm^{-1} (CH grupları), 3400-3475 cm^{-1} (hidroksil grupları) maltodextrin tipik piklerinde olduğu ve 800-1500 cm^{-1} aralığının tipik karbonhidrat bölgesi olarak tanımlandığı belirtilmiştir. Maltodextrin spesifik bantlarının 929 cm^{-1} ile 759 cm^{-1} arasında olduğu rapor edilmiştir (Paulino ve ark., 2011; Sritham ve Gunasekaran, 2017).

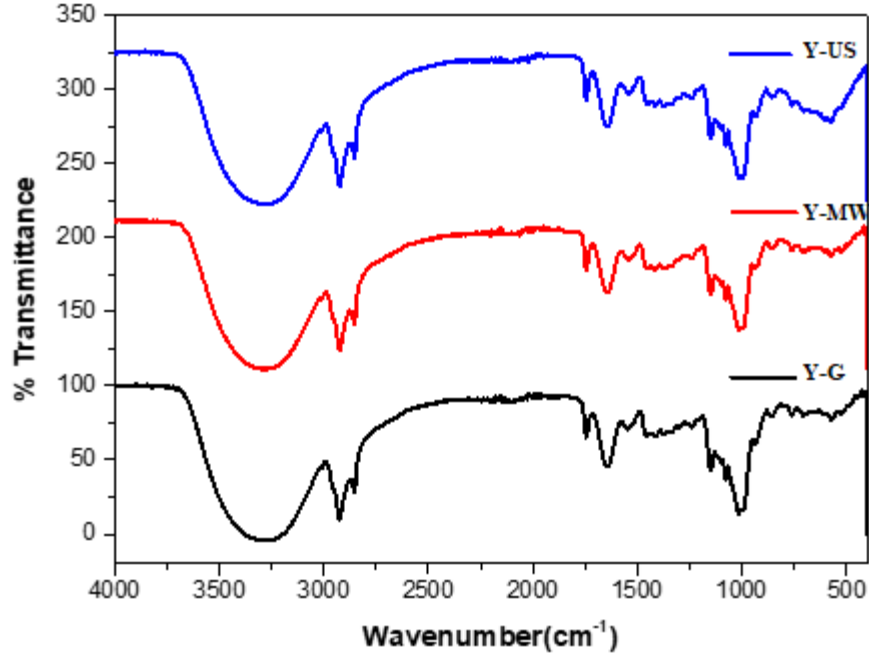
FTIR spektrumu, ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntemlerle üretilen nohut sütlerinin kimyasal bileşimlerini karşılaştırmak üzere Şekil 4.60'da verilmiştir. Örneklerin spektrumları incelendiğinde NG, NM ve NU sırasıyla 3278 cm^{-1} - 523 cm^{-1} ; 3283 cm^{-1} - 528 cm^{-1} ; 3016 cm^{-1} - 434 cm^{-1} dalga sayısında pikler oluştuğu gözlenmektedir.

Ultrason işleminde su ve çözünmüş bileşenlerin homojen dağılması nedeniyle 3300 cm^{-1} (O-H) pikinde artış olabilir. Hüresel yapının bozulması, protein ve karbonhidrat salınımını artırarak 1600 cm^{-1} ve 1200 cm^{-1} bantlarında değişikliklere yol açabilir. Mikrodalga işlemi ısı işlem etkisiyle su kaybına yol açmakta 3300 cm^{-1} (O-H) pikinde azalma görülebilmektedir. Karbonil ve amid piklerinde kaymalar, proteinlerin ikincil yapısında bozulma olduğuna işaret edebilir. Geleneksel yöntem daha az işlem gördüğü için karbonhidrat ve protein bantları daha stabil olabilir. Yağ, protein ve karbonhidrat bileşenleri nispeten korunmuş olabilir.

Yapılan çalışmada nohut unu filmlerinin Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) spektrumları, karbonhidratlar ve proteinlerle ilişkili iki bölgede (3700–2800 cm^{-1} ve 1800–650 cm^{-1}) tipik bantlar gösterilmiştir. Nohut ununun yüksek protein içeriği (yaklaşık 19 g/100 g) nedeniyle, protein gruplarına birkaç bant atanabilir. (Díaz ve ark.,2019).

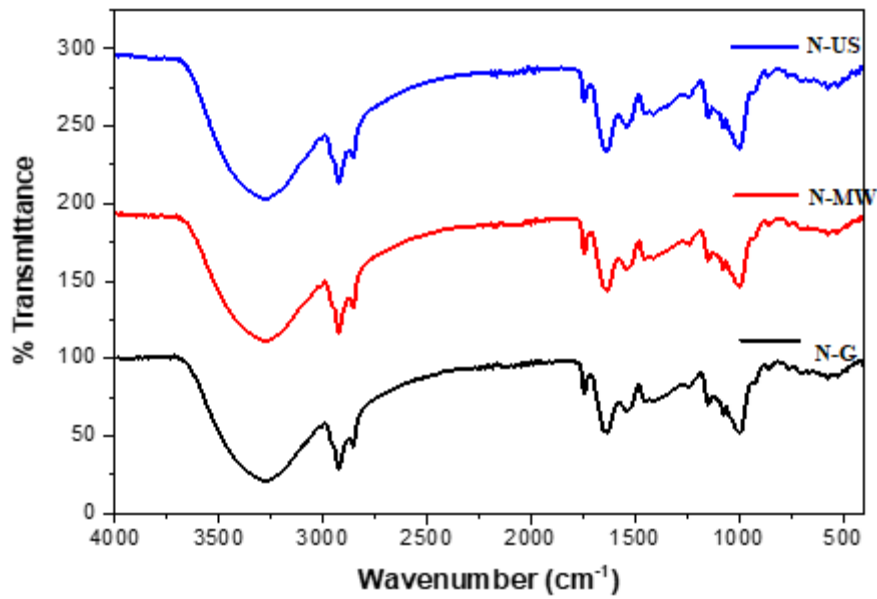
Yapılan bir çalışmada üretilen hindistan cevizi sütü, 1637 cm^{-1} 'lik esnemelerde bulunan çeşitli fonksiyonel grupları tespit etmek için FTIR ölçümüne tabi tutulmuş;

hindistan cevizi sütü proteininden gelen amid fonksiyonel grubunu gözlenmiştir. 3350 cm^{-1} 'de bir bant gözlenmiş; hindistan cevizi sütünde karbonhidrat varlığı tespit edilmiştir (Tulashie ve ark., 2022).



Şekil 4. 64. Yulaf sütü tozu örneklerine ait FTIR grafiği

Y-US Ultrason yöntemi Y-MW Mikrodalga yöntemi Y-G Geleneksel yöntem

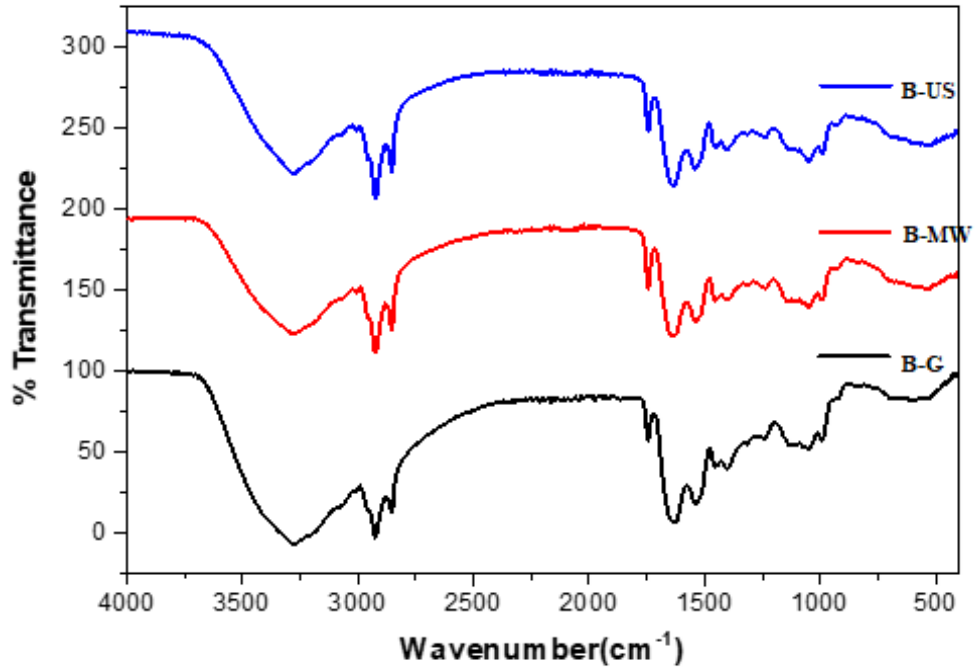


Şekil 4. 65. Nohut sütü tozu örneklerine ait FTIR grafiği

N-US Ultrason yöntemi N-MW Mikrodalga yöntemi N-G Geleneksel yöntem

FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi) analizi, ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntemlerle üretilen badem sütlerinin kimyasal bileşimini karşılaştırmak için Şekil 4.61'de gösterilmiştir. FTIR spektrumları, dalga sayısı (cm^{-1}) cinsinden ölçülerek transmittans yüzdesiyle ilişkilendirilmektedir. Farklı işleme yöntemleri, yağ, protein, karbonhidrat ve su içeriğindeki değişiklikleri yansıtan belirgin absorpsiyon bantları oluşturmaktadır. FTIR spektrumunda görülen karakteristik dalga sayıları genellikle şu bileşenlere işaret eder: $\sim 3300 \text{ cm}^{-1}$ (Geniş pik): O-H (hidroksil) grubu \rightarrow Su, karbonhidratlar ve proteinlerin hidrojen bağları $\sim 2900 \text{ cm}^{-1}$: C-H gerilme titreşimleri \rightarrow Yağ asitleri ve lipitler 1700 cm^{-1} : C=O gerilme titreşimleri \rightarrow Karbonil grubu, yağlar ve proteinler $1600\text{-}1500 \text{ cm}^{-1}$: Amidler (C=O ve N-H) \rightarrow Proteinler (Amid I ve Amid II bantları) $1200\text{-}900 \text{ cm}^{-1}$: C-O ve C-O-C titreşimleri \rightarrow Karbonhidratlar ve polisakkaritler.

Ultrason işleminde, daha yüksek transmittans değerleri görülebilmektedir. Bu da partikül boyutunun küçüldüğünü ve daha homojen bir yapıya sahip olduğunu açıklamaktadır. Proteinler ve yağlar üzerindeki etkisi nedeniyle, 1700 cm^{-1} (C=O) ve 1600 cm^{-1} (Amid I) bantlarında değişiklikler görülebilmektedir. Ultrason enerjisi, hücre yapısını bozarak daha fazla çözülmüş karbonhidrat ve protein salınımına neden olabilmektedir. Mikrodalga işlemi, su içeriğini azaltabileceğinden O-H grubu (3300 cm^{-1}) pikinde azalma meydana getirebilir. Isıl işlem nedeniyle C-H (2900 cm^{-1}) ve karbonil (1700 cm^{-1}) bölgelerinde değişiklikler gözlenebilir. Proteinlerin ikincil yapısında bozulma olabilir, bu da $1600\text{-}1500 \text{ cm}^{-1}$ aralığında farklılıklar oluşturabilir. Geleneksel yöntem genellikle daha az işlem gördüğünden, spektrumda belirgin pikler korunabilmektedir. Daha az fiziksel ve kimyasal bozulma olduğu için, yağ asitleri (2900 cm^{-1}), proteinler (1600 cm^{-1}) ve karbonhidratlar ($1200\text{-}900 \text{ cm}^{-1}$) nispeten güçlü şekilde gözlemlenebilir.



Şekil 4. 66. Badem sütü tozu örneklerine ait FTIR grafiği

B-US Ultrason yöntemi **B-MW** Mikrodalga yöntemi **B-G** Geleneksel yöntem

Yapılan bir çalışmada soya, badem, pirinç ve yulaf gibi en iyi bilinen ticari içecek kaynaklarından bazıları incelenmiştir. Farklı işlemlerin (konsantrasyon, yulaf lifi eklenmesi) ve püskürtmeli kurutmanın iki yaklaşımının (geleneksel yüksek sıcaklıkta püskürtmeli kurutma ve düşük sıcaklıkta nem giderilmiş hava püskürtmeli kurutma) etkisi araştırılmıştır. Toz haline getirilmiş PB'lerin kimyasal bileşimindeki farklılıkları değerlendirmek için Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi uygulanmıştır. FTIR analizi, amid I, amid II ($1700\text{--}1500\text{cm}^{-1}$) ve karbonhidrat bölgesinin ($1200\text{--}900\text{cm}^{-1}$) emilim frekansı aralığında farklılıklar ortaya çıkarmıştır (Samborska ve ark., 2024).

4.3. Kek Analiz Sonuçları

4.3.1. Fiziksel analizler

Yulaf, nohut ve badem gibi bitkisel sütlere ultrason ve mikrodalga uygulaması uygulanarak dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuş süt tozu örnekleri kek formülasyonunda inek sütü tozunun kontrol olarak kullanıldığı kek örneklerini ile bazı kalitatif özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı bitkisel süt tozları ile üretilen

keklerin hamurlarına ait fiziksel analiz sonuçlarına ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.56'de verilmektedir.

4.3.1.1. Özgül ağırlık

Özgül ağırlık, kek hamurunda kullanılan malzemelerin kompaktlığı ve yoğunluğunu göstermektedir. Bu ölçüm, kek hamurunun istenen dokusunu, hafifliğini ve kabarıklığını ifade etmek için kullanılan, malzemelerin doğru oranlaması ve işlenmesi için önemli bir göstergedir. Kek hamuru içindeki hava kabarcıklarının miktarı, özgül ağırlığı belirlemektedir. Özgül ağırlık, hamur içinde karıştırılan hava miktarına bağlı olup, gözeneklerin boyutu, dokuların hacmi ve içsel özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Hamurun özgül ağırlığı yüksekse, hava karışımı daha az olduğundan, hamur daha yoğun, elde edilen kekin hacmi düşük, gözenekler daha yoğun, daha küçük ve kekin içi sert olmaktadır (Lim ve ark., 2010 ; Kim, Lee, ve Kim ve ark., 2014; Song ve ark. 2012).

Farklı bitkisel süt tozları ile formüle edilen kek hamurlarının özgül ağırlık değerleri 1.11 mg/cm^3 ve 1.16 mg/cm^3 arasında değişim göstermiştir. Bitkisel süt tozu ilave edilen kek hamurlarının kontrol örneklere göre daha yüksek özgül ağırlık değerlerine sahip olduğu görülmüş, fakat ultrason uygulanmış nohut sütü tozu ilave edilen kek hamurlarının kontrole benzer değerler gösterdiği belirlenmiştir. Yulaf sütünün her iki yöntemle üretilmiş tozunun ilave edildiği kek örneklerinin hamurlarında da özgül ağırlık değerleri deskriptif olarak en yüksek değerler verdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.56). Nohut sütü yüksek protein içeriği sayesinde emülsiyon kapasitesi yüksektir. Bu durumun da özgül ağırlığı etkilediği düşünülmektedir. Kaur ve Singh (2017)'nin çalışmasına göre; soya sütü kullanılan kek hamurlarında, özgül ağırlık süt proteinleri arasındaki farklılıktan ötürü biraz daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, soya proteininin emülsiyon stabilizasyonunu artırması ile ilişkilendirilmiştir.

Yulaf sütü beta-glukan gibi çözünür lif içerdiği için hamurun su tutma kapasitesini artırır. Bu durum hamurun yoğunluğunu ve dolayısıyla özgül ağırlığını etkileyebilir (Mäkinen ve ark. 2016).

Badem sütü daha yüksek yağ içeriğine sahip olduğu için hamurda daha zengin bir yapı sağladığı, yağın yapısına bağlı olarak da özgül ağırlığı artırabildiği tahmin

edilmektedir. Mishra ve ark. (2018) çalışmasında ise, hindistan cevizi sütü eklenen kek hamurlarının özgül ağırlığının, süt yağına yakın yağ içeriği sayesinde özgül ağırlığı hafifçe arttırdığı bildirilmiştir.

Yapılan çalışmada, pirinç unlu sünger keklerde pirinç ununa ikame olarak % 0, 20, 30, 40 ve 50 yer elması tozu eklendiğinde, özgül ağırlık değerlerinin önemli ölçüde arttığı rapor edilmiştir (Song ve ark. 2012). Çınar (2018) farklı hidrokolloidler (ksantan gam ve guar gam) kullanılarak yaptığı bir kek çalışmasında, guar gam ilave edilen suffle keklerinin hamur yoğunluğunun 0.993 ile 1.043 g/cm³ arasında değiştiğini ve ikame oranları arttıkça hamur yoğunluğunun arttığını belirtmiştir. Yapılan bir çalışmada meyve tozunun glutensiz kek formülasyonuna eklendiği, ilave oranlarının artmasıyla özgül ağırlıklarında azalma tespit edildiği rapor edilmiştir (Turğay, 2023).

Yapılan çalışmada; kekte kullanılan buğday ununa belirli oranlarda (%10, 20, 30 ve 40) arpa unu ilave edilerek kekin hem besin değeri hem de fonksiyonel açıdan zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Kek hamurunun özgül ağırlık değerlerinin katkı maddesi oranı arttıkça azaldığı bulunmuştur (Gupta, ve ark., 2009).

Yapılan çalışmada, çikolotalı muffin keklerde kakao lifinin yağ ikamesi olarak kullanımı incelenmiş ve kontrol muffin keklerine kakao tozu ilave edilmiştir. Kakao lifinin yükselen ilave oranı (% 25, 50 ve 75) ile kek, özgül ağırlığının azaldığını bulunmuştur.

Çizelge 4. 58 Bitkisel süt tozu ilave edilmiş kek hamuru örneklerine ait özgül ağırlık ve pH değerleri

Kek hamuru örnekleri	Özgül Ağırlık (g/ml)	pH
Kontrol	1.11±0.00 ^b	6.87±0.02 ^a
B-US	1.15±0.00 ^a	6.74±0.05 ^b
B-MW	1.15±0.00 ^a	6.76±0.01 ^{ab}
N-US	1.14±0.00 ^{ab}	6.58±0.02 ^c
N-MW	1.15±0.00 ^a	6.60±0.01 ^c
Y-US	1.16±0.00 ^a	6.55±0.02 ^c
Y-MW	1.16±0.00 ^a	6.36±0.01 ^d
Min-Maks	1.11-1.16	6.36-6.87
Ortalama±std	1.15±0.00	6.64±0.01

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır

4.3.1.2. pH

Kek hamurunun pH'sı kek içi rengini etkileyen önemli bir parametredir. İç rengi beyaz olması istenen keklerde hamurun pH değerini normale göre 0.2 birim düşürülmesi gerekmektedir. Genel olarak, kek hamurunun pH değeri ana bileşenler ve hamur kabartıcılar tarafından belirlenmektedir. Optimum kek hacmi, iç yapısı ve dokusu ancak uygun pH değerinde elde edilebilmektedir. pH, kek hamurunun asitlik ve bazlık dengesini göstermektedir. Genellikle kek hamurunda ideal pH değeri 6.0 - 7.0 aralığında, yani nötr veya hafif asidiktir.

Formulasyonda farklı bitkisel süt tozları kullanılarak hazırlanan kek hamurlarının pH değerleri 6.36-6.87 arasında; ortalama 6.64 ± 0.01 olarak bulunmuştur. Bitkisel süt tozları ilave edilen kek hamurlarının pH değeri mikrodalga yöntemi uygulanan yulaf sütü tozu ilave edilen kek örneklerine kıyasla daha düşük değerler vermiştir (Çizelge 4.56). Genellikle ultrason uygulaması ile üretilen badem ve nohut sütü tozu mikrodalga uygulanan örneklerle kıyasla daha düşük pH değerleri gösterirken bu durum yulaf sütü tozu için tam ters yönde etkilenmiştir.

Ultrason uygulaması, yüksek frekanslı ses dalgaları ile sıvı ortamda kavitasyon oluşturur. Bu süreç sırasında oluşan mikro kabarcıkların çökmesiyle yüksek sıcaklık ve basınç noktaları meydana gelir. Bu durum proteinlerin yapılarını değiştirerek (denatürasyon, parçalanma) ve bazı asidik bileşiklerin serbest kalmasına neden olabilir. Özellikle badem ve nohut sütü tozlarında, ultrason uygulaması fenolik bileşiklerin serbest kalmasına veya bazı organik asitlerin oluşumuna yol açarak pH değerini düşürebilir. Öte yandan, mikrodalga uygulaması, hızlı ısı transferi ile süt bileşenlerinde farklı tepkimelere neden olur. Mikrodalga ısınması sırasında proteinler ve karbonhidratlar arasında Maillard reaksiyonları gerçekleşebilir. Bu reaksiyonlar sırasında bazı bazik bileşikler (örneğin amino grupları) açığa çıkabilir ve bu da pH'ın daha yüksek kalmasına neden olabilir. Ancak yulaf sütü tozunda, bu eğilim tersine dönmüş ve mikrodalga uygulamasıyla hazırlanan örnekler daha düşük pH göstermiştir. Bu durum, yulaf sütündeki yüksek nişasta içeriğinin mikrodalga ısınması sırasında parçalanarak daha fazla organik asit üretmesine ve pH'ın

düşmesine yol açmasından kaynaklanabilir. Diğer yandan, ultrason uygulaması yulaftaki nişastanın jelatinleşmesini veya çözünürlüğünü etkileyerek bu tür asidik bileşiklerin oluşumunu azaltabilir, bu da pH'nın görece yüksek kalmasına neden olmuş olabilir.

Mäkinen ve ark. (2015) çalışmasında, yulaf sütü kullanılan kek hamurlarında pH değerinin hafif asidik seviyede kaldığını gözlemlemiştir (yaklaşık 6.1- 6.3). Yulaf sütündeki doğal organik asitler ve çözünür lifler bu asidik yapıya katkıda bulunmaktadır.

Park ve ark. (2018)'e göre, soya sütü ilavesi kek hamurunun pH değerini hafifçe düşürerek (6.4 civarı) asidik bir ortam oluşturmaktadır. Bunun nedeni, soya sütünde bulunan fitik asit ve izoflavonlar gibi doğal asitli bileşiklerdir. Hafif asidik ortam, kabartma tozunun aktivasyonunu artırarak kekin daha iyi kabarmasını sağladığı rapor edilmiştir.

Yapılan çalışmada, iyi bir diyet lifi kaynağı olan kayısının, üretimde kullanımı araştırılmıştır. Kek hamurunun pH değerlerinin kayısı lifi ilavesinin artmasıyla azaldığını tespit edilmişler (Şeker ve ark. 2006).

Masoodi ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, elma suyu elde edildikten sonra kalan elma posasının kek yapımında diyet lifi kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmış. Kurutulmuş ve toz haline getirilmiş elma posası 30, 50 ve 60 mesh eleklerden geçirilerek 3 farklı parçacık boyutunda ve %5 ve %10'luk elma posası tozu elde edilmiş, %15'lik katkı oranlarıyla 3 farklı un geçişi hazırlanmıştır. Parçacık boyutunun azalması ve elma posası ilave oranının artmasıyla, kek hamuru karışımının özgül ağırlığının ve pH'nın elma posası ilave oranının artmasıyla arttığı bulunmuştur (Masoodi ve ark.,2002).

4.3.1.3 Keklerde kabuk renkleri

Kabuk rengi parlaklık (L*) değeri

Kek rengi, nihai ürün kalitesi için önemli bir kriterdir. Nihai ürün rengi, kek bileşenlerindeki farklılık, birbirleriyle etkileşimleri ve ısıyla ilgili reaksiyonlar dâhil olmak üzere birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir (Aslan ve Bilgiçli, 2022).

Bitkisel süt tozlarının formülasyonda kullanılmasıyla üretilen kek örneklerine ait kabuk rengi sonuçları Çizelge 4.57’de özetlenmiştir.

Kek örneklerine ait kabuk rengi L* değerleri 39.79 ile 56.53 arasında değişim göstermiştir. Bitkisel süt tozu ilave elde edilen kek örnekleri kontrole göre daha parlak kek kabuğu rengi göstermiştir. En yüksek parlaklık değeri yulaf süt tozu ilave edilen kek örneklerinde; en düşük parlaklık değeri ise kontrol kek örneğinde görülmüştür (Çizelge 4.57). Kek örneklerinde yulaf sütü tozu ile daha yüksek L* değerlerinin elde edilmesini kullanılan hammaddeden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Yulaf sütü tozu ilavesi ile hazırlanan keklerde yüksek L* değerlerinin görülmesinin nedeni, yulafın doğal açık rengi, düşük protein ve şeker içeriği sayesinde ısıl işlem sırasında renk koyulaşmasına yol açan reaksiyonların sınırlı kalmasıdır. Nohut ve badem sütü tozları, daha yüksek protein içeriğine sahiptir. Bu durum, Maillard reaksiyonlarının daha fazla gerçekleşmesine olanak tanıyarak kabuk renginin koyulaşmasına (daha düşük L* değeri) yol açabilir. Ayrıca, badem ve nohutun içerdikleri bazı doğal fenolik bileşikler de ısı ile reaksiyona girerek renk koyulaşmasına katkıda bulunabilir.

Gómez ve ark. (2008) buğday ve nohut unu karışımlarının kek kalitesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, nohut unu miktarı arttıkça keklerin kabuk renginin koyulaştığı belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada, iyi bir besinsel lif kaynağı olan kayısının, kek üretimde kullanımını incelenmiş ve kek örneklerinde L değerlerinin azaldığı bulunmuştur (Şeker ve ark. 2006).

Glutensiz keklerde kabul edilebilir L* değerleri incelendiğinde en yüksek L* değerinin (81.48) kontrol örneğine ait olduğu görülmüş. En düşük kabuk L* değerinin

ise %6 oranında karadut meyve tozu içeren keklerde 54.47 olarak gözlenmiştir (Demir ve Yılmaz, 2021).

Yapılan çalışmada keklerde buğday unu yerine %0-30 oranında dirençli nişasta (DN) kullanılmıştır. Kek kabuğu rengi L* değerleri: Kontrol grubunda %20 ve %30 DN ilave edilen keklerde sırasıyla 40.03, 42.0 ve 47.7 olarak belirlenmiş (Majzoobi ve ark., 2014).

Yapılan çalışmada keklerle eklenen yer elması tozu miktarı arttıkça, rengin daha koyuya doğru gittiği tespit edilmiştir. Keklerin kabuk L* değerleri sırasıyla %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında yerelması tozu ilavesiyle 49.30, 42.26, 41.17, 35.26, 34.55 ve 33.17 olarak belirlenmiştir (Kim ve Lee, 2014).

Çalışmada, farklı pişirme yöntemleri kullanılarak %0.3, 0.6 ve 1.0 oranlarında guar zımkı, ksantan zımkı ve bunların kombinasyonları kullanılarak hazırlanan glutensiz keklerin özellikleri incelenmiştir. Kek hamuruna eklenen konsantrasyonunun kek kabuğunun rengi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı bulunmuştur (Köksel, 2009).

Çizelge 4. 59 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait kabuk rengi değerleri¹

Kek örnekleri	L*	a*	b*	SI	H*
Kontrol	39.79±0.25 ^e	11.43±0.02 ^e	10.69±0.01 ^e	15.65±0.01 ^f	43.10±0.09 ^e
B-US	52.38±0.19 ^c	14.66±0.04 ^b	27.80±0.08 ^{bc}	31.42±0.05 ^{cd}	62.20±0.12 ^{bc}
B-MW	50.32±0.13 ^d	15.26±0.02 ^a	26.39±0.44 ^d	30.48±0.37 ^{de}	59.97±0.45 ^d
N-US	53.64±0.31 ^b	13.77±0.18 ^c	27.10±0.08 ^{cd}	30.40±0.01 ^e	63.06±0.38 ^b
N-MW	52.48±0.08 ^c	15.20±0.09 ^a	28.68±0.32 ^b	32.45±0.32 ^{ab}	62.08±0.12 ^c
Y-US	55.97±0.18 ^a	13.26±0.01 ^d	28.79±0.02 ^b	31.69±0.02 ^{bc}	65.27±0.00 ^a
Y-MW	56.53±0.00 ^a	13.29±0.16 ^d	30.16±0.30 ^a	32.96±0.33 ^a	66.22±0.04 ^a
Min-Maks	39.79-56.53	11.42-15.26	10.69-30.16	15.65-32.96	43.09-66.22
Ortalama±std	51.59±0.10	13.84±0.07	25.66±0.17	29.29±0.17	60.27±0.17

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Kabuk rengi kırmızılık (a*) değeri

Keklerin kabuk rengi a* değerleri 11.42 ile 15.26 arasında değişiklik göstermiş, ortalama 13.84±0.07 olarak ölçülmüştür. Kek örneklerinde en yüksek a* değeri

mikrodalga yöntemi ile üretilen badem sütü tozu ilave edilen kek örneklerinde ve mikrodalga yöntemi ile üretilen nohut sütü tozu ilave edilmiş kek örneklerinde; en düşük a^* değerleri ise kontrol kek örneğinde tespit edilmiştir. Mikrodalga yöntemi uygulamasının kek örneklerinde ultrason uygulamasına kıyasla kek örneklerinin kabuk rengi kırmızılığını daha fazla artırdığı belirlenmiştir.

Kabuk renginin oluşumu, amino asitler ile indirgen şekerler arasındaki Maillard reaksiyonu (enzimatik olmayan esmerleşme) ve şekerin karamelizasyonu ile sağlanır (Purlis, 2010). Şakiyan (2015) soya ununun varlığında daha yüksek kabuk rengi değişim değerlerinin elde edildiğini rapor etmiş, bu, baklagil ununun orijinal renginin kabuk rengi üzerindeki etkisiyle açıklanmıştır. Ayrıca literatürde ekmeğe soya, sarı bezelye ve nohut proteini eklenmesinin daha fazla kabuk kahverengileşmesine yol açtığı belirtilmiştir (Fenn ve ark., 2010).

İndirgeyici şekerler ve amino asitler arasındaki Maillard reaksiyonu, nişasta dekstrinizasyonu ve karamelizasyon reaksiyonları, ısıl işlem sırasında kabuk renginin oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bunlara ek olarak, hamurun pH'sı, su içeriği, pişirme süresi, pişirme yöntemi, fırın özellikleri, pişirme sıcaklığı ve bağıl nemi de kekin rengini etkilemektedir.

Mäkinen ve ark. (2015) çalışmasında, yulaf sütü tozu kullanılan keklerin kabuğunun a^* değeri hafif artış göstermiştir ($a^* \approx 2-3$). Bu durum, yulaf süt tozunun karbonhidrat içeriğiyle Maillard reaksiyonlarını ve karamelizasyonu tetikleyerek kabukta hafif kırmızimsı tonların oluşmasına neden olduğu ile açıklanmıştır. Yapılan çalışmada badem sütü tozu kullanılan keklerin kabuk a^* değeri hafif düşük bulunmuştur (Reyes ve ark.2016). Sharma ve ark. (2019) çalışmasında, nohut sütü tozu kullanılan keklerin kabuk a^* değeri yüksek bulunmuştur ($a^* \approx 4-5$). Bunun nedeni, nohut süt tozunun yüksek protein içeriği ve özellikle maillard reaksiyonlarını hızlandırarak kabukta belirgin kırmızimsı tonlar oluşturmasıdır. Kavrulmuş hurma çekirdeklerinin eklenmesi, kek kabuğu örneklerindeki (a^*) değerini kontrol örneğine göre de düşürmüş, örneklerin a^* değerleri 3.94 ile 8.27 arasında değişmiştir (Akan Çalışır, 2024). Yapılan çalışmada, kakao lifinin çikolotalı muffin keklerde yağ ikamesi olarak kullanımını incelemişler ve kontrol muffin kekine karşılaştırma amacı ile kakao tozu ilave edilmişlerdir. Kakao lifinin artan katkılama oranı (% 25, % 50, % 75) ile kek dış rengindeki toplam renk değişimini 7.7, 3.0, 2.1 bulunmuştur (Martínez-Cervera ve ark.,

2011). Majzoobi ve ark., (2014) çalışmasında Keklerin kabuk rengi a^* değerleri artan DN miktarına bağlı olarak sırasıyla 9,7, 8,3, 7,0 ve 5,3 olarak bulunmuştur.

Kabuk rengi sarılık (b^*) değeri

Kek örneklerine ait kabuk b^* değerleri 10.69 ile 30.16 arasında değişiklik göstermiş, ortalama 25.66 ± 0.17 olarak bulunmuştur. Mikrodalga yöntem ile üretilen yulaf sütü tozu ilaveli kek örneklerinin en yüksek b^* değerleri verdiği görülmüş, bunu sırasıyla Y-US, N-MW, B-US, N-US ve B-MW izlemiş, en düşük sarılık değerleri ise kontrol örneklerinde gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada kek üretiminde farklı oranlarda (%0-20) buğday kepeği kullanılmış olup kek kabuğu için L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 75.07-80.00; 0.77-3.48 ve 4.84-7.00 bulunmuştur (Majzoobi, Pashangeh, ve Farahnaky 2013).

Yapılan çalışmada tereyağı miktarını değiştirerek ve eklenen şeker miktarını azaltarak yalnızca bitkisel içerikli bir kek hazırlanmıştır. Alternatif içerikler olarak yüksek oleik ayçiçeği yağı ve soya proteini ile yapılan bir emülsiyon jeli kullanılmıştır. Yeniden formüle edilen ürünlerde L^* , b^* ve renk tonu değerleri daha yüksek bulunurken, kontrol örneklerinde a^* daha yüksek bulunmuştur (Ansorena ve ark. , 2023).

Kim ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, keklere %0, 10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında yerelması tozu ilave edildiğinde a^* değeri sırasıyla 12.30, 11.54, 11.19, 10.94, 10.49 ve 10.41 olarak bulunurken, b^* değeri ise sırasıyla 21.12, 17.12, 16.44, 13.47, 13.02 ve 12.30 olarak bulunmuştur.

Majzoobi ve ark., (2014) çalışmasında keklerin kabuk rengi b^* değerleri ise aynı oranlar için sırasıyla 26.6, 24.0, 21.7 ve 14.7 olarak rapor edilmiştir.

Kabuk rengi ton açısı (Hue angle) ve doygunluk indeksi (SI) değerleri

Kek örneklerinin kabuk kısımlarının SI ve H^* değerleri sırasıyla 15.65-32.96, 43.09-66.22 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.57). Tukey HSD karşılaştırma testi

sonuçlarına göre kek örnekleri arasında en yüksek SI değerleri mikrodalga uygulanarak üretilmiş yulaf ve nohut sütü tozu ilave edilen kek örneklerinde gözlenmiş, en düşük SI değerleri ise kontrol örneğinde ölçülmüştür. H* değerleri bakımından kek örnekleri incelendiğinde; en yüksek değerler yulafın ultrason ve mikrodalga yöntemleri uygulanarak elde edilmiş süt tozu ilave edilen kek örneklerinde bulunmuş, en düşük değerler ise kontrol örneklerinde gözlemlenmiştir.

Bitkisel süt tozu ilavesi kek kabuğunun ton açısını ve doygunluğunu önemli ölçüde değiştirmiştir. Özellikle Y-MW ve Y-US örnekleri, en yüksek H* ve SI değerlerine sahip olup, bu örneklerin daha açık ve doygun renk özellikleri sergilediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, bitkisel süt tozu kullanımının kekin renk karakteristiklerini değiştirebileceğini ve tüketici algısını etkileyebileceğini göstermektedir.

Fırıncılık ürünlerinde artan H* değeri, kabuk renginin kırmızıdan sarımsı tonlara kaydığını gösterir (Pathare ve ark., 2013). SI değeri arttıkça renk daha canlı ve belirgin hale gelir, azalması ise rengin soluk veya mat olduğunu gösterir (Wrolstad ve Smith, 2017). Özellikle fırıncılık ürünlerinde SI değerinin yüksek olması, kabuğun daha yoğun ve doygun renk tonlarına sahip olduğunu göstermektedir (Manzocco ve ark., 2001).

Soya veya badem sütü gibi bitkisel bazlı süt ikamelerinin kullanımı, Maillard reaksiyonu üzerinde farklı etkiler yaratarak renk değişimlerine neden olabilmektedir (Kroh, 1994; Purlis, 2010). Yapılan çalışmada kek formülasyonlarında farklı öğütme yan ürünü kullanılmış kabuk hue değeri üzerinde istatistiki bir farklılığa neden olmazken, yüksek oranda (%30) değirmencilik yan ürünü kullanılması, hiç değirmencilik yan ürünü kullanılmayan kek örneğine göre kabuk hue değeri düşük bir kabuk renk değerine neden olmuştur (Çakır, 2018).

4.3.1.4 Keklerde iç renk değerleri

Kek içi rengi parlaklık (L*) değeri

Kabuk rengi, pişirme sırasında indirgen şekerler ve amino asitler arasındaki Maillard reaksiyonundan etkilenirken, iç rengi ise kekin içindeki malzemelerden etkilenmektedir (Hedayati ve ark., 2018).

Kek örneklerinin iç dokularına ait L^* değerleri 75.17 ile 77.49 arasında değişim göstermiştir. Kek örnekleri karşılaştırıldığında en yüksek parlaklık değeri kontrol ve mikrodalga uygulanmış yulaf sütü tozu ilave edilen kek örneklerinde gözlenmiş, diğer süttozları ile üretilmiş kek örneklerinin parlaklık değerleri istatistiki olarak benzer ve daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.58). Yulaf süt tozu kullanılan keklerde kabuk ve iç parlaklık değerleri diğer süt tozlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninin de yulaf sütünün kendine has renginden; yulaf sütü tozunun beta-glukan gibi çözünür lifler nedeniyle homojen bir yapı oluşturarak parlaklık değerini artırdığı düşünülmektedir (Mäkinen ve ark. 2015).

Yapılan bir çalışmada kek üretiminde kullanılan yumurtanın %0, 25, 50 ve 75'inin soya ve acı bakladan elde edilen baklagil sütleri ile yer değiştirilmesiyle yumurta miktarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Soya sütü ve acı bakla sütü içeren kek örneklerinin ortalama iç renk L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 67.60, (-0.60), 23.78 ve 73.97, (-1.39), 24.38 olarak bulunmuştur (Aslan ve Bilgiçli, 2022). Reyes ve ark. (2016) çalışmalarında, badem sütü tozu kullanılan keklerin kabuk rengi ve iç renklerinin yüksek parlaklık değerleri (Kabuk L^* : 65, İç renk L^* :75) gösterdiği rapor edilmiştir.

Yapılan çalışmada bazı baklagil haşlama sularının köpük oluşturma potansiyelinin belirlenerek kek üretiminde baklagil haşlama suyu kullanım olanakları araştırılmıştır. Beyaz fasulye suyu kullanımı kontrol örneğine kıyasla keklerin kabuk parlaklık değerini artırmıştır. Diğer taraftan, beyaz nohut, siyah nohut ve kırmızı fasulye aquafaba kullanımı keklerin parlaklıklarını düşürmüştür (Kahvecioğlu, 2022).

Yapılan araştırmada, soya sütü yumurtasız kek üretiminde kullanılmış, kekin kalite, fizikokimyasal ve duyu özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. En parlak iç rengi kontrol örneğinde gözlemlenmiştir (Rahmati ve ark., 2015).

Uçar (2011) pandispanya kekte un yerine çeşitli meyve tozlarının ikamesinin etkileri üzerine yaptığı çalışma sonucunda, keklerin iç renk L^* değeri kontrol örneğinde 79.95 iken, muşmula tozu ikamesiyle 56.34'e, alıç tozu ikamesiyle 68.95'e, mersin tozu ikamesiyle 59.21'e, iğde tozu ikamesiyle 63.79'a düştüğünü tespit edilmiştir (Uçar, 2011).

Yapılan çalışmada, yerelması tozu ilave edilen keklerde kekteki L^* değerinin kontrol grubunda en yüksek (71.90) olduğu tespit edilmiştir. L^* değeri yerelması

tozunun miktarı arttıkça azalmaktadır. %10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında yerelması tozu ilave edildiğinde L* değerleri sırasıyla 55.35, 47.00, 41.43, 37.39 ve 34.72 olarak bulunmuştur (Kim ve ark. 2014).

Khail ve ark. (1998) tarafından düşük yağlı keklerin kalitesine farklı yağların etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, keklerin iç parlaklık değerlerinin 77.81 ile 84.10 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Şeker ve ark. (2006) çalışmasında, iyi bir diyet lifi kaynağı olan kayısının, kek üretiminde kullanılması ile üretilen keklerde iç L değerinin azaldığını, b değerinin ise önemli oranda arttığını tespit edilmişler.

Yapılan bir çalışmada şekerless pandispanya keklerde kek içi L* değerini 62-71 arasında olduğunu tespit edilmiştir (Ronda ve ark. 2005).

Yapılan başka bir çalışmada, %0, 10, 20 ve 30 oranında DN ilave ettikleri keklerde kekin L* değerlerinin sırasıyla 68.0, 71.6, 74.3 ve 78.0 olduğunu bulmuşlardır (Majzoobi ve ark.,2014).

Çizelge 4. 60 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait iç renk değerleri¹

Kek örnekleri	L*	a*	b*	SI	H*
Kontrol	77.06±0.11 ^a	-1.13±0.01 ^a	27.37±0.17 ^a	27.39±0.17 ^a	157.08±0.38 ^c
B-US	75.48±0.21 ^b	-1.63±0.07 ^c	24.20±0.28 ^{cd}	24.26±0.27 ^{cd}	165.45±0.76 ^a
B-MW	75.59±0.14 ^b	-1.65±0.01 ^c	24.73±0.05 ^{bc}	24.79±0.05 ^{bc}	165.34±0.15 ^a
N-US	75.62±0.33 ^b	-1.27±0.01 ^b	25.19±0.10 ^b	25.23±0.11 ^b	160.90±0.27 ^b
N-MW	75.54±0.21 ^b	-1.09±0.06 ^a	25.26±0.36 ^b	25.28±0.35 ^b	157.95±1.31 ^c
Y-US	75.17±0.02 ^b	-1.54±0.06 ^c	23.90±0.02 ^d	23.95±0.02 ^d	164.83±0.54 ^a
Y-MW	77.49±0.03 ^a	-1.61±0.01 ^c	24.97±0.01 ^b	25.03±0.01 ^b	164.85±0.12 ^a
Min-Maks	75.17- 77.49	-1.65- -1.09	23.90- 27.37	23.95- 27.39	157.08- 165.45
Ortalama±std	75.99±90	-1.42±0.25	25.09±1.12	25.13±1.12	162.34±3.65

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır.

Kek içi rengi kırmızılık (a*) değeri

Kek örneklerinin iç dokularının a* değerleri -1.65 ile -1.09 arasında değişim göstermiş, ortalama -1.42±0.25 olarak bulunmuştur. Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre bitkisel süt tozu ilave elde edilen kek örneklerinde en yüksek a* değeri kontrol örneği ile mikrodalga yöntem ile üretilen nohut sütü tozu ilave edilen kek örneklerinde tespit edilmiş bunu sırasıyla yine nohuttan elde edilen N-US örneği izlemiştir.

diğer tüm örnekler istatistiki olarak benzer ve düşük a^* değeri vermişlerdir (Çizelge 4.58).

Kırmızılık değerlerindeki değişimler kullanılan bitkisel süt tozlarının bileşim özellikleri ve uygulanan ısı işlemlerin Maillard reaksiyonları üzerindeki etkisi ile açıklanabilir. Özellikle nohut sütü tozu, yüksek protein ve serbest amino grup içeriği sayesinde Maillard reaksiyonlarının oluşmasına elverişli bir matris sunmaktadır. Mikrodalga yöntemi ise kısa sürede yüksek enerji aktarımı sağlayarak bu reaksiyonların daha hızlı ve yoğun bir şekilde gerçekleşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, bu örneklerde daha kırmızımsı iç doku renkleri gözlenmiştir. Ultrason uygulanan örneklerde proteinlerin yapısal değişimlerinin ve fenolik bileşiklerin oksidatif stabilitesinin Maillard reaksiyonları üzerindeki etkisi sınırlı kalmış, bu nedenle a^* değerleri daha düşük (yeşilimsi tona yakın) seviyelerde kalmıştır. Ayrıca, kontrol örneğinde bitkisel süt tozu bulunmaması nedeniyle reaksiyona girecek fenolik veya doğal pigment miktarının sınırlı olması da bu örneğin a^* değerini yükseltmiş olabilmesi tahmin edilmektedir.

Mäkinen ve ark. (2015) çalışmasında, yulaf süt tozu kullanılan keklerin iç kısmında a^* değerlerinin genellikle -0.5 ile 1.0 arasında değiştiğini rapor etmiştir.

Lebesi ve Tzia, (2011), kek üretiminde diyet lifi kaynağı olarak %10-30 oranında buğday kepeği kullandıkları çalışmalarında, kabuk L^* ve b^* değerleri ile kek içi L^* değerlerinin, kepek kullanımıyla azaldığını bildirmiştir. %30 buğday kepeği ilavesinin ise kek içi a^* değerini ise artırdığını rapor etmiştir.

Reyes ve ark. (2016) çalışmasında badem sütü tozu kullanılan keklerin iç kısmında a^* değerleri negatif (-1.0 ile 0.5 arasında) bulunmuş, bu durumun badem süt tozunun düşük reaktiviteye sahip karbonhidrat ve protein bileşenleri içeriğinden kaynaklandığını belirtmiştir (Reyes ve ark.2016).

Yapılan çalışmada nohut sütü tozu kullanılan keklerin iç kısmında ise a^* değeri orta seviyede ($a^* \approx 1-2$) bulunmuştur (Sharma ve ark., 2019).

Yapılan çalışmada, çikolotalı muffin keklerde kakao lifinin yağ ikamesi olarak kullanımı incelenmiş ve kontrol muffin keki kakao tozu ilave edilerek üretilmiştir. Kakao lifinin artan ilave oranı (% 25, 50 ve 75) ile kek iç renk değerlerinin sırasıyla

10.1, 5.0, 1.7 olarak bulunduğu ve düştüğü rapor edilmiştir (Martínez-Cervera ve ark., 2011).

Kek içi rengi sarılık (b*) değeri

Bitkisel süt tozu ilave edilen kek örneklerinin iç dokularının b* değerleri 23.90 ile 27.37 arasında, ortalama 25.09 ± 1.12 olarak değişim göstermiştir. Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre bitkisel süt tozu ilave elde edilen kek en yüksek b* değeri kontrol örneğinde bulunmuştur (Çizelge 4.58). Bunu sırasıyla N-MW, N-US, Y-MW ve B-MW örnekleri izlemiş, Y-US ise en düşük değeri vermiştir.

Yapılan çalışmada, kabak tozunun %50 oranında değiştirilmesiyle kek örneklerindeki L* değerinin 61,22'den 56,85'e düştüğü, a* değerinin 0.58'den 7.24'e yükseldiği, b* değerinin ise 17.20'den 28.77'ye çıktığı tespit edilmiştir (Gözükara, 2013).

Ergün (2012) çalışmasında, konveksiyonel ve mikrodalga pişirme metodunu kullandığı kek örneklerinde, kivi püresi tozunun buğday unu yerine ikamesinin örneklerdeki kalite kriterlerine etkisini araştırmıştır. Konveksiyonel pişirme metodu kullanıldığında, keklerin iç dokusunda, L* değerinin 63.32'den 49.46'ya düştüğü, a* değerinin (-1.06)'dan 3.92'ye ve b* değerinin ise 26.57'den 27.14'e yükseldiği sonucunu elde etmiştir. Mikrodalga pişirme metodunda ise; L* değerinin 70.01'den 60.73'e düştüğünü, a* değerinin (-0.95)'ten 4.57'ye ve b* değerinin ise 29.63'ten 31.83'e yükseldiğini bildirmiştir. Bu sonuçlar, kivi püresi tozunun kekin iç dokusunda renk koyulaşmasına ve renk doygunluğunun artmasına neden olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Bozdoğan (2015) tez çalışmasında, buğday unu yerine kinoa unu ikame edilerek hazırlanan keklerin iç doku renk özelliklerini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, kinoa unu ikamesinin keklerde parlaklığı (L* değeri) azalttığı (78.00'den 68.34'e) ve kırmızılık (a* değeri 6.30'dan 8.33'e) ile sarılığı (b* değeri 31.31'den 33.80'e) artırdığı rapor edilmiştir. Bu bulgular, alternatif un ikamelerinin pişirme yöntemiyle birlikte kekin iç rengi üzerinde önemli değişikliklere neden olabileceğini ortaya koymaktadır.

Yapılan çalışmada çeşitli meyve tozlarının pandispanya keklerde un yerine kullanılması araştırılmıştır. Kontrol örneğinde 4.46 olan a* değerinin; alıç, muşmula,

mersin ve iğde tozu ikamesiyle sırasıyla 3.95, 8.96, 7.10 ve 4.08 olarak bulunduğu, kontrol örneğinde 26.18 olan b^* değerinin de yine aynı sıralama ile 24.28, 17.85, 22.23 ve 19.15 olarak değiştiği tespit edilmiştir (Uçar, 2011).

Yapılan başka bir çalışmada, keklerde nar çekirdeği tozunun ikame edilmesiyle iç doku rengindeki L^* değerinin 57.45'ten 37.80'e düştüğü, a^* değerinin 2.56'dan 5.72'ye çıktığı ve b^* değerinin 20.68'den 12.39'a azaldığı belirlenmiştir (Noğay, 2014).

Lee ve ark. (2009) pandispanya kekinde siyah sarımsak tozunun kullanıldığı çalışmada, sarımsak tozu oranı arttıkça kızarıklığın arttığı, parlaklık ve sarılığın ise azaldığı tespit edilmiştir.

Başka bir çalışmada; keklerin kalite özellikleri üzerine %3, 6 ve 9 oranlarında çin lahanası tozunun etkisi araştırılmıştır. Keklerin iç renklerinde; lahana tozu kullanımıyla sarılığın arttığı gözlenirken, %5 lahana tozu içeren kekler ile kontrol grubu arasında önemli bir fark bulunmamıştır (Chung ve Kim, 2009).

Yapılan bir kek çalışmasında amarant unu kullanılmış, en düşük a^* değerinin kontrol grubuna ait olduğu bildirilmiştir. b^* değerleri incelendiğinde; depolama süresi boyunca kontrol grubunun en yüksek değerleri kaydettiği görülmüştür. Örneklerin L^* ve a^* değerlerinin ilave oranıyla arttığı tespit edilmiştir (Kaya , 2020).

Majzoobi ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, %0, 10, 20 ve 30 DN ilave edilen kek numunesindeki a^* ve b^* değerlerinin artan DN miktarı ile azaldığını, kontrol kek numunesinde -4.7 ve 42.0 olan a^* ve b^* değerlerinin %30 DN ilavesi ile sırasıyla -8.3 ve 30.3 olduğunu rapor etmişlerdir.

Yapılan başka bir çalışmada %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında dirençli nişasta ilave edilerek kek üretimi gerçekleştirilmiştir. Keklerde DN konsantrasyonuna bağlı olarak parlaklık değerinde önemli bir değişim gözlenmemiş, ancak keklerdeki kırmızılık ve sarılık azalmıştır. Kontrol kek numunesinde 0.06 ve 24.0 olan a^* ve b^* değerleri, %20 DN ilavesiyle sırasıyla -0.16 ve 20.4 olarak bulunmuştur (Baixauli ve ark., 2008).

Kek içi rengine ait ton açısı (Hue angle) ve doygunluk indeksi (SI) değerleri

Kek kabuğu ve iç kısmının renk özellikleri, kullanılan bitkisel süt tozlarının bileşimlerine bağlı olarak değişir. Renk analizinde doygunluk indeksi (SI) ve Hue Angle (H*) değerleri, renk doygunluğunu ve tonunu tanımlamak için kullanılır. Doygunluk indeksi (SI) renk yoğunluğunu ve canlılığını ifade eder. Yüksek SI değeri daha doygun, belirgin renkler gösterirken, düşük SI değeri solgun renkler işaret eder.

Kek örneklerinin iç dokularının ise SI ve H* değerleri 23.95- 27.39; 157.08-165.45 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.58). Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçlarına göre bitkisel süt tozu ilave elde edilen kek iç kısımlarında en yüksek SI değerleri kontrol örneği ile; en düşük SI değerleri ise ultrason yöntem ile üreten yulaf sütü tozu ile üretilen kek örneklerinde bulunmuştur. En yüksek ton açısı değerleri B-US, B-MW ve Y-US ve Y-MW örneklerinde tespit edilirken, en düşük değerler kontrol ve N-MW örneğinde elde edilmiştir.

Wang ve ark. (2018), farklı un çeşitleri kullanarak ürettikleri keklerin ton açısını ölçmüş ve tam buğday ununun daha düşük hue açısına sahip olduğunu bulmuştur. Sharma ve Gujral (2014), beta-karoten içeriği yüksek olan keklerde ton açısının arttığını rapor etmiştir. Koca ve Anıl (2020), kabak püresi eklenen keklerde doygunluk indeksinin arttığını tespit etmiştir.

Bitkisel un ve katkıları kullanılarak yapılan keklerde, özellikle pancar veya balkabağı gibi doğal renk veren bileşenler eklendiğinde SI değerinin arttığı bildirilmiştir (Özboy ve ark., 2019).

4.3.1.5 Kek örneklerinin tekstürel özellikleri

Dokusal özellikler (sertlik, esneklik, yapışkanlık ve esneklik) keklerin hazırlanmasında tüketici kabulünü belirlediği için birincil öneme sahiptir. Sertlik, fiziksel deformasyon için gereken kuvvet ve malzemeyi ön dişler arasında makul bir şekilde sıkıştırmak için gereken kuvvet olarak tanımlanmaktadır (Szczeniak,1963). Esneklik değeri kek örneklerinin tazeliği ve kalite özellikleri bakımından bir göstergedir. İyi çırpılarak hava kazandırılmış keklerin esneklik değerleri daha yüksektir. Tekstürel özellikler, duyuusal ve enstrümantal analizler ile ölçülebilmektedir. Gıdalar,

çeşitlerine göre sıkıştırma, kırma, delme, penetrasyon ve tekstür profili analizi metodlarıyla tekstürel olarak ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

Farklı bitkisel süt tozları ilave edilerek elde edilen keklerin tekstürel özelliklerine ait analiz sonuçları ve bu sonuçlara ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.59'da verilmiştir.

1. ve 3. gün analizlerinde keklerin sertliği sırasıyla 377.34 – 874.57 g ve 502.85 – 1079 değerleri arasında, esnekliği ise 42.51 – 47.65 ve 37.80- 41.60 değerleri arasında değişim göstermiştir. Genel bir kıyaslama yapıldığında, 3. günde 1. güne kıyasla sertliğin arttığı ve esnekliğin azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.59). Çoklu karşılaştırma testi sonuçları kek örnekleri farklı bitkisel süt tozları çeşidi açısından değerlendirildiğinde hazırlanan keklerin en yüksek sertlik değerleri nohut sütü tozu ilave edilmiş kek örneklerinde tespit edilmiş, yulaf ve badem sütü eklenen kekler en düşük sertlik değerleri verirken, kontrol örneğine göre de daha düşük sertlikler gözlemlenmiştir.

İyi havalandırılmış kekler daha esnektir, bu da kek örneklerinin tazelik ve kalite bakımından bir göstergesidir (Grasso ve ark., 2020). Kek örneklerinde yağ oranı ile sertlik arasında ters, protein oranı ile doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Marcet ve ark., 2015). En yüksek yağ içeriği değerine sahip olan B-US ve B-MW örneğinin sertlik değerlerinin de düşük bulunması bunu doğrulamaktadır.

Çizelge 4. 61 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait tekstürel analiz değerleri¹

Kek örnekleri	1. Gün		3. Gün	
	Sertlik (g)	Esneklik (%)	Sertlik (g)	Esneklik (%)
Kontrol	686.36±3.76 ^b	43.89±0.08 ^c	815.33±8.40 ^b	40.20±0.12 ^c
B-US	435.15±13.12 ^c	44.72±0.32 ^{bc}	502.85± 13.49 ^c	40.21±0.11 ^c
B-MW	453.01±6.18 ^c	42.51±0.36 ^d	569.32±15.49 ^c	41.02±0.20 ^b
N-US	692.89±1.25 ^b	47.06±0.08 ^a	1079.38±27.36 ^a	41.60±0.21 ^a
N-MW	874.58±7.11 ^a	47.65±0.35 ^a	1045.05±23.57 ^a	41.16±0.14 ^a
Y-US	377.34±20.75 ^d	45.35±0.35 ^b	813.25±18.74 ^b	39.910±0.06 ^c
Y-MW	448.57±3.80 ^c	43.66±0.17 ^{cd}	773.49±2.33 ^b	37.80±0.09 ^d
Min-Maks	377.34 – 874.57	42.51 – 47.65	502.85 – 1079	37.80- 41.60
Ortalama±std	566.84±7.99	44.98±0.25	799.81±15.63	40.27±0.13

¹ Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır

Yumurta ikamelerinin sarı katmanlı keke etkisi ile ilgili yapılan bir çalışmada keklerin sertliğinin 235,82-295,22 g aralığında, iç yapışkanlığın 0,82-0,86 aralığında değiştiği belirtilmiştir (Ratnayake ve ark., 2011).

Nohut unu ikame edilen keklerde sertliğin arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, nohut ununun gluten içermemesi, nohut unu miktarı arttıkça gluten matriksinin yapıda azalması, dolayısıyla hamurda daha az hava taneciği tutularak gözenek sayısının azalması ve sertliğin artması şeklinde açıklanmıştır (Alifakı, 2013). Yapılan çalışmada, tatlı patatesin kek formülasyonuna ilave edilmesi ile sertlik değerleri 2.260g ile 5.050g arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir (Samiha, 2015).

Yapılan bir çalışmada kızılötesi ile kurutulmuş kültür mantarlarının sünger kekin tekstürel özelliklerine etkisi araştırılmış, sertlik değerleri 416.98-861.11 g, çiğnenebilirlik değerleri 251.63 – 450.46 g, iç yapışkanlık değerleri de 0.58 – 0.65 aralıklarında bulunmuştur (Salehi ve ark. 2016).

Yumurtanın yerine soya sütü ile soya lesitinin kombinasyonunun ilave ikame edildiği kek çalışmasında soya sütüne %4'e kadar soya lesitini eklenmesinin kek kalitesini iyileştirmede önemli olduğu ve kontrol örneğine daha benzer kekler elde edilmesine yol açtığı bulunmuştur (Hedayati ve Mazaheri Tehrani, 2018).

Yapılan çalışmada, farklı form ve oranlarda yerfıstığı ürünleri kullanılarak kek üretiminin optimizasyonu keklerde kullanılan en yüksek sertlik değerine sahip kek örneklerinin bileşiminde %30 oranında yerfıstığı içerdiği görülmüştür (Roman, 2017).

Ultrafiltrasyon tekniği ile elde edilen %62.5 protein içeriğine sahip peynir altı suyu konsantresi farklı oranlarda (%5, 7, 9) kek formülasyonuna ilave edilmiştir. Tekstür analizinde konsantrasyon arttıkça sertlik değerinde artış olduğu bulunmuştur (Yazıcı, 2018).

Kek üretiminde bitkisel protein kaynağı olarak soya protein izolatının; emülgatör olarak monodigliserit veya soya lesitini, hidrokolloid olarak ksantan gamin kullanıldığı çalışmada kekin kalite karakteristikleri incelenmiştir. Soya protein izolatının %1 oranında monodigliseritler ile kullanıldığı kek formülasyonunda sertlik 319.8 ve spesifik hacim 1.92 cm³/g, olarak tespit edilmiştir (Yazıcı, 2018; Lin ve ark, 2017).

Yüksek su emme kapasitesine sahip bileşenlerin kek hamurunun dokusal parametrelerini artırdığı belirtilmektedir (Majzoobi, Vosooghi Poor, Jamalian ve Farahnaky, 2016).

Soya sütünün 6 farklı konsantrasyonda soya lesitini (%1, 2, 3, 4, 5, 6) ile birlikte kombinasyon halinde kullanıldığı bir çalışmada soya lesiti miktarı arttıkça keklerin hacimlerinin arttığı rapor edilmiştir. Soya lesitinin konsantrasyonunun artmasıyla hamurların tüm dokusal parametreleri önemli ölçüde azaldığı belirtilmiş, soya lesitini eklenmiş hamur parçacıklarının hareketinin arttığı ve ekstrüzyon probunun nüfuz etmesini ve çıkarılmasını kolaylaştırdığı, böylece dokusal parametrelerde azalmaya yol açtığı şeklinde açıklanmıştır (Yazıcı, 2018; Hedayati Tehrani, 2018).

4.3.1.6 Hacim indeksi, simetri indeksi ve tekdüzelik indeksi

Yüksek kaliteli kekler hafif, gözenekli yapı, yüksek hacim ve düşük yoğunluk ile karakterize edilir; hava kabarcıkları ne kadar fazlaysa kek hacmi de o kadar yüksektir. Pişirme sırasında ısıl işlem sonucunda nişasta jelatinizasyonu ve protein denatürasyonu, karbondioksit oluşumu ile birlikte kekin gözenek yapısının ve yumuşak dokusunun oluşmasını sağlar. Bunlara ek olarak homojen nem dağılımı da kaliteli bir kek yapısının elde edilmektedir (Agrahar-Murugkar ve ark., 2018).

Keklerin fiziksel özelliklerinin yorumlanmasında kullanılan hacim endeksi değeri kek numunelerinin gerçek hacimlerini göstermez, ancak hacim hakkında fikir veren bir ölçüttür. Simetri indeksi, keklerin kontur profilleri hakkında bilgi elde etmek için kullanılır ve kekin orta noktasından itibaren şişerek yüksek, kekin düz yüzeyinden itibaren düşüş olarak belirlenir. Bir diğer değerlendirme kriteri olan tekdüzelik indeksi keklerin yanal simetrisi hakkında bilgi vermektedir (Mercan Nurgül, 1988 ; Gómez ve ark. 2008).

Bitkisel süt tozları ilave edilerek elde edilen keklerin hacim, simetri ve tekdüzelik indeksi ile keklerin ağırlık değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.60'da verilmiştir.

Çizelge 4. 62 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait fiziksel analiz değerleri

Kek örnekleri	Hacim İndeksi (mm)	Simetri İndeksi (mm)	Tekdüzelik indeksi (mm)	Kek ağırlığı (g)
Kontrol	154.00±2.83 ^{ab}	35.00±1.41 ^a	-0.20±0.28 ^a	113.01±0.08 ^{bc}
B-US	156.00±3.54 ^a	34.00±1.41 ^a	-0.50±0.00 ^a	114.35±0.08 ^a
B-MW	153.00±4.24 ^{ab}	34.00±2.12 ^a	0.25±0.07 ^a	112.41±0.15 ^c
N-US	154.00±2.83 ^{ab}	26.00±2.83 ^{ab}	0.30±0.14 ^a	114.13±0.30 ^a
N-MW	140.00±4.24 ^b	25.00±4.24 ^{ab}	-0.30±0.42 ^a	114.14±0.25 ^a
Y-US	143.00±1.41 ^{ab}	19.00±1.41 ^b	0.10±0.14 ^a	113.82±0.31 ^{ab}
Y-MW	147.00±3.54 ^{ab}	16.00±2.12 ^b	-0.20±0.14 ^a	114.25±0.35 ^a
Min-Maks	140.00 – 156.00	16.00 – 35.00	-0.50-0.30	112.41- 114.35
Ortalama±std	149.71±0.99	27.14±1.04	-0.08±0.14	113.65±0.11

Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır

Bitkisel süt tozları kullanılarak hazırlanan kek örneklerinde hacim indeksi, simetri indeksi ve tekdüzelik değerleri sırasıyla 140.00 – 156.00 mm; 16.00 – 35.00 mm ve -0.50-0.30 mm arasında değişiklik göstermiştir. Kek örnekleri farklı bitkisel süt tozları açısından değerlendirildiğinde en yüksek hacim indeksi değeri B-US örneği ile elde edilirken, en düşük değerler N-MW örneği ile elde edilmiştir. B-MW, N-US, Y-US ve Y-MW örnekleri kontrol örneği ile istatistiki olarak benzer hacim indeksi değerleri göstermiştir. En yüksek simetri indeksi değerleri Kontrol, B-US, B-MW örneğinde elde edilmiş, bunu nohut sütüyle üretilen sütlerin kullanıldığı kek örneklerinin izlediği görülmüş, en düşük simetri indeksi değerleri ise badem düdü tozu kullanılarak üretilen kek örneklerinde tespit edilmiştir. Farklı bitkisel süt tozlarının ilave edildiği kek örneklerinin tekdüzelik indeksler istatistiki olarak benzer bulunmuş olup, bir farklılık oluşturmamıştır.

Khuenpet ve ark. (2016), düşük protein ve yağ içeriği nedeniyle pirinç sütünün, hamurun viskozitesini artırarak kek yüzeyinde simetri sorunlarına yol açabileceğini rapor etmiştir (Khuenpet ve ark., 2016).

Bitkisel sütlerin kek üzerindeki etkileri, kullanılan süt türü, içeriği ve diğer bileşenlerin kombinasyonlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Kek hacmi, hamurun kabarma kapasitesine ve içindeki gazların hapsedilme yeteneğine bağlıdır.

Yapılan çalışmada soya sütü kullanılan keklerin kontrol grubuna göre daha yüksek hacim gösterdiği belirtilmiştir (Ronda ve ark. 2014). Yüksek yağ içeriğinin, nemliliği artırabileceği, ancak yoğun yapısı nedeniyle kabarma kapasitesini sınırlandırabileceği bildirilmiştir (Demir ve ark., 2020).

Hindistancevizi sütü yüksek yağ içeriği ile, kekin bazı bölgelerinde düzensizliklere neden olabilmekte ve tekdüzeliği azaltabilmektedir (Ronda ve ark., 2014). Yulaf sütü karbonhidrat yapısı sayesinde daha homojen bir doku sağlayarak tekdüzelik indeksini iyileştirebilir (Mir ve ark., 2017).

Farklı form ve oranlarda yerfıstığı ürünleri kullanılarak kek üretiminin optimizasyonunun yapıldığı bir çalışmada keklerde kullanılan %30 yerfıstığı yan ürün düzeyinin, yerfıstığı içermeyen kontrol örneğine kıyasla kek hacmini %31-41 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Hacim indeksi ölçümleri de benzer sonuçlar (%28-42) göstermiş, ancak toplam hacim indeksi değerlerinde yalnızca %5-7'lik bir fark görülmüştür (Roman, 2017).

Transglutaminaz enzimi ve yağsız süt tozu, soya unu, soya sütü ve farklı protein oranına sahip un tiplerinin kullanıldığı ve protein kaynaklarının kek hamuru ve ürün özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; soya ürünlerinin keklerin ağırlığını, hacmini, yumuşaklığını ve yağ oranını artırdığı tespit edilmişler (Sharma ve ark., 2014)..

Yapılan bir çalışmada; kek üretiminde kullanılan buğday ununa belirli oranlarda (%10, 20, 30, 40) arpa unu ilave edilerek kekin besinsel ve fonksiyonel açıdan zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Keklerin hacim değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir (Gupta ve ark., 2009).

4.3.1.7 Kek ağırlıkları

Keklerin ağırlık değerleri 112.41- 114.35 g arasında değişmiştir (Çizelge 4.60). Kek formülasyonlarına bitkisel süt tozu ilavesi ile keklerin ağırlık değerlerinde önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. En yüksek ağırlık değerleri B-US, N-US, N-MW ve Y-

MW örneğinde tespit edilmiş, bunu sırasıyla Y-US ve kontrol örneği izlemiş, en düşük ağırlık değerleri ise B-MW örneğinde tespit edilmiştir.

Genel olarak nohut bazlı bitkisel süt tozlarının kek ağırlığını artırdığı, B-MW sütü tozu karışımının ise kek ağırlığını düşürdüğü gözlenmiştir. Bu bulgular, bitkisel süt tozu kullanımının kek formülasyonları üzerindeki potansiyel etkilerini ve özellikle gluten yapısı ile su tutma kapasitesini nasıl değiştirdiğini anlamak açısından önemlidir.

Bitkisel süt tozlarının kek formülasyonlarına ilavesi, kekin nihai ağırlığı üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir. Yapılan çalışmalarda, özellikle protein ve lif içeriği yüksek olan alternatif süt kaynaklarının kullanımıyla kekin yapısal özelliklerinde değişimler gözlenmiştir. Örneğin, yulaf sütü tozu ilavesiyle üretilen keklerde, su tutma kapasitesinin artmasına bağlı olarak daha yüksek pişmiş kek ağırlıkları elde edildiği bildirilmiştir (Silva ve ark., 2021). Nohut bazlı süt tozları ise, protein içeriği sayesinde hamurun viskozitesini artırarak daha kompakt bir yapı oluşturmakta ve bu durum kekin pişirme sırasında daha az nem kaybetmesini sağlayarak ağırlığı korumaktadır (Kaur ve Sandhu, 2020). Badem sütü tozu ilavesi ise genellikle keklerde daha düşük ağırlıklarla ilişkilendirilmiştir; bu durum, badem tozunun yağ içeriğinin yüksek olması ve hava tutma kapasitesinin sınırlı olmasıyla açıklanmaktadır (Martins ve ark., 2019). Ayrıca, kullanılan kurutma yönteminin (örneğin dondurarak kurutma veya kırınım pencereli kurutma) süt tozunun fonksiyonel özellikleri üzerinde etkili olduğu ve bu durumun da kekin ağırlığını dolaylı olarak etkilediği düşünülmektedir.

Bir çalışmada, elma suyu elde edildikten sonra kalan elma posasının kek yapımında diyet lifi kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kurutulmuş ve toz haline getirilmiş elma posası 30, 50 ve 60 mesh eleklerden geçirilerek 3 farklı parçacık boyutunda ve %5 ve %10'luk elma posası tozu elde edilmiş ve kek formülasyonuna eklenmiştir. Parçacık boyutunun azalması ve elma posası ilave oranının artmasıyla, kekin ağırlığının da arttığı görülmüştür. Daha küçük parçacık boyutlarının daha iyi sonuçlar sağladığı da gösterilmiştir (Masoodi ve ark., 2002).

Alloush (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, kek örneklerinin ağırlıkları sırasıyla %0, 10, 20 ve 30 beyaz tatlı patates unu ikamesi ile 71.09, 76.08, 62.21 ve 55.21 gram, olarak bulunmuş, artan beyaz tatlı patates unu oranına bağlı olarak ağırlıkların düştüğü gözlenmiştir.

4.3.2 Kek örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

Bitkisel süt tozu ikameli kek örneklerinin kimyasal analiz sonuçları ve Tukey HSD karşılaştırma testi sonuçları ise Çizelge 4.61.'te özetlenmiştir.

4.3.2.1. Nem

Keklerin nem değerleri %16.51-18.09 arasında, ortalama %17.20±0.18 değişim göstermiştir. Tukey HSD karşılaştırma testi sonucunda, genel olarak farklı bitkisel süt tozu kullanıldığı örneklerin nem değerleri arasında istatistiki olarak önemli farklar bulunmazken bitkisel süt tozları kek formülasyonuna eklendiğinde, kekin nem (%) içeriklerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Bu etkiler, süt tozlarının kimyasal bileşimlerinden ve kek üretimindeki fonksiyonel rollerinden kaynaklanmaktadır. Nohut süt tozu, protein açısından zengin olduğu için kek hamurunun su bağlama kapasitesini artırabilmektedir. Ancak bu artış, süt tozunun dozuna bağlı olarak nem oranında bir azalmaya da yol açabilir, çünkü yüksek protein içeriği pişirme sırasında suyun tutulmasını zorlaştırabilmektedir (Sharma ve ark. 2017). Badem sütü tozu, yağ içeriği nedeniyle kekin nem oranını doğrudan artırmayabilir (Tokusoglu ve Swanson, 2015).

Yapılan çalışmada keklerde buğday unu yerine %10, 15 ve 20 oranında filizlenmiş veya haşlanmış soya unu ve %30 oranında manyok unu kullanılmasının etkileri araştırılmıştır. Kek örneklerinde nem içeriği filizlenmiş soya unu arttıkça artmış ancak haşlanmış soya unu miktarı arttıkça azalmıştır (Ugwuona, Ogara, ve Awogbenja 2012).

Alloush (2015) çalışmasında, %10, 20 ve 30 oranlarında, beyaz tatlı patates tozu ve turuncu tatlı patates tozu ikamesiyle nem içeriğinin yükseldiği belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada %50 oranında kabak tozunun keklerde kullanılmasıyla nem değerinin %41.5'ten 43.2'ye çıktığı bulunmuştur (Gözükara, 2013). Siyah sarımsak tozunun pandispanya keklerinde kullanıldığı bir çalışmada, siyah sarımsak tozu ilavesiyle kekin nem içeriğinde azalma gözlenmiştir (Lee ve ark. 2009). Qureshi ve ark. (2017), greyfurt albedo tozunun keklerde kullanılmasıyla nem oranının %20.57'den 23.97'ye çıktığı belirtilmiştir.

Bozdoğan (2015), keklere %0, 4, 8 ve 12 oranında armut posası tozu ilave edildiğinde nem oranının sırasıyla %27.99, 28.79, 26.17 ve 27.85 olarak değiştiğini rapor etmiştir.

Çizelge 4. 63 Kek örneklerinin kimyasal özelliklerine ait sonuçlar¹

Örnekler	Nem (%)	Yağ (%)	Protein (%)	Kül (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kkal/100 g)
Kontrol	17.93±0.58 ^a	16.44±0.45 ^a	8.25±0.27 ^{ab}	1.42±0.03 ^{ab}	55.96±0.79 ^b	404.81±0.20 ^a
B-US	17.26±0.41 ^a	18.03±0.46 ^a	8.38±0.17 ^a	1.34±0.07 ^{ab}	54.88±0.49 ^b	413.99±0.46 ^a
B-MW	17.00±0.50 ^a	17.34±0.63 ^a	8.1±0.06 ^{ab}	1.42±0.04 ^{ab}	56.08±0.08 ^b	412.83±5.63 ^a
N-US	16.88±0.53 ^a	16.11±0.48 ^a	7.92±0.21 ^{abc}	1.42±0.02 ^{ab}	57.67±0.24 ^b	407.49±4.56 ^a
N-MW	18.09±0.73 ^a	16.50±0.47 ^a	8.03±0.05 ^{abc}	1.37±0.03 ^b	56.01±1.30 ^b	400.64±0.72 ^a
Y-US	16.51±0.74 ^a	12.15±0.79 ^b	7.57±0.23 ^{bc}	1.44±0.01 ^{ab}	62.82±0.86 ^a	390.90±4.59 ^a
Y-MW	16.72±0.24 ^a	12.58±1.01 ^b	7.83±0.02 ^c	1.47±0.04 ^a	62.41±0.66 ^a	394.24±11.67 ^a
Min-Maks	16.51-18.09	12.15-18.03	7.57-8.38	1.34-1.47	54.88-62.82	390.90-413.99
Ortalama±std	17.20±0.18	15.59±0.21	7.83±0.10	1.41±0.02	57.98±0.41	403.56±4.08

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır

Yapılan çalışmada, %0, 5, 10, 20 oranında kivi püresi tozunun ilave edildiği keklerde, konveksiyonla pişirilen numunelerin nem değerlerinin sırasıyla %13.13, 23.28, 17.40, 16.19 olduğu bulunmuş ve mikrodalgada pişirilen numunelerin ise sırasıyla %7.64, 15.70, 7.03 ve 6.64 değerleri ile daha düşük nem değerlerine sebep olduğu belirtilmiştir (Ergün, 2012).

Yapılan çalışmada, elma posası eklenen kurabiyelerin su içeriğinin kontrol grubuna göre daha düşük olduğunu tespit edilmiştir (Alongi ve ark.,2019). Buğday ununa elma püresi eklendiğinde keklerin nem oranının arttığı Sudha ve ark. (2007) tarafından gözlemlenmiştir. Buğday ununa üzüm posası tozu ilavesinin keklerin nem içeriğini azalttığını bulunmuştur (Nakov ve ark., 2020).

Yapılan çalışmada, mısır, buğday ve tatlı patates unlarının kek üretiminde kullanımı ile pasaj ve pişirme işlemlerinin optimizasyonu araştırılmıştır. İdeal pişirme süresinin %4 buğday unu, %10 tatlı patates unu ve %86 mısır unundan oluşan bir bileşimle 157°C'de 39 dakika olduğu belirlenmiş ve elde edilen muffin keklerin nem değeri % 23.22 bulunmuştur (Hari Purnomo ve ark., 2012).

4.3.2.2. Ham yağ

Keklerin yağ değerleri %12.15-18.03 arasında değişim göstermiş, ortalama %15.59±0.21 olarak bulunmuştur. Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, kek örneklerinde en düşük yağ miktarı yulaf süt tozu ikameli örneklerde bulunmuştur (Çizelge 4.61). Diğer bitkisel süt tozlarının ilave edildiği kek örnekleri ise kontrol keki ile benzer ve yüksek yağ değerleri göstermiştir.

Yulaf süt tozunun yağ içeriği düşüktür, bu nedenle yağ oranına minimal bir katkı sağlar (Inglett ve ark. 2013). Nohut süt tozunun yağ içeriği orta düzeyde olup toplam yağ oranını artırma eğilimi düşüktür. Ancak emülsifiye edici özellikleriyle kek yapısında yağın homojen dağılmasını sağlayabilir (Barac ve ark. 2015). Badem süt tozu, yüksek yağ içeriği ile kekin toplam yağ oranını önemli ölçüde artırabilir. Bu, kekin daha nemli, yumuşak ve zengin bir dokuya sahip olmasını sağlar (Mandala, 2005). Alloush (2015) bir çalışmada, kek örneklerinin yağ oranının, beyaz ve turuncu tatlı patates unu ikamesiyle düştüğünü gözlemlemiştir.

Yapılan çalışmada kek örneklerindeki yağ oranının kinoa unu ikamesi ile %22.30'dan %19.45'e, armut posası tozu ikamesi ile %21.04'ten %18.28'e düştüğü

bulunmuştur (Bozdoğan 2015). Yapılan bir başka çalışmada greyfurt albedosu tozu ikamesiyle keklerin ham yağ içeriğinde düşüş olduğu (%32.55'den %28.57'ye) tespit edilmiştir (Qureshi ve ark. 2017).

Çeşitli lif kaynakları (elma, havuç ve portakal posası) kullanılan bir kek çalışmasında, üretilen kek örneklerinin yağ içeriğinin %26.72 ile %27.51 arasında değiştiği tespit edilmiştir (Topkaya, 2017).

Topuz ve Kaya (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, kabak çekirdeği unu ile zenginleştirilen keklerin ham yağ içeriği kontrol örneklerine kıyasla belirgin biçimde artmış; bu artışın kekin yapısal özelliklerini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Benzer şekilde, nohut unu veya sütü gibi baklagil kökenli ürünler de orta düzeyde yağ içerdiğinden, bu tür bileşenlerle hazırlanan keklerin yağ içeriği kısmen yükselmekte; ancak bu artış, proteinle birlikte işlevsel katkı da sağladığı belirtilmektedir (Kaur ve Sandhu, 2020). Yapılan çalışmalarda fındık unu ile yapılan ürünlerde yağ oranının önemli ölçüde arttığı rapor edilmektedir (Güzel-Seydim ve ark., 2007). Badem posasının kek formulasyonuna ilave edilmesiyle kek örneklerinin ham yağ içeriğinin arttığı rapor edilmiştir (Jain ve ark., 2019).

4.3.2.3. Protein

Çizelge 4.61'de verilen sonuçlara göre keklerin protein içerikleri % 7.57 ile 8.38 arasında değişmekte olup ortalama 7.83 ± 0.10 'dir. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, farklı bitkisel süt tozları içeren numunelerde protein yüzdesinde belirgin değişimler gözlenmiştir. Kontrol grubu kekinde protein oranı %8.25 olarak ölçülmüştür. B-US içeren numunede bu değer %8.38 olup en yüksek protein içeriğine sahipken, B-MW, N-US, N-MW ve Y-US içeren keklerde protein oranı sırasıyla %8.1, %7.92, %8.03 ve %7.57 olarak belirlenmiştir. Y-MW içeren numunenin protein değeri ise %7.83 olup, en düşük protein içeriğine sahip numune olarak kaydedilmiştir. İstatistiksel analizler sonucunda, farklı bitkisel süt tozu türlerinin kekin protein içeriğinde anlamlı farklılıklara yol açtığı görülmektedir. Bu bulgular, bitkisel süt tozu ilavesinin kekin besin içeriğini etkileyebileceğini ve belirli bitkisel süt tozlarının protein değerlerini artırabileceğini göstermektedir. Özellikle badem sütü tozu içeren kekin protein içeriğinin yüksek olduğu görülmüş, buna karşılık yulaf protein değerini düşürdüğü belirlenmiştir.

Nohut proteini, bitkisel sütlerde kullanılan güçlü bir protein kaynağı olarak protein miktarını artırabilmektedir (Sharma ve ark. 2017). Yulaf sütü düşük protein içeriği nedeniyle proteine sınırlı katkıda bulunmaktadır (Zhao ve ark. 2018).

Yapılan bir çalışma, soya sütünün protein içeriği açısından inek sütüne en yakın alternatif olduğunu vurgular ve bunun ürün protein oranını artıracadığını belirtir (Vanga ve ark. 2018).

Bir çalışmada; sentetik antioksidanların mutajenik, toksik ve kanserojen etkilerinden dolayı, sünger kek içerisine farklı oranlarda (%10, 20, 30) doğal antioksidan içeren yeşil çay tozu eklenmesinin kekin kalitesi ve antioksidan özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Yeşil ayın protein ve kül değerlerinin kontrol örneğine göre katkı oranının artmasıyla arttığı tespit edilmiştir (Lu ve ark. 2010).

Literatürde; havuç, elma ve portakal posası tozu ikamesiyle ise kek örneklerinin protein içeriklerinin %7.27'den sırasıyla, %6.30'a, %5.96'ya ve %5.09'a düştüğü bulunmuştur (Kırbaş ve ark., 2019). Keklerde nar kabuğu tozu ikamesiyle ham protein içeriğinin, %9.81'den %8.23'e düştüğü tespit edilmiştir. Armut posası tozu ikamesiyle protein içeriğinin %9.49'dan %8.71'e düştüğü bildirilmiştir (Bozdoğan, 2015). Yapılan çalışmada şeftali bazlı diyet lif ikamesiyle protein içeriğinin %8.21'den %6.76'ya, greyfurt albedosu tozu ikamesiyle ise %13.19'dan %12.57'ye düştüğü bulunmuştur (Qureshi ve ark., 2017). Miguel ve ark., (1999) ve Alloush, (2015) turuncu ve beyaz tatlı patates unu ikamesiyle kek örneklerinin ham protein içeriğinin (kontrol %8.68 protein içeriğine sahip) sırasıyla %6.65 ve %4.52'ye düştüğünü tespit etmişlerdir.

4.3.2.4. Kl

Kek rneklerinin kl içerikleri % 1.34-1.47 arasında değişmekte olup ortalama % 1.41±0.02 olarak tespit edilmiştir. Örneklerin oklu karşılaştırma testi sonuçları ilave edilen bitkisel süt tozu çeşidi bakımından incelendiğinde bitkisel süt tozu ikame edilen kek örnekleri istatistiksel açıdan farklılıklar ($p>0.05$) oluşturmuşlardır (izelge 4.61). En yüksek kül içeriği Y-MW içeren kek örneğinde tespit edilirken, bunu sırasıyla Y-US, N-US, B-MW, B-US ve kontrol rneği benzer sonuçlar vererek izlemiş, en düşük kül içeriği ise N-MW rneğinde belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada %75 ikame düzeyinde soya ve acı bakla sütü içeren kek örneklerinin kl içeriği sırasıyla %1.47 ve %1.43 olarak bulunmuştur (Aslan ve Bilgiçli,

2022). Kek formülasyonunda inek sütü yerine bitkisel süt kullanılması kek numunelerinin kül içeriğinde önemli bir değişime neden olmamıştır. Badem sütü tozu, mineral içeriği ile kül oranını artırarak ürünlerin besin değerini iyileştirir ve nohut sütü, fosfor ve potasyum gibi minerallerle kül miktarını artırabilmektedir.

Alloush (2015) bir çalışmada, sırasıyla % 0, 10, 20 ve 30 oranında ikame edilen beyaz ve turuncu tatlı patates ununun kek ununa eklenmesiyle elde edilen numunelerin kül değerlerindeki değişimler incelenmiş; kül değerleri sırasıyla %3.65, 3.43, 3.62, 3.52 ve % 3.65, 3.89, 3.72, 3.90 olarak belirlenmiştir.

Düşük kalorili keklerde eritrol kullanılarak pandispanya kekinin kalite kriterlerinin belirlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada; şeker yerine %0, 30 ve 50 eritrol kullanılmış ve eritrol miktarının artmasıyla kek hacminin, nem içeriğinin, ham kül ve protein içeriğinin azaldığı görülmüştür (Chung ve ark., 2009).

Bozdoğan (2015) tez çalışmada, armut posası tozu ikamesi yapılan kek örneklerinin kül içeriğindeki değişimler, % 0, 4, 8 ve 12 ikame oranlarında sırasıyla % 1.48, 1.45, 1.40 ve 1.47 olarak belirlenmiştir.

Hari Purnomo ve ark., (2012), çalışmada, mısır, buğday ve tatlı patates unlarının kek üretiminde kullanımı araştırılmıştır. %4 buğday unu, %10 tatlı patates unu ve %86 mısır unundan oluşan bir bileşimle üretilen keklerin optimum özellikte olduğu ve elde edilen muffin kekin kül değerinin % 1.83 olduğu rapor edilmiştir.

4.3.2.5.Karbonhidrat

Bitkisel süt tozları kullanılarak üretilen keklerin karbonhidrat miktarları Çizelge 4.61'de verilmiştir. Keklerin karbonhidrat değerleri % 54.88 ile 62.82 arasında değişim göstermiş, ortalama olarak % 57.98±0.41 bulunmuştur. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları değerlendirildiğinde bitkisel süt tozu ikameli keklerin istatistiksel olarak farklılıklar gösterdiği (p<0.05) bulunmuştur. En yüksek karbonhidrat içeriği yulaf sütü ile elde edilen Y-US ve Y-MW kekinde gözlenmiştir. Diğer bitkisel süt tozları ile üretilen ve kontrol kek örnekleri ise benzer ve daha düşük karbonhidrat içerdiği tespit edilmiştir.

Bitkisel süt tozlarının kek formülasyonlarında süt ikamesi olarak kullanılması, ürünün besin bileşimini, özellikle enerji (kalori) ve karbonhidrat içeriğini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Yulaf, nohut ve badem gibi bitkisel kaynaklardan elde edilen süt

tozları, içeriklerindeki nişasta, şeker ve lif miktarına bağlı olarak kekin karbonhidrat profilinde farklılık yaratabilmektedir. Yulaf sütü tozu, yüksek oranda kompleks karbonhidratlar ve beta-glukan içerdiğinden, kekin toplam karbonhidrat içeriğini artırırken, glisemik yanıtı nispeten düşük tutabilmektedir (Goyal ve ark., 2022). Ayrıca, bu çözümlü lif bileşenleri kekin doyuruculuğunu artırmakta ve fonksiyonel gıda özelliği kazandırmaktadır.

Nohut sütü tozu ise düşük şeker içeriği ile dikkat çekerken, dirençli nişasta ve diyet lif yönünden zengin olması nedeniyle, karbonhidrat içeriğinde dengeli bir artış sağlamakta ve aynı zamanda prebiyotik etki gösterebilmektedir (Rebello ve ark., 2014). Badem sütü tozu ise düşük karbonhidrat içeriği ile; badem tozu ile formüle edilen keklerin toplam karbonhidrat miktarını düşürmekte, bu da düşük karbonhidratlı diyet uygulayan bireyler için tercih edilebilir ürünlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Tan ve ark., 2021).

Yapılan bir çalışmada kek içerisine farklı oranlarda (%10, 20, 30) yeşil çay tozu eklenmesinin kekin kalitesi ve antioksidan özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Yeşil çayın karbonhidrat ve yağ içeriğinde önemli değişim olmadığını bulunmuştur (Lu ve ark. 2010).

Yapılan başka bir çalışmada chia tohumlarının glutensiz kek üretiminde kullanılması ve bazı kek özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Karbonhidrat değerleri %54.40 ile 62.25 arasında değişmiştir (Satouf ve Köten, 2023).

Kek üretiminde kinoa ununun %25 ve %50 oranlarında buğday ununa ikame edilmesiyle alternatif ürünler geliştirilerek ürün çeşitliliğinin artırılmasının hedeflendiği bir çalışmada karbonhidrat değerinde kinoa unu ikame oranı arttıkça azalma tespit edilmiştir (Özgören ve Yapar, 2022).

Hari Purnomo ve ark., (2012), çalışmalarında, elde edilen muffin kekin karbonhidrat değerini % 69.82 olarak bulmuşlardır.

4.3.2.6.Enerji

Çizelge 4.61'e göre kek örnekleri 390.90 – 413.99 kkal/100g arasında değişen enerji değerlerine sahip olduğu göstermiş, ortalama olarak 403.56±4.08 kkal/100g bulunmuştur. Çoklu karşılaştırma testi sonuçları değerlendirildiğinde bitkisel süt tozu ikameli kek örneklerinin enerji değerlerindeki deskriptif farklılıklar dışında keklerin

enerji içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmamıştır ($p>0.05$). Yulaf bazlı bitkisel süt tozu içeren keklerin enerji değerlerinin deskriptif olarak daha düşük olduğu görülmektedir.

Enerji açısından değerlendirildiğinde, kullanılan bitkisel süt tozunun yağ ve protein içeriği, kekin kalori değerini belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır. Örneğin, badem sütü tozu yüksek yağ içeriği nedeniyle kekin enerji değerlerini artırabilirken, nohut sütü tozunun daha düşük yağ içeriği daha az enerji katkısı sağlamaktadır (Martins ve ark., 2019).

Beyaz ve turuncu patatesin %10, 20 ve 30 oranlarında kek formülasyonuna ilavesiyle enerji değerlerinin sırasıyla 384.87, 378.89, 375.63 ve 363.40, 337.10, 327.82 kkal/100 g olduğu belirlenen çalışmada, oranlarının artmasıyla enerji değerlerinin 104 104 düştüğü gözlemlenmiştir (Samih, 2015).

Tam yulaf, yüksek karbonhidrat ve lif içeriği nedeniyle kalori değerine orta düzeyde katkı sağlar. Bununla birlikte, tam yulafın yüksek lif içeriği, toplam kalorinin enerjiye dönüşüm oranını azaltabilir (Zhao ve ark. 2018).

Badem, yüksek yağ ve protein içeriği ile kekin enerji içeriğini önemli ölçüde artırır. Bademdeki sağlıklı yağlar (tekli doymamış yağlar), kalori yoğunluğunu artırırken besleyici bir enerji kaynağı sağlar (Tokusoglu ve ark. 2015). Nohut, orta düzeyde karbonhidrat ve protein içeriği ile kaloriye katkıda bulunur. Nohutun düşük yağ içeriği, toplam enerji katkısını sınırlı tutmaktadır (Sharma ve ark. 2017).

Satouf ve Köten (2023), çalışmalarında chia tohumlarının glutensiz kek üretiminde kullanılması ve bazı kek özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlar ve enerji değerlerini 385.02 ve 373.87 kkal arasında tespit etmişlerdir.

4.3.3. Fonsiyonel özellikler

4.3.3.1. Toplam fenolik madde miktarı

Fenolik bileşikler en aktif besinsel antioksidanlardır (Shahidi ve Nacz 1995). Bu nedenle fenolik maddelerce zengin gıdaların tüketimi, vücuttaki doğal antioksidanların artmasını sağlamaktadır (Vitali ve ark. 2009).

Çizelge 4.63 bitkisel süt tozlarının keklere ilavesiyle fonksiyonel özelliklerde meydana gelen değişimleri göstermektedir. Toplam fenolik madde miktarı (TFMM), antioksidan aktivite ve fitik asit içeriği bakımından örnekler arasında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Çizelge 4.63 'da verilen sonuçlara göre kek örneklerine ait toplam fenolik

madde 276.83 ile 391.46 $\mu\text{gGAE}/100\text{g}$ arasında değişim göstermektedir. Ortalama olarak ise 322.04 ± 0.82 $\mu\text{g GAE}/100\text{g}$ değer elde edilmiştir. Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre kontrol grubunda TFMM değeri 276.83 $\mu\text{g GAE}/100$ g iken, bitkisel süt tozu ilave edilen örneklerde bu değer anlamlı şekilde artış göstermiştir. En yüksek TFMM değeri N-US örneğinde gözlenmiş, bunu B-US ve B-MW örnekleri takip etmiştir. Bu durum, özellikle badem ve nohut sütlerinin mikrodalga ve ultrason gibi işleme yöntemleriyle fenolik bileşenlerin serbestleşmesini kolaylaştırarak toplam fenolik madde miktarını artırdığını göstermektedir. Yulaf sütü tozu ilave edilen kek örneklerinde ise kontrol grubuna yakın ve daha yüksek toplam fenolik madde miktarı değerleri elde edilmiştir. Bitkisel süt tozu ilavesi, özellikle fenolik bileşiklerce zengin olan badem ve nohut kaynaklı örneklerde, keklerin fonksiyonel potansiyelini artırmıştır.

Çizelge 4. 64 Bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerine ait fonksiyonel özellikler¹

Örnekler	TFMM ($\mu\text{g GAE}/100$ g)	Antioksidan Aktivite (%)	Fitik Asit (mg/100 g)
Kontrol	276.83 ± 1.72^f	16.82 ± 0.061^c	77.70 ± 2.97^g
B-US	361.59 ± 0.86^b	36.61 ± 0.31^a	153.30 ± 2.97^c
B-MW	335.37 ± 1.72^c	38.13 ± 1.54^a	136.50 ± 2.97^d
N-US	391.46 ± 1.72^a	36.17 ± 0.61^a	123.50 ± 3.54^e
N-MW	326.83 ± 1.72^d	35.73 ± 0.61^a	107.10 ± 2.97^f
Y-US	290.85 ± 2.59^e	18.78 ± 0.00^{bc}	191.10 ± 2.97^a
Y-MW	276.83 ± 3.45^f	20.30 ± 0.31^b	174.30 ± 2.97^b
Min-Maks	276.83– 391.46	16.82– 38.13	77.70–191.10
Ortalama\pmstd	322.04 ± 0.82	28.94 ± 0.48	137.64 ± 0.21

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. TFMM: Toplam fenolik madde miktarı

Uçar ve Hayta (2018) tarafından yürütülen ve çeşitli meyve tozlarının kekin biyoaktif ve fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, kontrol kek örneğinde benzer bir toplam fenolik madde miktarı (2.66 mg GAE/g) belirlenmiştir. Sudha ve ark. (2007) ayrıca kontrol keki örneklerinin toplam fenolik madde içeriğini 2.07 mg GAE/g olarak belirlemiştir.

Yapılan bir çalışmada yulaf kepeği ve beta-glukan gibi bileşenlerin eklenmesiyle toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasite artarken, sindirim üzerine olumlu etkiler gözlemlenmiştir (Brennan ve ark., 2008). Bitkisel lif içeren katkıları (yulaf, baklagil

bazlı) ile zenginleştirilmiş kek ve ekmek ürünlerinin antioksidan ve fonksiyonel kalitesinin artırıldığı rapor edilmiştir (Ktenioudaki ve Gallagher, 2012). Tam tahılların içerdiği fenolik asitler ve fitik asidin ikili etkisiyle antioksidan savunma sistemini desteklediği ve gıdaların fonksiyonel kapasitesini artırdığı belirtilmiştir (Fardet, 2010). Amarant bazlı un ilavesiyle hazırlanan kurabiyelerde antioksidan aktivite ve toplam fenolik bileşik düzeylerinde artış, fitik asitte ise düşüş gözlenmiştir (Chauhan ve ark., 2015).

Gupta ve ark. (2011) arpa unu ilave ettikleri bisküvilerde toplam fenolik madde miktarının oran artışıyla birlikte arttığını (190-249 $\mu\text{L g}^{-1}$) tespit edilmişlerdir. Yulaf ununun ekmek üretiminde kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada, yulaf ekmeğinin toplam fenolik madde içeriğinin buğday ekmeğine göre daha yüksek olduğu ve üretim aşamalarının fenolik madde içeriğini etkilediği belirlenmiştir. Özellikle fermantasyon aşamasında fenolik madde içeriğinde artış, pişirme aşamasında ise azalma gözlenmiştir.

4.3.3.2. Antioksidan aktivite

Antioksidan aktivite, serbest radikaller adı verilen zararlı moleküllerin neden olduğu oksidatif strese karşı hücreleri korumada önemli rol oynayan bir özelliktir. Serbest radikaller hücre hasarına ve yaşlanma süreçlerine neden olabilen reaktif moleküllerdir. Antioksidanlar bu serbest radikalleri nötralize ederek hücreleri korur ve oksidatif stresin olumsuz etkilerini azaltabilir. Çeşitli bitkisel kaynaklardan elde edilen fenolik bileşikler, vitaminler ve mineraller gibi maddelerle antioksidan aktivite sağlanabilmektedir.

Kek örneklerinin antioksidan aktivite değerleri % 16.82 ile 38.13 arasında değişim göstermiştir. Çoklu karşılaştırma testine göre antioksidan aktivite değerleri bitkisel süt tozu ikameli kekler bakımından değerlendirildiğinde kontrol grubunda antioksidan aktivite %16.82 ile en düşük değerde ölçülmüşken, özellikle ultrason (US) ve mikrodalga (MW) uygulanmış badem ve nohut sütü tozları kullanılarak hazırlanan kek örneklerinde bu oran yükselmiştir. Bu durum, badem ve nohut sütlerinin fenolik bileşikler ve antioksidan bileşenler açısından zengin bir içeriğe sahip olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca uygulanan ultrason ve mikrodalga işlemleri, gıdalardaki hücresel yapıyı bozarak bu bileşiklerin serbest hale gelmesini ve böylece antioksidan

kapasitenin artmasını desteklemiştir (Zhou ve ark., 2021). Yulaf sütü içeren örnekler kontrol grubuna yakın fakat biraz daha yüksek değerler vermişlerdir. Hem bitkisel kaynakların kendine özgü fenolik profiline hem de işleme yöntemlerinin etkisine bağlı olarak antioksidan aktivite değerlerinde değişkenlik gözlenmektedir (Çizelge 4.63).

Soya sütü ve acı bakla sütü ile hazırlanan kek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerlerinin sırasıyla 2.16 ve 1.62 mg GAE/g, %27.51 ve %25.67 olarak bulunduğu rapor edilmiştir (Aslan ve Bilgiçli, 2022).

Sharma ve Gujral (2014), arpa unu katkısının bisküvinin antioksidan aktivitesini arttırdığını saptamışlardır. Ajila ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, mango kabuğu tozu ilavesinin bisküvinin antioksidan aktivitesinde artışa neden olduğunu bulmuşlardır.

Maillard reaksiyonu ürünlerinin pişirme sırasında oluşan antioksidan aktiviteye katkı sağladığı ve bu nedenle fırınlanmış ürünlerin fonksiyonel potansiyelinin arttığı bildirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2005). Ultrason uygulamasının, gıdalardaki fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunu artırarak toplam antioksidan kapasiteyi yükseltebildiği Zhou ve ark. (2021) tarafından rapor edilmiştir. Dondurarak kurutma gibi yenilikçi kurutma teknikleri, bitkisel sütlerin antioksidan bileşenlerini daha iyi koruduğu, bu uygulamanın kullanıldığı bileşiklerin keklerde kullanımı ile keklerde fonksiyonel özelliklerin daha belirgin olmasına olanak sağladığı belirtilmektedir (Ratti, 2001).

Badem sütü, E vitamini, flavonoidler ve polifenoller açısından zengin olduğu. badem sütü tozu kullanılarak geliştirilen keklerin, geleneksel süttten üretilen keklere kıyasla daha yüksek antioksidan aktivite sahip olduğu rapor edilmiştir (Mandalari ve ark., 2010). Baklagil unları ile hazırlanan keklerin fonksiyonel özelliklerinde artış olduğu ve tüketici kabulünün olumlu yönde etkilendiği vurgulanmıştır (Kırbaş ve ark.,2019).

Mildner-Szkudlarz ve ark. (2013) diyet lif kaynağı olarak beyaz üzüm posası ilavesinin, bisküvilerin DPPH antioksidan aktivite değerlerini (3.39-7.55 mmol troloks/g), kontrole (1.27 mmol troloks g-1) göre önemli düzeyde artırdığını bildirilmiştir.

4.3.3.3 Fitik asit

Fitik asit (myo-inozitol hekzafosfat), bitkisel dokularda özellikle tohumlarda ve kepekte yoğun olarak bulunan bir bileşiktir. Antibesinsel faktör olarak kabul edilmesinin temel nedeni, demir, çinko, kalsiyum gibi minerallerle kompleks oluşturarak emilimlerini azaltmasıdır (Reddy ve ark., 1982).

Çizelge 4.63 'da verilen sonuçlara göre kek örneklerine ait fitik asit değerleri 77.70 ile 191.10 mg/100 g arasında değişim göstermektedir. İncelenen bitkisel süt tozları ilave edilmiş kek örneklerinde fitik asit miktarları önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Çoklu karşılaştırma testine göre fitik asit miktarı bitkisel süt tozu ikameli kekler bakımından değerlendirildiğinde en yüksek fitik asit içeriği Y-US (191.10 mg/100 g) örneğinde, en düşük içerik ise kontrol grubunda (77.70 mg/100 g) belirlenmiştir. Nohut sütü tozu ile üretilen N-MW ve N-US kek örneklerinin kontrol örneklerinden sonra düşük seviyede fitik asit içerdiği görülmüştür. Fitik asit, bitkisel kaynaklı gıdalarda doğal olarak bulunan ve fosforun depo formu olan bir antinutrienttir. Genellikle tohum, tahıl ve baklagil gibi bitkilerde yüksek miktarda bulunur. Yulaf bazlı süt tozlarının bu çalışmada en yüksek fitik asit içeriğine sahip olması, yulafın yüksek oranda fitik asit içeren bir tahıl olmasından kaynaklanmaktadır (Doblado ve ark., 2007). Nohutun baklagiller arasında orta seviyede fitik asit içeren bir kaynak olmasıyla ilişkilendirilmektedir (Khattab ve Arntfield, 2009). Fakat çalışmada nohut sütü yapımında eklenen fitaz enziminin fitik asiti parçalayarak fitik asit değerlerinin düşük çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, ultrason işleminin, yulafın hücresel yapısını bozarak depolanmış fitik asidi serbest hale getirme potansiyeli bu değerlerin artmasına katkı sağlamış olabilir (Zhou ve ark., 2021). Kontrol grubunda ise herhangi bir bitkisel süt tozu ilavesi bulunmadığı için, fitik asit seviyesi doğal olarak daha düşük kalmıştır. Bu da, bitkisel süt tozlarının fitik asit içeriğine doğrudan katkıda bulunduğunu ortaya koymaktadır. Mikrodalga (MW) ve ultrason (US) gibi işlemler ise bazı çalışmalarda fitik asidin parçalanmasını sağlarken, bazı durumlarda hücre içeriğinin serbestleşmesini artırarak fitik asit seviyelerinde artışa neden olabilmektedir.

Sandberg (1991), kek ve ekmek gibi fırın ürünlerinde kullanılan tam tahılların içerdiği yüksek fitik asit miktarının demir ve çinko gibi minerallerin biyoyararlılığını azalttığını göstermiştir. Dlamini ve ark. (2007), fitik asit içeriği yüksek olan keklerin daha koyu renkte ve hafif ekşi bir tada sahip olabileceğini belirtmiştir. Öztürk ve Koç

(2015), yoğurt ve kefir gibi fermente ürünlerin kek formülasyonuna ilavesinin fitik asit seviyesini düşürebileceğini ve bu sayede mineral emiliminin artırılabilceğini raporlamıştır.

Yapılan bir çalışmada nohut unu, mercimek unu veya tam tahıl unları gibi içeriğine sahip bileşenlerin keklere ilavesiyle, toplam fitik asit içeriğinde artış gözlemlendiği rapor edilmiştir (Greiner ve Konietzny, 2006). Khatlab ve ark.,(2009) ısıt işlemlerin ve uygulanan ön işlemlerin anti-nutrient (fitik asit gibi) faktörler üzerinde etkileri bulunduğunu ve bu bileşenlerin azaltılmasında kullanılabileceğini belirtmiştir.

Madenci ve Bilgiçli (2015), nohut unu ilavesiyle hazırlanan keklerde fitik asit miktarının kontrol örneklerine göre anlamlı şekilde yükseldiğini, ancak belirli işleme teknikleri (örneğin fermantasyon, enzim ilavesi, ıslatma, pişirme) ile bu artışın sınırlandırılabilceğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Oatley ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, yulaf unu ve sütü türevlerinin kek formülasyonuna dâhil edilmesiyle fitik asit içeriğinde artış gözlenmiş; fakat pişirme işleminin ardından bu bileşenin bir miktar parçalandığı ve fitaz enzim aktivitesinin bu bağlamda etkili olabileceği vurgulanmıştır.

4.3.3.4 Mineral madde

Mineraller, insan sağlığı için hayati öneme sahip mikro besin öğeleridir. Vücudun metabolik, yapısal ve sinirsel fonksiyonlarında görev alırlar. Mineraller, dokuların ve organların düzgün çalışması için gerekli olup ve minerallerin biyoyararlanımı, ürünün türüne, çığ gıdadan arındırılma derecesine ve kullanılan işleme tekniklerine bağlıdır; bu nedenle, gıda işleme yöntemleri, bu değerli minerallerin hem miktarını hem de biyoelverişliliğini (emilimini) etkileyebilir (Alsuhaibani, 2018). Yeni teknolojiler (ultrason, mikrodalga, fermentasyon vb.) ile biyoelverişlilik artırılabilir.

Kek örneklerinin mineral madde analizlerine ait sonuçlar ve çoklu karşılaştırma test sonuçları Çizelge 4.62’te verilmiştir. Bitkisel süt tozları ilave edilerek üretilen kek örneklerinin magnezyum, potasyum, kalsiyum, demir ve çinko içerikleri belirlenmiştir. Kek örneklerinin magnezyum içerikleri 17.21 ile 24.66 mg/100 g arasında, potasyum içeriği 133.37 ile 164.41 mg/100 g arasında, kalsiyum içerikleri 48.73 ile 56.34 mg/100 g arasında, demir içerikleri 2.05 ile 2.79 mg/100 g arasında ve çinko içerikleri 0.73 ile 0.97 mg/100 g arasında değişim göstermiştir.

Çizelge 4. 65 Kek örneklerinin mineral madde miktarlarına (mg/100g) ait sonuçlar¹

Örnekler	Magnezyum	Potasyum	Kalsiyum	Demir	Çinko
Kontrol	18.6 ^e	139.90 ^e	48.73 ^g	2.05 ^g	0.73 ^g
B-US	17.41 ^f	133.37 ^g	50.62 ^d	2.43 ^e	0.95 ^c
B-MW	17.21 ^g	135.33 ^f	50.18 ^f	2.30 ^f	0.83 ^f
N-US	24.66 ^a	164.41 ^a	55.93 ^b	2.79 ^a	0.97 ^a
N-MW	24.46 ^b	160.98 ^b	56.34 ^a	2.77 ^b	0.96 ^b
Y-US	20.51 ^d	156.35 ^c	51.62 ^c	2.69 ^c	0.90 ^d
Y-MW	22.23 ^c	150.100 ^d	50.47 ^e	2.52 ^d	0.88 ^e
Min-Maks	17.21 – 24.66	133.37- 164.41	48.73-56.34	2.05-2.79	0.73-0.97
Ortalama±std	20.73±3.15	148.63±12.57	51.99±2.96	2.52±0.26	0.89±0.08

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır

Farklı bitkisel sütlerle hazırlanan keklerin mineral madde içerikleri, kullanılan süt türüne göre belirgin farklılıklar göstermektedir.

Keklerdeki en yüksek magnezyum içeriği N-US örneğinde (24.66 mg/100g) gözlenirken, en düşük değer B-MW örneğinde (17.21 mg/100g) kaydedilmiştir. Ortalama magnezyum düzeyi 20.73±3.15 mg/100g olup, özellikle nohut ve yulaf bazlı örneklerin kontrol örneğine kıyasla daha yüksek magnezyum sağladığı dikkat çekmektedir. Bu durum, nohut ve yulafın doğal magnezyum içeriği ile ilişkilendirilebilir.

Potasyum içeriği bakımından en yüksek değer N-US örneğinden (164.41 mg/100g) elde edilmiş bunu N-MW örneği takip etmiştir. Bu durum, ultrason uygulamasının nohutta hücre duvarı geçirgenliğini artırarak minerallerin matris geçişini kolaylaştırması ile açıklanabilir. Nohut ve yulaf bazlı örneklerin kontrol örneğine kıyasla daha yüksek potasyum içerdiği görülmektedir. Potasyumun genel olarak tüm örneklerde yüksek bulunması (ortalama 148.63±12.57 mg/100g), bitkisel sütlerin bu mineral açısından zengin katkıları sağladığını göstermektedir.

Kek örneklerinde kalsiyum içeriği 48.73 ile 56.34 mg/100g arasında değişmiş ve ortalama değer 51.99 mg/100g olarak hesaplanmıştır. Özellikle N-MW, N-US ve Y-US örneklerinde yüksek kalsiyum içeriği dikkat çekmiştir. Bu durum, nohut ve yulafın doğal kalsiyum içeriği ile ilişkilendirilmektedir. En düşük kalsiyum değeri ise kontrol örneğinden elde edilmiştir. Bitkisel sütlere ilave edilen kalsiyum içeriğinin de etkili olduğu ve bitkisel sütlerde ortaya çıkan kalsiyum eksikliğinin de giderildiği görülmektedir.

En yüksek demir içeriği N-US örneğinde (2.79 mg/100g) gözlenmiştir. Bunu sırasıyla N-MW, Y-US, Y-MW, B-US, B-MW ve kontrol örneği izlemiştir. Kontrol örneğine kıyasla, bitkisel sütle üretilmiş tüm örneklerde demir düzeylerinde artış izlenmiştir. Bu artışta, hem bitkisel sütlerin doğal demir içeriği hem de mikrodalga ve ultrason gibi yenilikçi işlemlerin mineral biyoerişilebilirliğini artırması etkili olabilir. Ultrason uygulaması mikrodalga uygulamasına kıyasla daha fazla demirin bitkisel süte geçtiğini göstermektedir.

Çinko miktarlarında da örnekler arasında anlamlı farklar gözlenmiştir. N-US örneği en yüksek çinko içeriğine (0.95 mg/100g) sahip olurken, kontrol örneğinde en düşük değer (0.73 mg/100g) elde edilmiştir. Nohut sütü tozu ile üretilen kek örneklerinde diğer bitkisel süt tozları ile üretilen kek örneklerine göre daha yüksek çinko içerikleri görülmüştür.

Her bir bitkisel süt türü, kendi hammaddesine bağlı olarak farklı miktarlarda mineral içerir. Nohut sütü, doğal olarak magnezyum, potasyum ve demir açısından zengindir. Yulaf sütü, lif ve mineraller bakımından dengeli bir profile sahiptir. Badem sütü, çinko ve kalsiyum bakımından öne çıkabilir ancak işlenme şekline göre bu değerler değişebilmektedir.

Bitkisel süt tozu ilavesiyle hazırlanan keklerin mineral içerikleri, kontrol örneğine göre genel olarak daha yüksek bulunmuştur. Özellikle nohut ve yulaf sütleri, ultrason ve mikrodalga gibi ön işleme teknikleriyle birlikte kullanıldığında mineral madde düzeylerini artırıcı bir etki göstermektedir. Bu durum, fonksiyonel gıda üretiminde bu tür teknolojilerin ve bileşenlerin kullanımının besin değeri açısından önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir.

Peynir altı suyu protein konsantresi tozu ve ayran tozu mayalı ve mayasız yassı ekmek hamurunda farklı seviyelerde (%0, 4 ve 8) kullanılmıştır. Ekmeklerin Ca, K, Mg ve P içeriğinin peynir altı suyu protein konsantresi tozu ve ayran tozu ilavesiyle mayalı ve mayasız tüm örneklerde arttığı bildirilmiştir (Madenci ve Bilgiçli 2014). Ayrıca Madenci ve ark. (2012), lavaş ekmeğinin mineral içeriğinin de peynir altı suyu protein konsantresi tozu ve ayran tozu ilavesiyle arttığını bulmuşlardır.

Kek örneklerinin mineral içerikleri baklagil sütü tipi faktörüne göre karşılaştırılmış, soya sütü içeren kek örneklerinde Ca, K, Mg, Mn, P ve Zn değerleri sırasıyla 84.87, 223.05, 24.94, 0.40, 379.49 ve 0.94 mg/100 g olarak belirlenmiştir; acı

bakla sütü içeren kek örneklerinde ise aynı mineral maddeler sırasıyla 76.46, 181.97, 19.98, 1.84, 371.83 ve 0.91 mg/100 g olarak bulunmuştur (Aslan ve Bilgiçli 2022).

Bir çalışmada, kek örneklerinin mineral ve diyet lifi içeriğini iyileştirmek için buğday unu filizlenmiş rahi (*Eleusine coracana*) unu ile farklı oranlarda karıştırılmıştır. Filizlenmiş rahi darısı unu ile yapılan muffin keklerin kontrole kıyasla daha fazla kalsiyum, demir, fosfor gibi mineral maddeler ve diyet lif içerdiğini bulmuşlardır (Desai ve ark., 2010).

Buğday unu yerine %5 ve 10 oranında nohut ve soya ununun kullanıldığı bir kek çalışmasında keklerin fiziksel, duyuşal ve besinsel özellikleri incelenmiştir. Soya ununun ve nohut ununun %5 oranında ilave edildiğı keklerin panelistler tarafından beğenildiğı, potasyum, çinko ve demir gibi mineral kompozisyon bakımından yüksek değerler elde edildiğı belirtilmiştir.

4.3.4 Duyusal değerlendirme

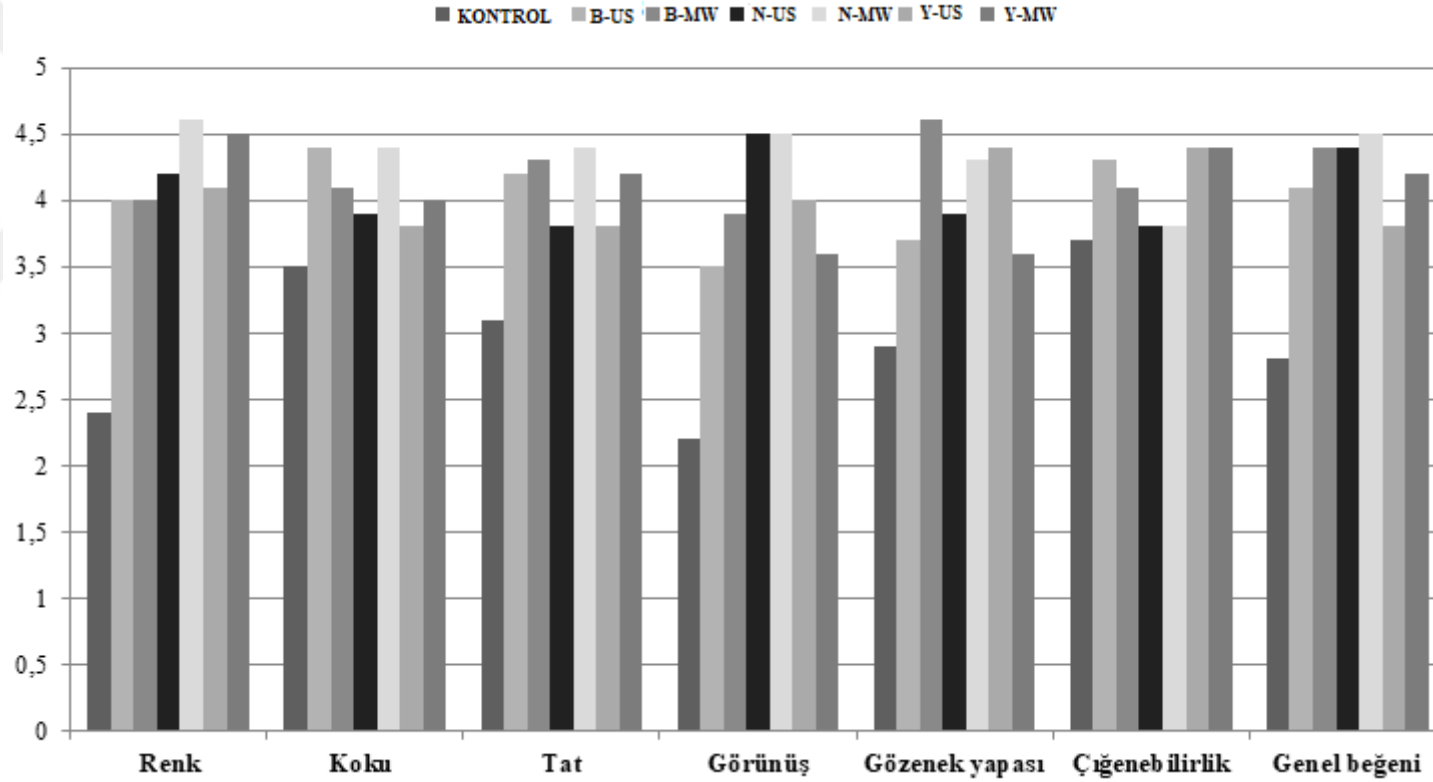
Bitkisel süt tozları kullanılarak üretilen kek örneklerinin duyuşal analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Tüm duyuşal parametrelerde en düşük puanı alan örnek kontrol örneğı olmuştur.

Örneklerin duyuşal değerlendirme puanları renk parametresi açısından değerlendirildiğinde N-MW ve Y-MW örnekleri renk açısından en yüksek puanı alırken, kontrol grubunun en düşük skora sahip olduğı belirlenmiştir. Bitkisel süt tozları kullanılarak üretilen kek örneklerinin koku ve tat değerleri birbirine oldukça yakın puanlar alırken, koku değerlendirmesinde N-MW ve B-US en yüksek skorları almış, kontrol örneğı renk de olduğı gibi en düşük skorlarla puanlanmıştır. Tat açısından öne çıkan örnekler N-MW, B-MW, B-US ve Y-MW örnekleri olmuş, kontrol grubu tat açısından da en düşük skorlarla değerlendirilmiştir. Görünüş parametresi açısından N-MW ve N-US ikameli örnekler panelistler tarafından daha kabul edilebilir bulunmuştur. Kontrol örnekleri görünüş açısından da en düşük skorları almıştır. Gözenek yapısında da diğere parametrelere ait sonuçlarla doğrudan ilişkili şekilde B-MW, Y-US ve N-MW örneklerinde gözenek yapısı puanları yüksekken örnekler daha çok beğeni kazanmıştır. Çalışma sonucunda bitkisel süt tozları kullanılarak kekin duyuşal özellikleri panelistler tarafından inek sütünden elde edilen kontrol örneğine

kıyasla daha çok tercih edildiği belirlenmiştir. Panelistler tarafından en yüksek genel beğeni skorları alan ilk üç örnek sırasıyla N-MW, B-MW ve N-US olmuştur.

Rahmati ve Tehrani (2014) tarafından yapılan çalışmada, yumurta yerine soya sütü ikamesinin kek örneklerinin kalitesi ve duysal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve %75'e kadar soya sütü ikame edilen keklerin neredeyse tüm özelliklerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu bulunmuştur.

Hedayati ve Tehrani (2018), yumurta yerine soya sütü ve lesitin kullanımının kekin tadını, rengini, dokusunu ve genel kabul edilebilirlik değerlerini olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir. Jayasena ve ark. (2010), hazır erişte örneklerinde yüksek seviyelerde acı bakla unu kullanımının fasulye benzeri aroması nedeniyle tat parametresini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Sanful ve Darko (2010) tarafından yapılan başka bir çalışmada, %30'a kadar soya unu ile takviye edilen ekmek örneklerinin kontrol örnekleriyle benzer tat puanına sahip olduğu bildirilmiştir.



Şekil 4. 67. Kek örneklerinin duyu analizi sonuçları

B-US Ultrason yöntemi uygulanan badem sütü tozu ilaveli
B-MW Mikrodalga yöntemi uygulanan badem sütü tozu ilaveli
N-US Ultrason yöntemi uygulanan nohut sütü tozu ilaveli
N-MW Mikrodalga yöntemi uygulanan nohut sütü tozu ilaveli
Y-US Ultrason yöntemi uygulanan yulaf sütü tozu ilaveli
Y-MW Mikrodalga yöntemi uygulanan yulaf sütü tozu ilaveli

Acı bakla unu ile takviye edilen ekmek örneklerinin kimyasal, fiziksel ve duyuşsal özelliklerini değerlendiren bir çalışmada, acı bakla unu ilavesinin ekmek tadı puanları üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı ve kontrol örneğiyle benzer olduğu görölmüştür (Alomari ve AbdulHussain, 2013).

Mercimek proteini kullanılarak üretilen keklerde duyuşsal analiz sonucunda tamamen ikame edilen kek örneklerinin panelistler tarafından en çok tercih edilen grup olduğu görölmüştür (Yazıcı, 2018; Jarpa-Parra ve ark, 2017).

Fermente soya unu içeren buğday ekmeğinin dokusal ve duyuşsal özelliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada, soya ununun kendine özgü tat ve kokusu nedeniyle ekmek örneklerinin genel kabul edilebilirliğinin azaldığı belirtilmiştir (Bartkiene ve ark. 2012).

Keklerde katı yağ yerine işlenmemiş zeytinyağı kullanımı ve fiziksel özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada; zeytinyağı kullanımı kekin hacmini artırmış sertlik, çiğnenebilirlik ve viskozite gibi dokusal özelliklerin iyileştiği, duyuşsal değerlendirme sonucunda kontrole en yakın sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir.

Yadav ve ark. (2012), %20 rafine buğday unu yerine muz ve bezelye unu eklenerek hazırlanan bisküvilerin duyuşsal özelliklerinin (renk, tat, aroma, doku ve genel beğeni) kontrol bisküvilere benzer olduğunu bulmuştur.

Pandispanya keklerde yapılan duyuşsal analizde muz tozunun artmasıyla renk, aroma yumuşlaklık ve genel kabul edilebilirlik değerlerinin arttığı ve %10 muz tozu kullanımının pandispanya keklerde en uygun doz olduğu bildirilmiştir (Mohamed ve ark., 2020).

şeker ve ark. (2010), kayısı çekirdeği unu ilavesiyle üretilen bisküvilerin genel duyuşsal değerlerinin, artan oranda kontrol bisküvilerinden önemli ölçüde farklılaşmadığını ve kabul edilebilir olduğunu belirtmiştir.

Pandispanya keklerinde yumurta akı yerine çöven ekstraktının kullanımını araştıran bir çalışmada; yumurta beyazı yerine %75 oranında çöven ekstraktının kullanılmasının keklerin çiğneme özelliklerini iyileştirdiği, kek duyusal değerlendirmesinde genel olarak kontrol grubu ile benzer özellikler gösterdiği tespit edilmiştir (Çelik ve ark., 2007).

Başka bir çalışmada; keklerin kalite özellikleri üzerine %3, 6 ve 9 oranlarında çin lahanası tozunun etkisi araştırılmıştır. Duyusal analizde; %3 oranında lahana tozu kullanılan kekler tat, genel beğeni ve doku açısından daha yüksek puanlar alırken, %6 oranında lahana tozu kullanılan keklerde renk ve aromanın daha iyi olduğu belirlenmiş ve bunun sonucunda; lahana tozunun %3 oranında kek yapımında kullanılabileceği bildirilmektedir (Chung ve Kim, 2009).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çalışmada yulaf, badem ve nohut gibi 3 farklı bitkisel kaynaktan elde edilen süte 4 farklı yöntemin uygulanması (kontrol, ultrason, mikrodalga ve geleneksel yöntem) ve enzim ilavesi (enzimli ve enzimsiz) ile elde edilen 24 farklı bitkisel süt örneğinde üstün özellikler gösteren 3 farklı bitkisel kaynaktan 3 farklı yöntemle elde edilen süt örneklerinin seçilmesi çalışmanın ilk basamağını oluşturmuştur. Bu aşamada;

- Yulaf sütünde amilaz enzimi ve işlem yöntemleri pH'yi önemli ölçüde etkilemiştir. En yüksek pH kontrol grubunda, en düşük pH geleneksel yöntemde gözlenmiştir. Nohut sütünde fitaz enzimi pH'yi artırırken, geleneksel yöntem pH'yi düşürmüştür. Badem sütünde ise proteaz enzimi pH'yi düşürmüş, ultrason yöntemi en düşük pH'yi vermiştir. Yulaf sütünde amilaz enzimi ve ultrason işlemi briks değerini artırmıştır. Nohut sütünde fitaz enzimi briksi yükseltmiş, kontrol grubu en yüksek değeri vermiştir. Badem sütünde ise enzim ilavesi briks değerini düşürmüştür. Mikrodalga işlemi badem sütünde en düşük briks değeri ile sonuçlanmıştır. Ultrason yöntemi genellikle çözünebilir madde miktarını diğer yöntemlere kıyasla artırmıştır. Yulaf sütünde amilaz enzimi ve mikrodalga yöntemi stabiliteyi en çok artırmıştır. Nohut sütünde en yüksek stabilite geleneksel yöntemle, en düşük değer kontrol grubunda gözlenmiştir. Badem sütünde stabilite genel olarak yüksek bulunmuş, ancak enzim ilavesi stabiliteyi düşürmüştür. Yulaf sütünde kontrol grubu en fazla sedimentasyonu göstermiş, mikrodalga ve geleneksel yöntemler bu değeri önemli ölçüde düşürmüştür. Nohut sütünde enzim ilavesi sedimentasyonu daha fazla artırmıştır. Badem sütünde kontrol grubu en yüksek sedimentasyonu verirken, mikrodalga ve geleneksel yöntemler en düşük değerler göstermiştir. Sedimentasyon en çok işleme yöntemine bağlı değişiklik göstermiştir. Yulaf sütünde kontrol grubu en yüksek protein çözünürlüğünü gösterirken, geleneksel yöntem bu özelliği en

fazla düşürmüştür. Nohut sütünde fitaz enzimi protein çözünürlüğünü artırmış, mikrodalga yöntemi en yüksek değeri sağlamıştır. Badem sütünde proteaz enzimi çözünürlüğün artmasını sağlamış, mikrodalga yöntemi çözünürlüğü en fazla düşüren yöntem olmuştur. Enzim ilavesi ve ultrason uygulaması, partikül boyutunu azaltarak homojen yapılar elde edilmesini sağlamıştır. Geleneksel ve mikrodalga işlemleri, özellikle nohut ve yulaf sütlerinde büyük protein kümelenmelerine yol açmıştır. Enzimler, protein ve polisakkarit yapılarını modifiye ederek mikro yapıda değişikliklere sebep olmuştur (özellikle proteaz → protein hidrolizi).

- Yulaf sütüne uygulanan amilaz enzimi ilavesi ve süte uygulanan yöntemler ile (özellikle ultrason ve mikrodalga), parlaklığı (L^*) artırmış; geleneksel yöntem ise koyulaşmaya neden olmuştur. Kırmızılık (a^*) değeri genellikle negatif yeşilimsi tonlarda bulunmuştur. Enzimli örneklerde doygunluk indeksi (SI) düşerken ton açısı (Hue angle) artmıştır. Nohut sütüne fitaz enzimi ilavesi, L^* değerini düşürmüştür; sarılık (b^*) ve doygunluk (SI) değerleri genelde yüksek bulunmuştur. Badem sütünde proteaz ilavesi L^* değerini düşürmüştür, b^* (sarılık) değerini artırmıştır. Ultrason yöntemi en açık renkli sütü verirken, geleneksel yöntem en düşük L^* değerini vermiştir. SI ve Hue angle değerleri enzimle artış göstermiştir.
- Yulaf sütünde en yüksek beğeni skorları ultrason yöntemiyle elde edilen örneğe (Y-US) verilmiştir. Tat ve viskozite açısından mikrodalga (Y-MW) en çok tercih edilmiştir. Nohut sütü örneklerinde en iyi görünüm ve genel kabul, N-US ve kontrol örneklerinde gözlenmiştir. Tat ve koku açısından mikrodalga (N-MW) örneği öne çıkmıştır. B-US örneği görünüş, viskozite ve genel kabulde en yüksek skorları almıştır. Tat açısından mikrodalga yöntemiyle (B-MW) elde edilen badem sütü örneği öne çıkmıştır.
- Yulaf sütünde amilaz enzimi, nohut sütünde fitaz enzimi ve badem sütünde proteaz enzimi kullanımı ekstraksiyon veriminde artış sağlamıştır. En yüksek artış yulaf (%60 → %75), ardından badem (%50 → %70) ve nohut (%50 → %60) sütünde gözlenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise; yulaf, nohut ve bademden üstün özellikler gösteren 3 farklı yöntem (ultrason, mikrodalga ve geleneksel) 2 farklı kurutma yöntemi

(dondurarak kurutma ve kırınım pencereleli kurutma) ile kurutularak toz haline getirilmiş ve üstün özellikler gösteren örnekler belirlenmiştir. Bu aşamada;

- Yulaf sütü tozunda en yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri geleneksel yöntemle, en yüksek parçacık yoğunluğu mikrodalga yöntemiyle elde edilmiştir. Nohut sütü tozunda en yoğun yapı ultrason yöntemiyle; en düşük değerler geleneksel yöntemle gözlenmiştir. Badem sütü tozunda mikrodalga yöntemiyle en yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Kırınım pencereleli kurutma (KPK), dondurarak kurutmaya (DK) göre daha yüksek yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk sağlamıştır.
- Yulaf sütü tozunda en yüksek HR değeri geleneksel yöntemde (%1.63), en düşük mikrodalga yöntemiyle (%1.42) elde edilmiş; CI değerleri 0.32–0.40 aralığında bulunmuş olup, genelde orta zayıflıkta akışkanlık göstermiştir. Nohut sütü tozunda en düşük CI ultrasonla (%0.28), en yüksek geleneksel yöntemde (%0.41) görülmüştür. KPK yöntemi daha iyi akışkanlık (düşük HR/CI) sağlamıştır. Badem sütü tozunda HR değeri en yüksek (2.13) bulunurken, CI %0.54'e kadar çıkmış ve kötü akışkanlık gösterdiği belirlenmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi HR ve CI'yi artırmıştır.
- Porozite (gözeneklilik) değerleri yulaf sütü tozunda %41.7–79.9 aralığında; en yüksek mikrodalga, en düşük geleneksel yöntemle elde edilmiştir. Nohut sütü tozunda porozite %31.6–86.5 aralığında olup; ultrason ve mikrodalga uygulamaları yüksek porozite değerleri vermiştir. KPK yöntemi daha kompakt yapı sağlamıştır. Badem sütü tozunda en yüksek gözeneklilik geleneksel yöntemde (%89.8), en düşük ultrason (%52.3) uygulamasında gözlenmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi poroziteyi artırmıştır. Yulaf sütü tozunda higroskopisite değerleri en yüksek geleneksel yöntemle, en düşük U-DK örneğinde tespit edilmiştir. Nohut sütü tozunda genel olarak dondurarak kurutma düşük higroskopisite sağlamıştır. Badem sütü tozunda en yüksek değer G-DK yöntemiyle elde edilmiştir. Yüksek yağ içeriği ve gözeneklilik nem alma eğilimini artırmıştır.
- Bitkisel süt tozlarının su absorpsiyon kapasiteleri, kullanılan kurutma ve işleme yöntemlerine göre önemli farklılıklar göstermiştir. Kurutma yöntemleri, su

absorpsiyonu üzerinde anlamlı ($p<0.01$) bir etkiye sahipken, süte uygulanan yöntemler etkili olmamıştır.

- Yağ absorpsiyonu açısından, badem sütü tozu örnekleri en yüksek ortalama değeri göstermiş, ardından yulaf ve nohut sütü tozu gelmiştir. Tüm bitkisel sütlerde hem kurutma hem de Süte uygulanan yöntemler nin yağ absorpsiyonuna etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.01$). Dondurarak kurutulan örnekler, genellikle KPK yöntemiyle kurutulanlara kıyasla daha yüksek yağ absorpsiyon değerlerine sahiptir.
- Badem sütü tozu örnekleri en yüksek ortalama köpük kapasitesine sahipken, bunu nohut ve yulaf sütü tozları takip etmiştir. Yulaf sütü tozunda köpük kapasitesi Süte uygulanan yöntemler ne bağlı olarak önemli düzeyde farklılık göstermiştir, ancak kurutma yöntemi ve interaksiyon etkisi anlamlı bulunmamıştır. Badem ve nohut sütü tozlarında hem kurutma yöntemleri hem de süte uygulanan yöntemler önemli etkilere sahiptir.
- Badem sütü tozu örnekleri, %99.97 değeri ile en yüksek emülsiyon kapasitesi göstermiştir. Bunu nohut ve yulaf sütü tozları izlemiştir. Yulaf ve nohut sütü tozlarında emülsiyon kapasitesi kurutma yöntemlerinden etkilenmiştir ($p<0.01$), ancak badem sütü tozunda hem süte uygulanan yöntemler hem de kurutma yöntemleri açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır.
- Bitkisel süt tozlarının renk analizinde, L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık/yeşillik) ve b^* (sarılık) değerleri önemli farklılıklar göstermiştir. Yulaf sütü tozlarının L^* değerleri 87.11–91.18, nohut sütü tozlarının 87.56–92.19 ve badem sütü tozlarının 78.59–90.71 arasında değişmiştir. Kurutma yöntemi ve süte uygulanan yöntemler, L^* , b^* ve SI (doğgunluk indeksi) değerleri üzerinde anlamlı etkiler yaratmıştır ($p<0.01$). Dondurarak kurutulan örnekler genellikle daha yüksek parlaklık (L^*) ve daha düşük sarılık (b^*) değerlerine sahip olmuştur. Bitkisel süt tozlarının doğal pigmentleri (özellikle karotenoidler) sarılık değerini etkileyerek renk ve antioksidan kapasiteyi belirlemiştir. Sonuçlar, hem görsel kalite hem de besin kalitesi açısından renk parametrelerinin önemini vurgulamaktadır.
- FTIR analizleri sonucunda elde edilen veriler, bitkisel süt tozlarının kimyasal bileşiminde işleme yöntemlerine bağlı değişimleri ortaya koymuştur. 3300 cm^{-1} bölgesinde O-H (hidroksil) gruplarına ait geniş bantlar, 2900 cm^{-1} 'de C-H

gerilme titreşimleri, 1700 cm^{-1} 'de karbonil (C=O) gerilme titreşimleri ve 1600-1500 cm^{-1} arasında amid grupları belirlenmiştir.

- Ultrason işlemi, partikül boyutunun küçülmesine ve protein ile karbonhidrat çözünürlüğünün artmasına neden olmuş; bu durum FTIR spektrumlarında 1600 cm^{-1} ve 1200 cm^{-1} bölgelerinde belirgin değişiklikler şeklinde yansımıştır. Mikrodalga işlemi, su içeriğinde azalma ve karbonhidrat-protein bantlarında kaymalarla sonuçlanmıştır. Geleneksel yöntem ise nispeten daha stabil kimyasal yapı göstermiştir.
- Yulaf sütü tozu için ultrason yönteminde partiküller beklenenden büyük ($D_{50}=86.58 \mu\text{m}$), mikrodalga yönteminde ise daha küçük ($D_{50}=5.08 \mu\text{m}$) bulunmuştur. Geleneksel yöntemle üretilen yulaf sütü tozu en küçük partikül boyutlarına sahip olmuştur ($D_{50}=0.13 \mu\text{m}$). Nohut sütü tozunda ultrason yöntemiyle en küçük partikül boyutları ($D_{50}=0.57 \mu\text{m}$) elde edilirken, geleneksel yöntemde daha büyük agregasyonlar gözlenmiştir. Badem sütü tozunda ise ultrason uygulaması partikül küçülmesini en iyi şekilde sağlamış, yüzey morfolojisi daha düzgün ve homojen hale gelmiştir. Genel olarak, ultrason işlemi partikül boyutunda küçülmeye ve daha homojen dağılıma katkı sağlamıştır.
- SEM görüntüleri, işleme yöntemlerine bağlı olarak bitkisel süt tozlarının partikül morfolojilerinde belirgin farklılıklar olduğunu göstermiştir. Geleneksel yöntemle üretilen yulaf, nohut ve badem sütü tozlarında partiküller büyük, düzensiz ve kümelenmiş yapıda bulunmuştur. Mikrodalga işlemi, partikül boyutunda küçülmeye neden olmuş ve yüzey morfolojisinde daha düzenli yapılar ortaya çıkarmıştır. Ancak bazı büyük partiküllerin varlığı devam etmiştir. Ultrason uygulaması ile elde edilen örneklerde partiküller en küçük boyutlara ulaşmış, yüzey pürüzsüzleşmiş ve homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ultrasonun kavite etkisi, partiküllerin daha iyi çözünmesine ve daha stabil mikro yapılar oluşmasına katkı sağlamıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise deneme üstün özellikler gösteren yulaf, nohut ve bademden ultrason ve mikrodalga uygulaması ile elde edilen 6 farklı bitkisel süt tozu inek sütü tozu (kontrol) ile karşılaştırılmak üzere kek formulasyonuna eklenmiş ve kek örneklerinde fiziksel, tekstürel ve besinsel özellikler incelenmiştir. Bu aşamada;

- Üretilen kek örneklerinde pH, özgül ağırlık, renk, doku, hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri, kimyasal kompozisyon, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite, fitik asit, mineral madde miktarı ve duyusal analizleri gerçekleştirilmiştir. Kek hamurlarının pH değerleri 6.36–6.87, özgül ağırlıkları ise 1.11–1.16 g/ml aralığında bulunmuştur. Bitkisel süt tozu ikamesiyle pH değeri genel olarak düşerken, özgül ağırlıkta hafif bir artış gözlenmiştir. Keklerin kabuk renklerine ait L*, a* ve b* değerleri, kullanılan bitkisel süt tozunun türüne göre anlamlı farklılıklar göstermiştir. En yüksek sarılık (b*) değeri, mikrodalga yöntemiyle üretilen yulaf sütü tozu içeren keklerde tespit edilmiştir. Bitkisel süt tozu ikamesi, keklerin sertlik ve elastikiyet değerlerini anlamlı düzeyde etkilememiştir. Hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunmazken, simetri indeksi yulaf sütü tozu içeren keklerde daha düşük ölçülmüştür.
- Kek örnekleri kimyasal bileşim açısından incelendiğinde; bitkisel süt tozu ikamesinin nemde büyük değişiklik yaratmadığı, yulaf sütü tozu eklenen keklerde yağ içeriğinin düşük olduğu, badem ve nohut sütü tozlarının yağ içeriğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Badem sütü tozu eklenen keklerde protein içeriği daha yüksek, yulaf sütü tozu eklenenlerde daha düşük bulunmuştur. Yulaf sütü ikameli kekler kül açısından daha zengin bulunmuştur. Yulaf sütü ikameli kekler en yüksek karbonhidrat değerlerine sahiptir. Toplam fenolik madde miktarı açısından kekler değerlendirildiğinde; badem ve nohut sütü ilavesi kontrol kek örneklerine göre fenolik madde miktarında artışa neden olmuştur. Antioksidan aktivitede kontrol kek örneğine kıyasla yulaf, badem ve nohut sütü tozu ilavesiyle artış gözlenmiştir. Yulaf sütü ikameli keklerde fitik asit en yüksek, kontrol grubunda en düşük seviyede tespit edilmiştir.
- Kek örneklerinin mineral içerikleri, bitkisel süt tozu türüne ve uygulanan işleme yöntemine göre önemli farklılıklar göstermiştir. Magnezyum ve potasyum miktarı sırasıyla 17.21–24.66 mg/100 g ile 133.37–164.41 mg/100 g arasında değişmiş, en yüksek magnezyum, potasyum, demir ve çinko değerleri N-US içeren keklerde tespit edilmiştir. En yüksek kalsiyum içeriği N-MW örneğinde ölçülmüştür. Nohut sütü tozu ikameli kekler (özellikle ultrason ve mikrodalga uygulamalı) mineral içerikleri açısından en yüksek değerlere ulaşmıştır. Yulaf sütü ikameli kekler de kontrol grubuna göre daha yüksek mineral içeriği

sağlamıştır. Badem sütü tozu ikameli keklerde ise özellikle çinko artışı gözlenmiş ancak diğer minerallerde kontrol grubuna benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kontrol örneği, tüm minerallerde en düşük değerlere sahip olmuştur.

- Kek örnekleri duyuşal açıdan değerlendirildiğinde; N-MW, B-MW ve N-US örnekleri en çok beğenilmiştir. Renk açısından en iyi bulunan örnekler N-MW ve Y-MW örnekleridir. B-US, B-MW ve N-MW örnekleri tat açısından öne çıkmıştır. Koku ve ve görünüş bakımından değerlendirmede N-MW ve N-US en yüksek skorları almış, B-MW, Y-US ve N-MW örneklerinin gözenek yapısı daha çok beğenilmiştir. Ultrason ve mikrodalga yöntemleriyle üretilip dondurarak kurutulan bitkisel süt tozlarının, daha küçük partikül boyutu ve daha stabil yapıları sayesinde kek kalitesi üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir. Bitkisel süt tozu ilavesiyle kekler, duyuşal açıdan kontrol grubuna göre daha çok tercih edilmiştir.

5.2 Öneriler

- Bitkisel süt üretiminde enzim destekli ve ısıl olmayan teknolojiler daha fazla kullanılmalı ve optimize edilmelidir.
- Ürün geliştirme sürecinde tüketici kabulü dikkate alınarak aroma ve yapı iyileştirmelerine odaklanılmalıdır.
- Kurutma teknolojileri, ürünün nihai kalitesini büyük oranda etkilediği için uygun yöntem seçiminde enerji verimliliği ve besin değeri korunumu birlikte değerlendirilmelidir.
- Fırıncılık sektörü başta olmak üzere gıda endüstrisinde bitkisel sütlerin kullanım potansiyeli artırılmalı, bu konuda daha fazla araştırma ve ürün geliştirme yapılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- AACC, 2000. Approved Methods of Analysis, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, USA.
- Abdullah, Z., Taip, F. S., Mustapa Kamal, S. M., and Abdul Rahman, R. Z, 2018, Effect of sodium caseinate concentration and sonication amplitude on the stability and physical characteristics of homogenized coconut milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(11), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13773>.
- Abd El-Rahman, A. A., & Al-Jameel, S. S., 2014, Spectroscopic study on coconut milk and coconut oil. *Journal of Food Research*, 3(5), 111–121. <https://doi.org/10.5539/jfr.v3n5p111>.
- Abonyi, B. I., Feng, H., Tang, J., Edwards, C. G., Chew, B. P., Mattinson, D. S., and Fellman, J. K., 2002, Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system. *Journal of Food Science*, 67(3), 1051–1056. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>.
- Acar, B., Dağdeviren, A., and Özkaymak, M., 2019, *Freeze-Drying Kinetics Modeling of Banana , Dondurularak Kurutulan Muzun Kinetik Modeli*. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS) 4(6), 543–547.
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., and Madadlou, A., 2021, Ultrasound-assisted processing in food engineering: Principles, applications, and future trends. *Ultrasonics Sonochemistry*, 72, 105424. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105424>.
- Agrahar-Murugkar, D., Zaidi, A., and 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(7), 2621–2630. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3183-1>.
- Ahmed, J., Al-Attar, H., and Arfat, Y. A., 2016, Effect of particle size on compositional, functional, pasting and rheological properties of commercial water chestnut flour. *Food Hydrocolloids*, 52, 888–895. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.028>.
- Ahmed, J., and Ramaswamy, H. S., 2021, Effect of thermal processing on functional

- and structural properties of proteins. *Food Engineering Reviews*, 13(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09242-y>.
- Aidoo, H., Sakyi-Dawson, E., Tano-Debrah, K., & Saalia, F. K., 2010, Development and characterization of dehydrated peanut-cowpea milk powder for use as a dairy milk substitute in chocolate manufacture. *Food Research International*, 43(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.08.018>.
- Ajila, C. M., Leelavathi, K., & Prasada Rao, U. J. S., 2008, Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.003>.
- Akan Çalışır, İ., 2024, T.C. Farklı Kavurma Yöntemleri Kullanılarak Elde Edilen Hurma Çekirdeği Tozundan Kek Üretimi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı In (Vol. 15, Issue 1).
- Akpınar, A., Erk, G., ve Seven, A., 2019, Vegan ve Vejetaryan Beslenmede probiyoti bitkisel bazlı Süt ürünlerinin yeri. *Gıda*, 44(3), 453–462. <https://doi.org/10.15237/Gida.Gd18083>.
- Alabdali, T., 2020, *Improvement of The Functional Properties of Pomegranate Juice by Ultraviolet , Ultrasound Treatment And Probiotification. Republic Of Turkey Graduate School of Natural and Applied Sciences Yıldız Technical University.*
- Al Dmoor, H. M., 2013, Cake processing and quality evaluation: A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 23(3), 147–155.
- Alifakı, H., 2013, *Farklı baklagil unlarının kek kalitesi üzerine etkileri.* Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi.
- Alloush, Samiha, A., 2015, Chemical, Physical and Sensory Properties of Sweet Potato Cake. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 93(1), 101–115. <https://doi.org/10.21608/ejar.2015.152780>.
- Almeida, N. M. De, Dias, F. F. G., Rodrigues, M. I., and Bell, J. M. L. N. D. M., 2019, Effects of processing conditions on the simultaneous almond flour processes. 7(11), 844. <https://doi.org/10.3390/pr7110844>.
- Ansorena, D., Cartagena, L., and Astiasaran, I., 2023, A Cake Made with No Animal

- Origin Ingredients: Physical Properties and Nutritional and Sensory Quality. *Foods*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/foods12010054>.
- Alomari, A. A., and AbdulHussain, H. J., 2013, Effect of lupin flour on the quality of wheat flour bread. *Journal of Food Science and Engineering*, 3, 263–267.
- Alongi, M., Melchior, S., and Anese, M., 2019, Reducing the glycemic index of short dough biscuits by using apple pomace as a functional ingredient. *Lwt*, 100(October 2018), 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.068>.
- Alsuhaibani, A. M. A., 2018, Rheological and Nutritional Properties and Sensory Evaluation of Bread Fortified with Natural Sources of Calcium. *Journal of Food Quality*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8308361>.
- Al-Qudsi, M. I., 2019, *Emerging electrical processing technologies for food: Trends and consumer demand for high-quality products*. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 910–918.
- Aslan, M., and Bilgiçli, N., 2022, The comparison of lupin milk with soy milk as an alternative egg substitute for cake production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(5), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16572>.
- Aydar, E. F., Mertdinç, Z., Demircan, E., Koca Çetinkaya, S., and Özçelik, B., 2023, Kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) milk substitute as a novel plant-based drink: Fatty acid profile, antioxidant activity, in-vitro phenolic bio-accessibility and sensory characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 83 (December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103254>.
- Aydar, E. F., Sağdıç, O., and Işık, M., 2020, *Emerging technologies in food processing: Impact on product quality and processing parameters*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 64, 102405.
- Aydogdu, T., O'Mahony, J. A., and McCarthy, N. A., 2023, pH, the Fundamentals for Milk and Dairy Processing: A Review. *Dairy*, 4(3), 395–409. <https://doi.org/10.3390/dairy4030026>.
- Azoubel, P. M., Baima, M. do A. M., Amorim, M. da R., and Oliveira, S. S. B., 2010, Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 194–198. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.009>.

- Babolanmogadam, N., Gandomi, H., Akhondzadeh Basti, A., and Taherzadeh, M. J., 2022, Nutritional, functional, and sensorial properties of oat milk produced by single and combined acid, alkaline, α -amylase, and sprouting treatments. *Food Science and Nutrition*, November 2022, 2288–2297. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3171>.
- Badıllı, A. G., 2020, *Yağı azaltılmış fonksiyonel dondurma üretiminde süttozu yerine nohut ununun kullanılabilme olanaklarının araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi 108.
- Baeghbali Vahid and Niakousari M.N., 2018, *A review on mechanism, quality preservation and energy efficiency in Refractance Window drying: a conductive hyd.* 6.
- Baixauli, R., Salvador, A., Hough, G., and Fiszman, S. M., 2008, Comparative analysis of texture and acceptability of soy-based and dairy-based desserts. *Journal of Food Science*, 73(4), S175–S180. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00732.x>.
- Baker, K., and Flatman, S., 2007, Protein Analysis. In *Medicines from Animal Cell Culture*. <https://doi.org/10.1002/9780470723791.ch23>.
- Barac, M., Cabrilo, S., Pesic, M., Stanojevic, S., Zilic, S., and Macej, O., 2015, Functional properties of chickpea protein isolates and flour. *Food Research International*, 67, 107–112.
- Bartkiene, E., Juodeikiene, G., Basinskiene, L., Vidmantiene, D., and Saka, M., 2012, Application of extruded and fermented soy in wheat bread production. *Food and Nutrition Sciences*, 3(10), 1416–1423.
- Baysal, T., 2011, *Non-thermal food processing technologies: Ultrasound, infrared, and microwave methods*. *Food Technology and Biotechnology*, 49(2), 120–126.
- Bern, C. J., Flores, R. A., and Steele, J. L., 2015, Particle size analysis of food powders using laser diffraction. *Powder Technology*, 286, 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.08.005>.
- Bernat, N., Cháfer, M., Rodríguez-García, J., Chiralt, A., & González-Martínez, C., 2015, Effect of high pressure homogenisation and heat treatment on physical properties and stability of almond and hazelnut milks. *Lwt*, 62(1), 488–496.

- <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.045>.
- Bhandari, B. R., and Howes, T., 2005, Implication of glass transition for the drying and stability of food powders. *Drying Technology*, 23(4), 695–715. <https://doi.org/10.1081/DRT-200054142>.
- Bernat, N., Cháfer, M., Rodríguez-García, J., and Barat, J. M., 2021, Plant-based milks: composition, physicochemical characteristics and processing methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(7), 1000–1015. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1657259>.
- Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., and Schuck, P., 2013, Handbook of Food Powders: Processes and Properties. In *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*. <https://doi.org/10.1533/9780857098672>.
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., and Sharanagat, V. S., 2021, Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70(July 2020), 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>.
- Bianchi, F., Rossi, E. A., Gomes, R. G., and Sivieri, K., 2015, Potentially synbiotic fermented beverage with aqueous extracts of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and soy. *Food Science and Technology International*, 21(6), 403–415. <https://doi.org/10.1177/1082013214540672>.
- Bhargava, P., Singh, R., and Gupta, N., 2021, *Low-temperature processing advantages for heat-sensitive food products*. *Food Engineering Reviews*, 13(2), 150–158.
- Bocker, R., and Silva, E. K., 2022, Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 5(November 2021), 100098. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100098>.
- Bozdoğan, N., 2015, Hidrokolloid ve diyet lifi kullanımının hamur reolojisi ve kek kalitesi üzerine olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Brennan, C. S., Cleary, L. J., and Dunne, A., 2008, The impact of β -glucan-rich fractions from oat and barley on the physical and sensory characteristics of wheat

- bread. *Food Chemistry*, 107(2), 455–462.
- Bridges, M., 2018, Moo-ove over, cow's milk: The rise of plant-based dairy alternatives. *Practical Gastroenterology*, 42(1), 20–27.
- Brückner-Gühmann, M., Banovic, M., and Drusch, S., 2019, Towards an increased plant protein intake: Rheological properties, sensory perception and consumer acceptability of lactic acid fermented, oat-based gels. *Food Hydrocolloids*, 96 (November 2018), 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.016>.
- Bruno, L., 2019, Introduction to Food Processing Engineering. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <http://link.springer.com/10.1007/978-94-010-9337-8>.
- C'anovas, G. V. B., 2005, *Food Powders Physical Properties, Processing, and Functionality*. Springer.
- Çakır, N., 2018, *Bazı değirmencilik yan ürünlerinin kek üretiminde kullanımı* (Vol. 3, Issue 2).
- Cameron, M., McMaster, L. D., and Britz, T. J., 2009, Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Science and Technology*, 89(1), 83–98. <https://doi.org/10.1051/dst/2008037>.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., and Cal-Vidal, J., 2005, Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>.
- Cárcel, J. A., Benedito, J., Rosselló, C., and Mulet, A., 2007, Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 472–479. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.018>.
- Castoldi, M., Zotarelli, M. F., Durigon, A., Carciofi, B. A. M., and Laurindo, J. B., 2015, Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. *Drying Technology*, 33(12), 1463–1473. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.989327>
- Çelik, S., ve Kotancılar, H. G., 1998, *Unlu mamuller teknolojisi*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.
- Çelen, E. Ç., 2018, *Dondurarak Mantar Kurutma*. Yüksek lisans tezi,. Gazi

Üniversitesi Fen. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

- Çelen, S., and Kahveci, K., 2013, Microwave drying behaviour of apple slices. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 227(4), 264–272. <https://doi.org/10.1177/0954408912464729>.
- Çelik, I., Yılmaz, Y., Işık, F., and Üstün, Ö., 2007, Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. *Food Chemistry*, 101(3), 907–911. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.063>.
- Çınar, T., 2018, *Kek formülasyonunda farklı hidrokolloidlerin etkisi*. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Chalupa-Krebzdak, S., Long, C. J., and Bohrer, B. M., 2018, Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International Dairy Journal*, 87, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.07.018>.
- Chauhan, A., Saxena, D. C., and Singh, S., 2015, Total dietary fiber 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.
- Chemat, F., Zill-E-Huma, and Khan, M. K., 2011, Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>.
- Chen, X., Xu, X., & Zhou, G., 2016, Potential of high pressure homogenization to solubilize chicken breast myofibrillar proteins in water. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.012>.
- Chen, H., Zhao, Y., and Wu, J., 2019, Effect of drying methods on the properties of oat powder. *Food Science and Technology International*, 25(7), 563–572. <https://doi.org/10.1177/1082013219853644>.
- Cheng, L. H., Soh, C. Y., Liew, S. C., and Teh, F. F., 2007, Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chemistry*, 104(4), 1396–1401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.02.001>.
- Cherreddy, N. R., Manohar, B., and Rao, P. G., 2013, FTIR study of structural changes

- in starch during infrared drying. *Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 877–881. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0398-2>.
- Chew, S. C., Tan, T. B., and Nyam, K. L., 2019, Physicochemical and hygroscopic properties of spray-dried soymilk powder as affected by different carriers. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 2984–2992. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03768-7>.
- Chung, Y. S., & Kim, D. J., 2009, Quality characteristics of sponge cake with Pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp *chinensis* Jusl.) powder. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 38(7), 914–919. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2009.38.7.914>.
- Chung, Y. S., Kwak, Y. H., Lee, M. N., and Kim, D. J., 2009, Quality characteristics of sponge cake with Erythritol. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 38(11), 1606–1611. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2009.38.11.1606>.
- Clune, S., Crossin, E., and Verghese, K., 2017, Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766–783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>.
- Collard, K. M., & McCormick, D. P., 2021, A Nutritional Comparison of Cow's Milk and Alternative Milk Products. *Academic Pediatrics*, 21(6), 1067–1069. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2020.12.007>.
- Costa, H. C. de B., Siguemoto, É. S., Cavalcante, T. A. B. B., de Oliveira Silva, D., Vieira, L. G. M., and Gut, J. A. W., 2021, . Effect of microwave-assisted processing on polyphenol oxidase and peroxidase inactivation kinetics of açai-berry (*Euterpe oleracea*) pulp. *Food Chemistry*, 341(October 2020), 128287. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128287>.
- Cruz, N., Capellas, M., Hernández, M., Trujillo, A. J., Guamis, B., and Ferragut, V., 2007, Ultra high pressure homogenization of soymilk: Microbiological, physicochemical and microstructural characteristics. *Food Research International*, 40(6), 725–732. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.01.003>.
- Cuq, B., Mandato, S., Jeantet, R., Saleh, K., and Ruiz, T., 2013, Agglomeration/granulation in food powder production. In *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*. Woodhead Publishing Limited.

<https://doi.org/10.1533/9780857098672.1.150>.

- Datta, A. K., 2001, Microwave and radio frequency processing. *Journal of Food Science*, 66(s1), 32–41. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15547.x>.
- Desai, A. D., Kulkarni, S. S., Sahoo, A. K., Ranveer, R. C., and Dandge, P. B., 2010, Effect of supplementation of malted ragi flour on the nutritional and sensorial quality characteristics of cake. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(1), 67–71.
- Demir, M. K., Kaya, A., and Şahin, S., 2020, The effect of fat type on quality characteristics of cake. *Food Science and Technology*, 40(2), 348–354. <https://doi.org/10.1590/fst.10319>.
- Deswal, A., Deora, N. S., and Mishra, H. N., 2014, Effect of concentration and temperature on the rheological properties of oat milk. *Food and Bioprocess Technology*, 7(8), 2451–2459. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1332-8>.
- Dev, S. R. S., Gariépy, Y., Orsat, V., and Raghavan, G. S. V., 2010, Modeling and simulation of microwave heating of in-shell eggs. *Progress In Electromagnetics Research M*, 13, 229–243. <https://doi.org/10.2528/PIERM10072609>
- Dhokal, S., Liu, C., Zhang, Y., Roux, K. H., Sathe, S. K., and Balasubramaniam, V. M., 2014, Effect of high pressure processing on the immunoreactivity of almond milk. *Food Research International*, 62, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.021>.
- Dizlek, H., 2013, Ekmek ve kek üretiminde kullanılan süt tozlarının ürün kalitesi üzerine etkileri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 16–23.
- Díaz, O., Ferreiro, T., Rodríguez-Otero, J. L., and Cobos, Á., 2019, Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour films: Effects of pH and plasticizer concentration. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5). <https://doi.org/10.3390/ijms20051246>.
- Dlamini, N. R., Taylor, J. R. N., and Rooney, L. W., 2007, The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of sorghum-based foods. *Food Chemistry*, 105(4), 1412–1419.
- Doblado, R., Frias, J., and Vidal-Valverde, C., 2007, Changes in vitamin C content

- and antioxidant capacity of raw and germinated cowpea (*Vigna sinensis* var. *carilla*) seeds induced by high pressure treatment. *Food Chemistry*, 101(3), 918–923.
- Dobooğlu, A., 2012, *Dondurarak kurutma (freeze drying) yöntemi ve gıda sanayindeki uygulamaları* (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Eren, Ö., Bulut, H., and Demirtaş, Y., 2016, *The designing and experimental analysis of a freeze drying system assisted with heat pump*. 4. Ulusal Elektrik, Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı (UEMK 2016), Gaziantep, Türkiye, 628–642.
- Ergün, K., 2012, *Dondurularak kurutulmuş kivi püresi tozu kullanılarak hazırlanan keklerde pişirmeye yöntemi ve formülasyonun kalite kriterleri etkisini incelenmesi*. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Erol, H., 2020, Badem sütünden ballı ve muzlu kefir üretimi. *Kaos GL Dergisi*, 8(75), 80.
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798>
<https://doi.org/10.1016/j.smr.2020.02.002>
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049>
<http://doi.wiley.com/10.1002/anie>.
- Ertaş, N., 2021, Improving the cake quality by using red kidney bean applied different traditional processing methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15527>.
- Ertaş, N., 2012, Effect of different debittering processes on mineral and phytic acid content of lupin (*Lupinus albus* L.) seeds. *J Food Sci Technol*.
- Esfahlan, A. J., Jamei, R., and Esfahlan, R. J., 2010, The importance of almond (*Prunus amygdalus* L.) and its by-products. *Food Chemistry*, 120(2), 349–360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.063>.
- Euston, S. R., Finnigan, S. R., & Hirst, R. L., 2001, Heat-induced destabilization of oil-in-water emulsions formed from hydrolyzed whey protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5576–5583. <https://doi.org/10.1021/jf0102620>.
- Fardet, A., 2010, New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? *Nutrition Research Reviews*, 23(1), 65–134.

- Fenn, D., Lukow, O. M., Humphreys, G., Fields, P. G., and Boye, J. I., 2010, Wheat-legume composite flour quality. *International Journal of Food Properties*, 13(2), 381–393. <https://doi.org/10.1080/10942910802571729>.
- Feng, Y., Cai, Y., and Wang, C., 2022, Microwave processing of plant-based foods: Effects on microstructure and functional properties. *Food and Bioprocess Technology*, 15(4), 821–833. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02691-7>.
- Köksel, F. H., 2009, *Effects of xanthan and guar gums on quality and staling* (Issue February). Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Tez Merkezi
- Gamez-Meza, N., Noriega-Rodriguez, J. A., Medina-Juarez, L. A., Ortega-Garcia, J., Cazarez-Casanova, R. and Angulo-Guerrero, O., 1999, Antioxidant activity in soybean oil of extracts from Thompson grape bagasse. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(12), 1445–1447. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0182-4>.
- Gangopadhyay, N., Hossain, M. B., Rai, D. K., & Brunton, N. P., 2015, A review of extraction and analysis of bioactives in oat and barley and scope for use of novel food processing technologies. *Molecules*, 20(6), 10884–10909. <https://doi.org/10.3390/molecules200610884>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., and Saurel, R., 2007, Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., & Fernández, E., 2008, Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *Lwt*, 41(9), 1701–1709. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.024>.
- Goyal, S., Nagar, S., Mallesh, G., Kumari, K., and Kharor, N., 2022, Chemical Science Review and Letters A Review on Role of Phytic Acid and Phytase in Food and Feed. *Chem Sci Rev Lett*, 2022(44), 510–518. <https://doi.org/10.37273/chesci.cs205311546>.
- Gözükara, Ö. İ., 2013, Fizikokimyasal ve Sorpsiyon Özellikleri üzerine kurutma metodlarının etkisi ve balkabağı tozunun kek üretiminde kullanımı. In *Balkabağı Tozunun* (Vol. 26, Issue 4).

- Grasso, S., Sutcliffe, M., and Brunton, N. P., 2020, Quality and sensory evaluation of high-protein bakery products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(3), 326–340. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1520458>.
- Greiner, R., and Konietzny, U., 2006, Phytase for food application. *Food Technology and Biotechnology*, 44(2), 125–140.
- Grundy, M. M. L., Fardet, A., Tosh, S. M., Rich, G. T., and Wilde, P. J., 2018, Processing of oat: The impact on oat's cholesterol lowering effect. *Food and Function*, 9(3), 1328–1343. <https://doi.org/10.1039/c7fo02006f>.
- Gul, O., Saricaoglu, F. T., Mortas, M., Atalar, I., and Yazici, F., 2017, Effect of high pressure homogenization (HPH) on microstructure and rheological properties of hazelnut milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41(March), 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.002>.
- Gulzar, N., Benjakul, S., and Prodpran, T., 2021, Ultrasonic processing in food industry: A review of food quality, functionality, and safety. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>.
- Güner Özkan, K., 2017, *Fındık Hammaddesinden Püskürtmeli Kurutma ve Dondurarak Kurutma Yöntemleri ile Fındık Sütü Tozu Eldesi ve Karakterizasyonu*.
- Gupta, M., Bawa, A. S., and Semwal, A. D., 2009, Effect of barley flour incorporation on the instrumental texture of sponge cake. *International Journal of Food Properties*, 12(1), 243–251. <https://doi.org/10.1080/10942910802312082>.
- Gupta, S., Lakshmi, A. J., and Prakash, J., 2011, Effects of dehydration on nutrient and antinutrient profile of underutilized green leafy vegetables. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(4), 360–366.
- Güzel-Seydim, Z. B., Seydim, A. C., and Greene, A. K., 2007, Evaluation of natural antimicrobial compounds and their combinations against *Listeria monocytogenes* on vacuum-packaged turkey slices. *Journal of Food Safety*, 27(4), 345–359.
- Hari Purnomo, E., B. Sitanggang, A., S. Agustin, D., Hariyadi, P., and Hartono, S., 2012, Formulation and process optimization of muffin produced from composite flour of corn, wheat and sweet potato. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 23(2), 165–172. <https://doi.org/10.6066/jtip.2012.23.2.165>.

- Haug, W., and 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(12), 1423–1426. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740341217>.
- He, C., Zheng, J., Liu, F., Woo, M. W., Xiong, H., & Zhao, Q. (2020). Fabrication and characterization of oat flour processed by different methods. *Journal of Cereal Science*, 96(October), 103123. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103123>
- He, S., ve Hekmat, S., 2014, Sensory evaluation of non-dairy probiotic beverages. *Food Res Int*, 4(1): 186.
- Hedayati, S., and Mazaheri Tehrani, M., 2018, Effect of total replacement of egg by soymilk and lecithin on physical properties of batter and cake. *Food Science and Nutrition*, 6(4), 1154–1161. <https://doi.org/10.1002/fsn3.656>.
- Hernández-carrión, M., Moyano, M., and Ximena, M., 2020, *Design of high-oleic palm oil nanoemulsions suitable for drying in refractance window™*. November, 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15076>.
- Hesam, F., Balali, G. R., and Tehrani, R. T., 2012, Evaluation of antioxidant activity of three common potato (*Solanum tuberosum*) cultivars in Iran. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 2(2), 79. [/pmc/articles/PMC4075666/](https://doi.org/10.1007/s12010-012-0079-0).
- Hler, T. İ., Yönel, İ. N. E., Tirma, İ. K. A. R. A. Ş., Büyük, Z., & Uca, S., 2023, *Veganların beslenme alış kanlıkları ve bitkisel bazlı süt tercihlerine yönelik araştırma. Zülal Büyük Selda UCA. October 2024.*
- Hongyu, W., Hulbert, G. J., and Mount, J. R., 2000, Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1(3), 211–218. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00020-5).
- Høst, A., 2002, Frequency of cow's milk allergy in childhood. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 89(6 SUPPL. 1), 33–37. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62120-5](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62120-5).
- Huang, L. X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., and Wang, Y., 2009, Influence of vacuum freeze drying on microstructure and antioxidant properties of Chinese herbal medicine. *Drying Technology*, 27(5), 621–628. <https://doi.org/10.1080/07373930902818400>.

- Inglett, G. E., Chen, D., Berhow, M., and Lee, S., 2013, Antioxidant activity of commercial oat products. *Food Chemistry*, 137(1-4), 426–431.
- Isearin SJ; Pemadi B., 2012, Coconut milk's fat breaking by means of ultrasound. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 12(February), 1. http://ijens.org/Vol_12_I_01/120101-8686-IJBAS-IJENS.pdf.
- Jain, P., Yadav, D. N., Rajput, H., & Bhatt, D. K., 2013, Effect of pressure blanching on sensory and proximate composition of peanut milk. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 605–608. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0373-5>.
- Jaya, S., and Das, H., 2004, Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 125–134. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00295-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00295-9).
- Jayasena, V., Nasar-Abbas, S. M., and Egan, N., 2010, Lupin flour incorporation into instant noodles: nutritional and sensory characteristics. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 1906–1912.
- Jayasundera, M., Adhikari, B., Aldred, P., and Chen, X. D., 2011, Surface modification of spray dried food and dairy powders to improve surface related quality attributes. *Drying Technology*, 29(10), 1114–1121. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.586641>.
- Jarpa-Parra, M., Yuan, Y., Zhang, P., Pei, J., Francisco, B., and Wu, J., 2017, Lentil protein concentrates developed by isoelectric precipitation and ultrafiltration: a comparative study. *Food Research International*, 99, 647–655.
- Jemaa, M. Ben, Gamrab, R., Falleh, H., & Ksouri, R., 2023, *Current perspectives on medicinal and aromatic plants*. 6, 1–6.
- Jeong, J. H., Hong, S. Y., Cho, J. S., Cho, D. H., and Park, E. Y., 2022, Impact of enzyme modification on physicochemical properties of oat flake and starch. *Starch/Staerke*, 74(7–8), 1–8. <https://doi.org/10.1002/star.202100292>.
- Jeske, S., Bez, J., Arendt, E. K., and Zannini, E., 2019, Formation, stability, and sensory characteristics of a lentil-based milk substitute as affected by homogenisation and pasteurisation. *European Food Research and Technology*,

245(7), 1519–1531. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03286-0>.

Jeske, S., Zannini, E., and Arendt, E. K., 2017, Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 26–33. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0583-0>.

Jeske, S., Zannini, E., and Arendt, E. K., 2018, Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International*, 110, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.045>.

Jeske, S., Zannini, E., Cronin, M. F., and Arendt, E. K., 2018, Impact of protease and amylase treatment on proteins and the product quality of a quinoa-based milk substitute. *Food and Function*, 9(6), 3500–3508. <https://doi.org/10.1039/c8fo00336j>.

Jin, Q., and Kirk, M. F., 2018, pH as a primary control in environmental microbiology: 1. thermodynamic perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 6(MAY), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00021>.

Jinapong, N., Suphantharika, M., and Jamnong, P., 2008, Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032>.

Jogihalli, P., Singh, L., and Sharanagat, V. S., 2017, Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). *Lwt*, 79, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.047>.

Joshi, S., Bathla, S., Singh, A., Sharma, M., Stephen Inbaraj, B., and Sridhar, K., 2023, Development of mung bean (*Vigna radiate* L.)-based next-generation vegan milk: Processing, nutritional composition and quality attributes. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(2), 785–794. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16233>.

Kahvecioğlu, G. (2022). Bazı baklagil haşlama sularının köpük oluşturma potansiyelinin belirlenerek kek üretiminde baklagil haşlama suyu kullanım olanaklarının araştırılması Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü

Kaleem, M. A., Alam, M. Z., Khan, M., Jaffery, S. H. I., and Rashid, B., 2021, An

- experimental investigation on accuracy of Hausner Ratio and Carr Index of powders in additive manufacturing processes. *Metal Powder Report*, 76(xx), S50–S54. <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2020.06.061>.
- Karabulut, I., Yılmaz, M., and Demir, T., 2021, Effect of cellulase enzyme on extraction efficiency and nutritional properties of almond milk. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1782–1789. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-04876-9>.
- Karağaoğlu, N., 2008, *Beslenme ilkeleri ve besinler*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Karimidastjerd, A., and Kilic-Akyılmaz, M., 2021, Formulation of a low-protein rice drink fortified with caseinomacropptide concentrate. *Food and Bioprocess Processing*, 125, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.11.004>.
- Kaya, R., ve Demirtaş, N., 2020, Amarant unu ilavesinin keklerin renk özellikleri ve depolama süreci boyunca değişimleri üzerine etkisi. *Gıda ve Beslenme Araştırmaları Dergisi*, 28(2), 134–142.
- Kaur, M., & Singh, N., 2017, Studies on baking properties of blends of wheat flour and soybean flour. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1171–1178. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2523-0>.
- Kaur, M., and Sandhu, K. S., 2020, Formulation and quality evaluation of cakes prepared using legume milk powders. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), e15012. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15012>.
- Khampakool, A., Soisungwan, S., & Park, S. H., 2019, LWT - Food Science and Technology Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks : Drying kinetics , energy consumption , and texture. *LWT - Food Science and Technology*, 99(September 2018), 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.081>.
- Khattab, R. Y., and Arntfield, S. D., 2009, Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments. Part 1: Protein quality evaluation. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1113–1118.
- Khuenpet, K., Wongpiyachon, S., and Limsangouan, N., 2016, Application of rice milk as an alternative to cow milk in cake making. *International Food Research*

Journal, 23(6), 2426–2432.

- Kim, M.-K., Lee, E.-J., and Kim, K.-H., 2014, Effects of Helianthus tuberosus Powder on the Quality Characteristics and Antioxidant Activity of Rice Sponge Cakes. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, 29(2), 195–204. <https://doi.org/10.7318/kjfc/2014.29.2.195>.
- Kırbaç, M., Kumral, A., and Cengiz, S., 2019, Effects of apple, orange and carrot pomace powder on quality characteristics of cake. *Food Science and Technology*, 39(Suppl 2), 424–431.
- Kishor, K., David, J., Tiwari, S., and Singh, A., 2018, *Nutritional Composition of Chickpea (Cicer arietinum) Milk Nutritional Composition of Chickpea (Cicer arietinum) Milk. International Journal of Chemical Studies*, 5(4), 1941–1944.
- Koç, M., Koç, B., Güngör, Ö., and Ertekin, F. K., 2012, *The Effects of Moisture on Physical Properties of Spray-Dried Egg Powder The Effects of Moisture on Physical Properties of Spray-Dried Egg Powder*. 3937. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.651546>.
- Korthals, M., 2002, the Struggle Over Functional Foods : *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 315–324.
- Ktenioudaki, A., and Gallagher, E., 2012, Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends in Food Science & Technology*, 28(1), 4–14.
- Lebesi, D. M., & Tzia, C., 2011, Effect of the Addition of Different Dietary Fiber and Edible Cereal Bran Sources on the Baking and Sensory Characteristics of Cupcakes. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 710–722. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0181-3>.
- Lee, H., & Kim, S., 2019, Improvement of lipid extraction and nutritional quality in soy milk by lipase enzyme application. *Food Chemistry*, 295, 431–437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.023>.
- Lee, J., Seong, Y., Jeong, B., Yoon, S., Lee, I., and Jeong, Y., 2009, Quality characteristics of sponge cake with black garlic powder added. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 38(9), 1222–1228. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2009.38.9.1222>.

- Lee, W. J., and Paquin, P., 2020, Foam stability in dairy and non-dairy systems: The role of proteins and lipids. *International Dairy Journal*, 104, 104658. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104658>.
- Li, Y. Q., Tian, W. L., Mo, H. Z., Zhang, Y. L., and Zhao, X. Z., 2013, Effects of Pulsed Electric Field Processing on Quality Characteristics and Microbial Inactivation of Soymilk. *Food and Bioprocess Technology*, 6(8), 1907–1916. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0868-8>.
- Lim, E., Lee, H., & Lee, Y. (2010). Quality characteristics of sponge cake supplemented with broccoli. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 20(6).
- Lin, S., Huff, H. E., & Hsieh, F., 2017, Texture and sensory characteristics of soy protein isolate and monoglyceride based cakes. *Journal of Food Science*, 82(2), 429–436. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13602>.
- Liu, H. H., and Kuo, M. I., 2016, Ultra high pressure homogenization effect on the proteins in soy flour. *Food Hydrocolloids*, 52, 741–748. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.018>.
- Lopes, M. A., Ferreira, C. L., and Santos, R. T., 2020, *Functional properties of legume-based milk substitutes: A focus on chickpea milk*. *Journal of Plant Foods and Human Nutrition*, 75(4), 354–362.
- Lu, T. M., Lee, C. C., Mau, J. L., and Lin, S. D., 2010, Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food Chemistry*, 119(3), 1090–1095. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.015>.
- Lu, H., Liu, F., Xu, Y., and Ma, C., 2019, Influence of high-intensity ultrasound on the physicochemical properties of corn starch–coconut milk composite systems. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.002>.
- Madenci, B., and Bilgiçli, N., 2012, Effect of whey protein concentrate and buttermilk powders on rheological properties of dough and mineral contents of lavash. *Food and Nutrition Sciences*, 3, 1090–1094.
- Madenci, A. B., and Bilgiçli, N., 2014, Effect of Whey Protein Concentrate and Buttermilk Powders on Rheological Properties of Dough and Bread Quality.

- Journal of Food Quality*, 37(2), 117–124. <https://doi.org/10.1111/jfq.12077>.
- Madenci, A. B., and Bilgiçli, N., 2015, Effects of various legume flours on the quality characteristics of gluten-free cake. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7(3), 377–383.
- Maghsoudlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., and Shahraki, M. H., 2016, Optimization of Ultrasound-Assisted Stabilization and Formulation of Almond Milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 828–839. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12661>.
- Mahanti, N. K., 2021, *Refractance window drying: Fundamentals, equipment, and product applications*. In C. M. Galanakis (Ed.), *Innovative Drying Technologies for the Food Industry* (pp. 123–145). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822410-6.00007-2>.
- Majzoobi, Mahsa, Pashangeh, S., & Farahnaky, A., 2013, Effect of different particle sizes and levels of wheat bran on the physical and nutritional quality of sponge cake. *International Journal of Food Engineering*, 9(1), 29–38. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2012-0160>.
- Majzoobi, M., Hedayati, S., Habibi, M., Ghiasi, F., and Farahnaky, A., 2014, Effects of corn resistant starch on the physicochemical properties of Cake. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), 569–576.
- Majzoobi, M., Vosooghi Poor, Z., Jamalian, J., and Farahnaky, A., 2016, The effect of hydrocolloids on the properties of sponge cake. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 13(1), 75–85.
- Mäkinen, Outi E., Uniacke-Lowe, T., O'Mahony, J. A., and Arendt, E. K., 2015, Physicochemical and acid gelation properties of commercial UHT-treated plant-based milk substitutes and lactose free bovine milk. *Food Chemistry*, 168, 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.036>.
- Mäkinen, Outi Elina, Wanhalinna, V., Zannini, E., and Arendt, E. K., 2016, Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>.
- McClements, D. J., Newman, E., and McClements, I. F., 2019, Plant-based milks: A

- review of the science underpinning their design, fabrication, and performance. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 2047–2067. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12505>.
- Mandalari, G., Tomaino, A., Arcoraci, T., Martorana, M., Lo Turco, V., Cacciola, F., and Bisignano, G., 2010, Characterization of polyphenols, lipids and dietary fibre from almond skins (*Amygdalus communis* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(2), 166–174.
- Mandala, I. G., 2005, Viscoelastic properties of batters containing different types of egg proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(3), 372–378.
- Manzoor, M. F., Zeng, X. A., Ahmad, N., Ahmed, Z., Rehman, A., Aadil, R. M., Roobab, U., Siddique, R., and Rahaman, A., 2020, Effect of pulsed electric field and thermal treatments on the bioactive compounds, enzymes, microbial, and physical stability of almond milk during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), 1–14. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14541>.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M. C., and Lerici, C. R., 2001, Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9–10), 340–346. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-6).
- Marcet, I., Martínez de Marañón, I., and María Porras, J., 2015, Influence of fat and protein contents on cake texture and sensory characteristics. *Food and Bioprocess Technology*, 8(9), 1980–1987. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1546-5>.
- Marchesini, G. R., Delva, L., and Goderis, B., 2015, Ultrasound treatment effects on oil droplet size in plant-based milk: Case of peanut milk. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1072–1079. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.027>.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Mugerza, B., Moulay, L., and Fiszman, S. M., 2011, Cocoa fibre and its application as a fat replacer in chocolate muffins. *Lwt*, 44(3), 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.035>.
- Martínez-Villaluenga, C., and Peñas, E., 2017, Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms. *Current Opinion in Food Science*, 14, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.004>.

- Martínez Ochoa., 2012, Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *Journal of Food Engineering*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032>.
- Martins, Z. E., Pinho, O., and Ferreira, I. M. P. L. V. O., 2019, Alternative protein sources in the diet: From insects to plant-based meat analogues. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(17), 2581–2593.
- Maskan, M , 2001, Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177–182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2).
- Masoodi, F. A., Sharma, B., and Chauhan, G. S., 2002, Use of apple pomace as a source of dietary fiber in cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57(2), 121–128. <https://doi.org/10.1023/A:1015264032164>.
- Mason, T. J., Paniwnyk, L., and Lorimer, J. P., 2005, The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 12(5), 435–440. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2004.01.007>.
- Masters, K., 2002, *Spray drying handbook* (5th ed.). Springer.
- Meral, R., Sait Doğan, İ., ve Saydan Kanberoğlu, G., 2012, Fonksiyonel gıda bileşeni olarak antioksidanlar. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2(2), 45–50.
- Mercan, N. (1988). Kek kalitesi üzerinde bazı emülgatörlerin etkilerinin araştırması [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü.
- Miguel, M. G. C., Saraiva, J. A., Neves, M. F., and Sousa, M. J., 1999, The influence of sweet potato on the quality of gluten-free bakery products. *Food and Nutrition Bulletin*, 20(3), 249–255.
- Mildner-Szkudlarz, S., Bajerska, J., Zawirska-Wojtasiak, R., and Górecka, D., 2013, White grape pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on physical and nutraceutical characteristics of wheat biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 389–395.

- Mir, S. A., Bosco, S. J. D., and Shah, M. A., 2017, Effect of oat flour on quality characteristics of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.01.001>.
- Mishra, P., Sinha, R., & Meena, R., 2018, Effect of coconut milk addition on functional properties of cake batter and cake quality. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 1995–2004. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.242>.
- Mohamed, A. A., Xu, B., and Wang, Y., 2020, Banana powder incorporated sponge cake: Effects on quality and nutritional attributes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3), e14347.
- Moraga, G., Talens, P., and Moraga, M. J., 2011, Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*, 106(3), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.009>.
- Munekata, P. E. S., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Mallikarjunan, K., Roohinejad, S., and Lorenzo, J. M., 2020, Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and quality of non-dairy plant-based beverages. *Foods*, 9(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods9030288>.
- Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Leong, T. S. H., Gamlath, C. J., Martin, G. J. O., and Ashokkumar, M., 2019, Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 57(July), 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102192>.
- Yadav, D., 2017, Plant Based Dairy Analogues: An Emerging Food. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal*, 10(2). <https://doi.org/10.19080/artoaj.2017.10.555781>.
- Nadeem, M., Ubaid, N., Qureshi, T. M., Munir, M., & Mehmood, A., 2018, Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant properties on carrot-grape juice blend during storage. *Ultrasonics Sonochemistry*,

- 45, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.034>.
- Nakov, G., Brandolini, A., Hidalgo, A., Ivanova, N., Stamatovska, V., and Dimov, I., 2020, Effect of grape pomace powder addition on chemical, nutritional and technological properties of cakes. *Lwt*, 134(April), 109950. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109950>.
- Namiki, M., 2007, Nutraceutical functions of sesame: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(7), 651–673. <https://doi.org/10.1080/10408390600919114>.
- Navarrete, A., Mato, R. B., and Cocero, M. J., 2012, A predictive approach in modeling and simulation of heat and mass transfer during microwave heating . Application to SFME of essential oil of Lavandin Super. *Chemical Engineering Science*, 68(1), 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2011.09.026>.
- Ngadi, M. O., and Fayyaz, A., 2010, *Application of ultrasound technology in food processing: Frequency and power effects*. *Journal of Food Engineering*, 97(3), 247–254.
- Ngöl, G. B. İ., ve Devres, Y. O., 2010, *Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi*. *İTÜ Dergisi D: Mühendislik*, 9(4), 63–71. 212, 63–71.
- Nielsen, S. S., 2017, *Total Carbohydrate by Phenol-Sulfuric Acid Method*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6_14.
- Nindo, C. I., 2007, Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. In R. C. Schmidt & M. C. Heldman (Eds.), *Food Processing Operations and Scale-up* (pp. 137–168). CRC Press.
- Noğay, O., 2014, *Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Nar Çekirdek Tozlarının Muffin Kek Kalite Özelliklerine Etkisi Yüksek*. Pamukkale Üniversitesi Fen.
- Oatley, J., Sabikhi, L., and Mathur, B. N., 2018, Effect of oat milk powder on physicochemical and functional characteristics of cake. *LWT - Food Science and Technology*, 96, 471–478.
- Okyere, A. A., and Odamtten, G. T., 2014, Physicochemical, functional and sensory

- attributes of milk prepared from irradiated tiger nut (*Cyperus esculentus* L.). *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 7(4), 583–588. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.09.010>
- Olçay N., 2019, Farklı teknikler ile kurutulmuş kamkat meyvesinin, bisküvi ve kek üretiminde kullanım imkânları. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Bölümü.
- Omoni, A. O., and Aluko, R. E., 2005, Soybean foods and their benefits: Potential mechanisms of action. *Nutrition Reviews*, 63(8), 272–283. <https://doi.org/10.1301/nr.2005.aug.272-283>.
- Ortuño, C., Pérez-munuera, I., Puig, A., & Riera, E., 2010, Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Physics Procedia*, 3(1), 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.022>.
- Özboy, Ö., Elgün, A., & Köksel, H., 2019, Natural colorant-rich ingredients in baked goods: Effects on color and quality. *Journal of Food Quality*, 42(5), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2019/4321357>.
- Özçelik, M., 2012, Ülkemizde endüstriye üretimi olmayan bir makar çeşidinin mikrodalga-vakum kurutma teknolojisi kullanılarak üretisisteminin tasarlanması vişleti parametrelerini optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü.
- Özgören, E., and Yapar, A., 2022, Some physicochemical and sensory properties of muffin cakes enriched with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Flour. *Akademik Gıda*, 20(3), 244–252. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.1186935>.
- Öztürk, B., and Koç, M., 2015, The effect of kefir and yogurt powder on mineral bioavailability and phytic acid content in cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1231–1238.
- Park, E. Y., Kim, H. S., & Lim, S. T., 2018, Effect of soymilk and rice flour on the physicochemical properties of cakes. *Food Science and Biotechnology*, 27(1), 83–90. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0011-5>.

- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J., 2013, Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>.
- Paul, A. A., Kumar, S., Kumar, V., and Sharma, R., 2020, Milk Analog: Plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(18), 3005–3023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243>.
- Paulino, A. T., Simionato, J. I., Garcia, J. C., and Nozaki, J., 2011, Characterization of maltodextrin using FTIR and thermal analysis. *Carbohydrate Polymers*, 83(1), 348–354. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.044>.
- Penha, E. M., Carvalho, A. F., and Torres, A. G., 2021, *Emerging trends in plant-based milk production: A technological overview*. *Journal of Food Process Engineering*, 44(7), e13765.
- Pineli, L. L. O., Botelho, R. B. A., Zandonadi, R. P., Solorzano, J. L., de Oliveira, G. T., Reis, C. E. G., and Teixeira, D. da S., 2015, Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *Lwt*, 63(2), 1261–1267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.094>.
- Pérez, S., and Bertoft, E., 2010, The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. *Starch-Stärke*, 62(8), 389–420. <https://doi.org/10.1002/star.201000013>.
- Prat, L., Allaf, K., & Rouaud, O., 1996, Influence of particle morphology on flowability and compressibility of spray-dried powders. *Powder Technology*, 88(2), 123–130. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(95\)03020-3](https://doi.org/10.1016/0032-5910(95)03020-3).
- Purlis, E., 2010, Browning development in bakery products - A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008>.
- Qureshi, A., Ainee, A., Nadeem, M., Munir, M., Qureshi, T. M., & Jabbar, S., 2017, Effect of Grape Fruit Albedo Powder on the Physicochemical and Sensory Attributes of Fruit Cake. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 30(2), 185–193. <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2017/30.2.185.193>.

- Qureshi, T. M., Yousuf, B., and Ahmad, M., 2017, Utilization of grapefruit albedo powder as a functional ingredient in bakery products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(1), 360–367.
- Rahmati, T., and Tehrani, M. M., 2014, Influence of soy milk as an egg alternative on the quality of eggless cake. *Food Science & Nutrition*, 2(5), 476–482.
- Rahmati, N. F., and Mazaheri Tehrani, M., 2015, Replacement of egg in cake: Effect of soy milk on quality and sensory characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 574–582. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12263>.
- Rai, S. R., Pachisia, J., and Singh, S., 2018, A Study on the acceptability of plant-based milk and curd among the lactose intolerant people residing in kolkata. *International Journal of Health Sciences & Research (Www.Ijhsr.Org)*, 8(December), 12. www.ijhsr.org.
- Ratti, C., 2001, Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4).
- Ratnayake, W. S., Hoover, R., and Warkentin, T., 2011, Textural quality of cakes with alternative egg replacers. *Food Research International*, 44(1), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.027>.
- Ravindran, S., and Radhai, S.S., 2018, Extraction and standardization of indigenous oat milk. *International Journal of Current Advanced Research*, 7(8), 6–9.
- Raza, H., Ameer, K., Zaaboul, F., Sharif, H. R., Ali, B., Shoaib, M., Akhtar, W., and Zhang, L. (2019). Effects of ball-milling on physicochemical, thermal and functional properties of extruded chickpea (*Cicer arietinum* L.) powder. *CYTA - Journal of Food*, 17(1), 563–573. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1617352>.
- Rebello, C. J., Greenway, F. L., and Finley, J. W., 2014, A review of the nutritional value of legumes and their effects on obesity and its related co-morbidities. *Obesity Reviews*, 15(5), 392–407.
- Reddy, N. R., Sathe, S. K., and Salunkhe, D. K., 1982, Phytates in legumes and cereals. In *Advances in Food Research* (Vol. 28, Issue C). [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60110-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60110-X).

- Reyes, V. G., Marquez, M. E., and Caceres, E., 2016, Effect of soy flour and storage time on the color and antioxidant properties of bakery products. *Food Chemistry*, 210, 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.092>.
- Reyes-Jurado, F., Hernández-Carranza, P., and García-Almendárez, B., 2021, *Production and functional evaluation of plant-based milk alternatives: A review*. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(10), 5213–5224.
- Ricce, C., Rojas, M. L., Miano, A. C., Siche, R., and Augusto, P. E. D., 2016, Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89, 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.030>.
- Rincon, L., Braz Assunção Botelho, R., and de Alencar, E. R., 2020, Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *Lwt*, 128(April), 109479. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109479>.
- Rodríguez-Amaya, D. B., 2001, A guide to carotenoid analysis in foods. *International Life Sciences Institute Press*.
- Rojas, M. L., Kubo, M. T., Miano, A. C., and Augusto, P. E., 2022, Ultrasound processing to enhance the functionality of plant-based beverages and proteins. *Current Opinion in Food Science*, 48, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100939>.
- Roman, T. N., 2017, Turgay ipek farklı form ve oranlarda yerfıstığı ürünleri kullanılarak ev ve sanayi tipi kek üretiminin optimizasyonu. *Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Osmaniye-2017 Fen Bilimleri Enstitüleri Ortak Yüksek Lisans Programı Yüksek Lisans Tezi*.
- Ronda, F., Gómez, M., Blanco, C. A., and Caballero, P. A., 2005, Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chemistry*, 90(4), 549–555. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.023>.
- Ronda, F., Rivero, P., and Villanueva, M., 2014, Effects of milk substitution with plant-based beverages on batter properties and cake quality. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 481–487. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.007>.
- Rybak-Chmielewska, H., 2003, Honey. *Chemical and Functional Properties of Food*

- Saccharides*, 1(Volume 1), 73–80. <https://doi.org/10.7312/seir17116-004>.
- Saha, D., Nanda, S. K., and Yadav, D. N., 2019, Optimization of spray drying process parameters for production of groundnut milk powder. *Powder Technology*, 355, 417–424. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.066>.
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C. P., Ghazali, H. M., Bordbar, S., and Serjouie, A., 2015, Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability. *Food Chemistry*, 172, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.068>.
- Samborska, K., Budziak-Wieczorek, I., Matwijczuk, A., Witrowa-Rajchert, D., Gagoś, M., Gładyszewska, B., Karcz, D., Rybak, K., Jaskulski, M., Barańska, A., and Jedlińska, A., 2024, Powdered plant beverages obtained by spray-drying without carrier addition-physicochemical and chemometric studies. *Scientific Reports*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54978-x>.
- Samiha, A., 2015, *Effects of sweet potato on cake texture and sensory properties*. *Egyptian Journal of Food Science*, 43(2), 77–88.
- Sandberg, A. S., 1991, The effect of food processing on phytate hydrolysis and availability of iron and zinc. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 289, 499–508.
- Sanful, R. E., and Darko, S., 2010, Utilization of soy flour in the production of bread. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(8), 815–818.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., and Behgar, M., 2016, Quality attributes of sponge cake enriched with infrared-dried mushroom powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9320-0>.
- Satouf, M., and Köten, M., 2023, *Flour in production of rice and corn flour based gluten-free cupcake chia (Salvia hispanica L .) Pirinç ve Mısır Unu Bazlı Glutensiz Top Kek Üretim*. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology Usability of Chia (Salvia hispanica L .)*11(5), 897–904.
- Schürch, A., 1989, Oats in human nutrition. *Archiv Für Tierernährung*, 39(7), 603–610. <https://doi.org/10.1080/17450398909428330>.
- Shakiyan, H., 2015, *Soya unu ilavesinin keklerin fiziksel özellikleri üzerine etkisi*

.Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi.

- Shahidi, F., and Naczk, M., 1995, *Food phenolics: Sources, chemistry, effects and applications*. Technomic Publishing Company.
- Sharma, P., and Gujral, H. S., 2014, Effect of barley flour and freeze-dried onion on antioxidant properties of cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 301–307.
- Sharma, R., Rana, J. C., and Negi, R., 2017, . Nutritional and functional properties of chickpea and lentil flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68(7), 816–827.
- Sharma, P., Verma, A., and Srivastava, S., 2020, Enhancement of rice milk quality using amylase enzyme treatment: Effect on yield and microstructure. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 71(3), 310–318. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1717072>.
- Sharma, P., Gujral, H. S., & Singh, B., 2019, Impact of legume milk powders on color and structure of bakery products. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1823–1831. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14125>.
- Şeker1, Gökbulut, İ., Öztürk, S., ve Özboy, Ö., 2006, *Kayıslı lifinin kek üretiminde kullanımı*. 2, 729–732.
- Şeker, M., Bilgili, N., and Elgün, A., 2010, Effect of apricot kernel flour incorporation on the nutritional and sensory properties of biscuits. *Food and Nutrition Sciences*, 1(2), 81–86.
- Şen, L., and Okur, S., 2023, Effect of hazelnut type, hydrocolloid concentrations and ultrasound applications on physicochemical and sensory characteristics of hazelnut-based milks. *Food Chemistry*, 402(February 2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134288>.
- Senevirathne, M., Kim, S. H., Kim, Y. D., Oh, C. K., Oh, M. C., Ahn, C. B., Je, J. Y., Lee, W. W., and Jeon, Y. J., 2010, Effect of far-infrared radiation drying of citrus press-cakes on free radical scavenging and antioxidant activities. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.006>.

- Sethi, S., Tyagi, S. K., and Anurag, R. K., 2016, Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>.
- Sezgin, A., 2021, *Bitkisel sütlerin fonksiyonel özellikleri üzerine bir inceleme*. *Gıda Bilimi Dergisi*, 45(2), 123–135.
- Shahidi, F., and Ambigaipalan, P., 2018, Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 345–381. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-111317-095850>.
- Shende, D. and A. D., 2019, *Optimization study for refractance window drying process of Langra variety mango*. 10. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04101-0>.
- Shishegarha, F., Makhlof, J., and Ratti, C., 2007, *Freeze-drying characteristics of strawberries*. 3937. <https://doi.org/10.1081/DRT-120001370>.
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., and Ribeiro, B. D., 2020, Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131(December 2019), 108972. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972>.
- Silva, K., Lima, A. M., & Queiroz, A. J. M., 2021, Quality attributes of cakes prepared with oat milk powder. *Food Research International*, 140, 109976. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109976>.
- Skovgaard, N., 2009, Drying technologies in food processing. In *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 129, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.004>.
- Snir, B., Fishman, A., and Glusac, J., 2025, Chickpea-Based Milk analogue stabilized by transglutaminase. *Foods*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/foods14030514>
- Song, Y., Hwang, S., Qu, L. J., and Kang, K. (2012). 쌀가루를 첨가한 짬 케이크의 품질 특성. 22(6), 802–811.
- Sudha, M. L., Baskaran, V., and Leelavathi, K., 2007, Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104(2), 686–692. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.016>.

- Süfer, Ö., 2018, Tanelerinin mikrodalga -vakum kurutma tekniği kullanılarak kurutulmaışleminin. Mersin Üniversitesi.
- Sritham, E., and Gunasekaran, S., 2017, FTIR spectroscopy and chemometrics of fortified nonfat dried milk. *International Dairy Journal*, 66, 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.11.007>.
- Szczesniak, A. S., 1963, Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28(4), 385–389. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>.
- Talukdar, P., and Uppaluri, R. V. S., 2021, Process and product characteristics of refractance window dried *Curcuma longa*. *Journal of Food Science*, 86(2), 443–453. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15587> .
- Tan, Y., Chang, S. K., Zhang, Y., and Yu, J., 2021, A comprehensive review of almond (*Prunus dulcis*): Composition, processing, and potential health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(4), 546–567.
- Tang, C. H., Yang, X. Q., and Zhao, X. F., 2020 , Physicochemical and functional properties of plant proteins in relation to their application as novel food ingredients. *Food Hydrocolloids*, 109, 106145. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106145>.
- Tang, C. H., Zhang, Y. H., and Wen, Q. B., 2021, Enzymatic treatment improves foaming and emulsifying properties of plant-based milks: Case of almond milk. *LWT - Food Science and Technology*, 138, 110599. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110599>.
- Tao, Y., Li, D., Siong, W., Loke, P., Yang, X., Manickam, S., Xie, G., & Han, Y., 2021, Ultrasonics Sonochemistry Comparison between airborne ultrasound and contact ultrasound to intensify air drying of blackberry: Heat and mass transfer simulation , energy consumption and quality evaluation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 72(December 2020), 105410. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105410>.
- Tayel, S. A., Nagy, K. S., & Younes, O. S., 2012, *Dehydration of onion slices using Ir-*. 29(1), 409–428.
- Taylor, P., Sadikoglu, H., Ozdemir, M., Seker, M., Sadikoglu, H., Ozdemir, M., and

- Seker, M. , 2007, *Drying Technology : An international journal freeze-drying of pharmaceutical products : research and development needs freeze-drying of pharmaceutical products : research and development needs*. November 2012, 37–41. <https://doi.org/10.1080/07373930600734018>.
- Teruel, B. J., Tinini, R. C. R., Mencarelli, F., Oliveira, R. A., and Santiago, W. E., 2015, Technical innovation in dehydration process for wine quality. In *Drying and Energy Technologies*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19767-8_8.
- Teshigawara, M., 2001, *Structural design principles*. 271–314. https://doi.org/10.1142/9781848161672_0006.
- Tester, R. F., Qi, X., and Karkalas, J., 2006, Hydrolysis of native starches with amylases. *Animal Feed Science and Technology*, 130(1–2), 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.016>.
- Tester, Richard F., and Karkalas, J., 1996, Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry*, 73(2), 271–277.
- Teunou, E., Fitzpatrick, J. J., and Synnott, E. C., 1999, Characterization of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 39(1), 31–37. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00140-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00140-X).
- Tholstrup Sejersen, M., Salomonsen, T., Ipsen, R., Clark, R., Rolin, C., and Balling Engelsen, S. , 2007, Zeta potential of pectin-stabilised casein aggregates in acidified milk drinks. *International Dairy Journal*, 17(4), 302–307. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.03.003>.
- Tian, M., Wang, A., Xiao, S., Yu, W., Tan, C., and Zou, L., 2024, Development of spray-dried oat milk powder with improved stability. *Cereal Chemistry*, 101(5), 968–977. <https://doi.org/10.1002/cche.10792>.
- Tokusoglu, Ö., and Swanson, B. G., 2015, *Functional properties of nut ingredients in bakery products*. In Ö. Tokusoglu & C. Hall III (Eds.), *Functional Foods and Nutraceuticals in Metabolic and Non-communicable Diseases* (pp. 245–268). CRC Press.
- Tonon, R. V., Brabet, C., and Hubinger, M. D., 2008, Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418.

- <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>.
- Tontul, I., A. C. Yıldız-Turp and H. Başer (Eds.), 2017, *Infrared drying of foods: Principles, applications and recent developments*. In *Emerging and Traditional Technologies for Safe, Healthy and Quality Food* (pp. 177–200). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64683-4_9.
- Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., and Topuz, A., 2018, Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *International Dairy Journal*, 85, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002>.
- Tontul, I. (2019). Refractance Window Drying of Foods. In C. M. Galanakis (Ed.), *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 239–261). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00010-6>.
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D., 2008, Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>.
- Topda, E. F., Ba, M., ve Ertugay, M. F., 2011, *Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultrases iş leminin etkisi*. 9(5), 6–10.
- Topkaya, C., 2017, Evaluation of dietary fiber enriched cakes with apple, carrot and orange pulp. *Gıda*, 42(5), 564–571.
- Topuz, A., Feng, H., and Kushad, M., 2009, The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10), 1667–1673. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.014>.
- Toro-Funes, N., Bosch-Fusté, J., Veciana-Nogués, M. T., and Vidal-Carou, M. C., 2014, Influence of ultra-high-pressure homogenization treatment on the phytosterols, tocopherols, and polyamines of almond beverage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(39), 9539–9543. <https://doi.org/10.1021/jf503324f>.
- Tulashie, S. K., Amenakpor, J., Atisey, S., Odai, R., and Akpari, E. E. A. , 2022, Production of coconut milk: A sustainable alternative plant based milk. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6(January), 100206.

<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100206>.

- Turğay Ü., 2023, *Biyoaktif bileşiklerle zenginleştirilmiş glutensiz kek üretimi ve fonksiyonel özelliklerinin saptanması*. Çukurova Üniversitesi.
- Uçar, B., 2011, *Pandispanya kek kalitesi üzerine yabancı meyvelerin fonksiyonel etkileri*.
- Uçar, B., ve Hayta, M., 2012, Kek kalitesinin ve raf ömrüyle eştirilmesi. *Gıda /the Journal of Food*, 37(6), 355–362.
- Uçar, T. M., and Hayta, M., 2018, Effects of various fruit powders on the bioactive and physicochemical properties of cakes. *Journal of Food Quality*, 2018, Article ID 7408719. <https://doi.org/10.1155/2018/7408719>.
- Ugwuona, F., Ogara, J., and Awogbenja, M., 2012, Chemical and sensory quality of cakes formulated with wheat, soybean and cassava flours. *IndiannJ.L.Sci*, 1(2), 1–6.
- Vagadia, B. H., Vanga, S. K., Singh, A., Gariepy, Y., and Raghavan, V., 2018, Comparison of conventional and microwave treatment on soymilk for inactivation of trypsin inhibitors and in vitro protein digestibility. *Foods*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods7010006>.
- Valencia-Flores, D. C., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., and Ferragut, V., 2013, Comparing the effects of ultra-high-pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical, and chemical quality of almond beverages. *Journal of Food Science*, 78(2). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12029>.
- Vanga, S. K., and Raghavan, V., 2018, How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>.
- Vanga, S. K., Wang, J., Orsat, V., and Raghavan, V., 2020, Effect of pulsed ultrasound, a green food processing technique, on the secondary structure and in-vitro digestibility of almond milk protein. *Food Research International*, 137, 109523. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109523>.
- Vanga, S. K., Wang, J., and Raghavan, V., 2020, Effect of ultrasound and microwave processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins. *Lwt*, 131(June), 109708.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109708>.

- Varghese, T., and Pare, A., 2019, Effect of microwave assisted extraction on yield and protein characteristics of soymilk. *Journal of Food Engineering*, 262(May), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.020>.
- Vasantha, N., Rupasinghe, H. P. V., and Mahajan, A., 2015, Effect of high-intensity ultrasonication on the stability and properties of protein-based foams. *Food Biophysics*, 10(1), 63–72. <https://doi.org/10.1007/s11483-014-9364-2>.
- Vitali, D., Dragojević, I. V., and 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(4), 1462–1469.
- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., and Hu, X., 2007, Mathematical modeling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 536–544. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.019>.
- Wang, Y., Li, X., and Fang, Y., 2011, Enhancing the functional properties of plant proteins through fermentation: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 22(8), 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.007>.
- Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zheng, L., and Ma, H., 2018, Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 538–549. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>.
- Wiktor, A., Sledz, M., Nowacka, M., Rybak, K., and Witrowa-Rajchert, D., 2016, The influence of immersion and contact ultrasound treatment on selected properties of the apple tissue. *Applied Acoustics*, 103, 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.05.001>.
- Xu, Y., Jayaraman, K., and Abbas, F. M. A., 2014, Effect of cooking methods on the physical and functional properties of chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Food Properties*, 17(12), 2719–2730. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.834549>.
- Xu, B., Azam, S. M. R., Feng, M., Wu, B., Yan, W., Zhou, C., and Ma, H., 2021,

- Ultrasonics Sonochemistry Application of multi-frequency power ultrasound in selected food processing using large-scale reactors: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 81, 105855. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105855>.
- Yu, X., Chen, X., and Zhang, M., 2022, Effects of ultrasound on protein structure and functionality in plant-based systems: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 84, 105978. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105978>.
- Xu, Y., Liu, L., and Zhang, H., 2009, *Compositional variation in oat-based beverages as influenced by processing techniques*. *Cereal Chemistry*, 86(5), 456–462.
- Yadav, D. N., Thakur, N., Sunooj, K. V., and Bawa, A. S., 2012, Effect of partially substituted refined wheat flour with banana and pea flour on sensory and nutritional quality of biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 49(6), 695–700.
- Yadav, D. N., 2017, *Plant-based milk substitutes and their role in vegan food formulations: A review*. *Journal of Food Science and Nutrition*, 65(3), 145–152.
- Yao, Y., He, W., Cai, X., Bekhit, A. E. D. A., and Xu, B., 2022, Sensory, physicochemical and rheological properties of plant-based milk alternatives made from soybean, peanut, adlay, adzuki bean, oat and buckwheat. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 4868–4878. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15814>.
- Yazıcı, F., 2018, *Ultrafiltrasyonla elde edilen peynir altı suyu konsantresinin kek özelliklerine etkisi*. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi.
- Yazıcı, F., 2018, Mercimek proteini ile hazırlanan keklerin kalite özellikleri ve duyuşal değerlendirmesi. *Gıda*, 43(2), 242–249.
- Yılmaz-Ersan, L., ve Topçuoğlu, E., 2019, Badem sütünle zenginleştirilmiş probiyotik yoğurtların mikrobiyolojik ve bazı fiziko-kimyasal özellikleri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(2), 321–339. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bursauludagziraat/issue/50138/572956>.
- Yılmaz, Y., and Toledo, R. T., 2005, Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. *Food Chemistry*, 93(2), 273–278.
- Yu, J., Ahmedna, M., and Goktepe, I., 2007, Peanut protein concentrate: Production

- and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*, 103(1), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.012>.
- Yue, Y., Wang, J., and Chen, X., 2021, *Impact of oat cultivar and processing method on the nutritional profile of oat milk*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 98, 103847.
- Zhao, Y., Du, S. K., Wang, H., and Cai, M., 2018, Effect of oat components on the quality of bread: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 79, 57–64.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., and Wang, S., 2006, Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 17(10), 524–534. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.011>.
- Zhou, L., Zhang, Y., Wang, Y., and Liu, X., 2019, Effect of microwave treatment on the microstructure and physical properties of food powders. *Journal of Food Engineering*, 256, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.003>.
- Zhou, Y., He, Y., and Zhang, Y., 2021, Effects of ultrasonic and microwave pretreatments on the phenolic contents and antioxidant activities of cereal-based foods: A review. *Food Chemistry*, 340, 127880.
- Zhu, F., 2020, Structure and physicochemical properties of oat starch. *Food Chemistry*, 311, 125798. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125798>.
- Zungur Bastıoğlu, A., Tomruk, D., Koç, M., and Ertekin, F. K., 2016, Spray dried melon seed milk powder: physical, rheological and sensory properties. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 2396–2404. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2214-z>.