



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLEN PİRİNÇ VE SOYA
SÜTÜ TOZLARININ SÜT İKAMESİ OLARAK KEK
ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Dilara GÜVEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2025

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Dilara GÜVEN tarafından hazırlanan “Farklı Yöntemlerle Üretilen Pirinç ve Soya Sütü Tozlarının Süt İkamesi Olarak Kek Üretiminde Kullanımı” adlı tez çalışması 21/10/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

.....

Danışman

Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

.....

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

Dr. Öğr. Üyesi Mine ASLAN bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

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.

Dilara GÜVEN

21/10/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLEN PİRİNÇ VE SOYA SÜTÜ TOZLARININ SÜT İKAMESİ OLARAK KEK ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Dilara GÜVEN

**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

2025, 135 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLAN BAYRAKÇI

Bu çalışmada pirinç ve soya kaynaklı bitkisel sütler farklı üretim yöntemleriyle hazırlanmış, iki kurutma tekniği (dondurarak kurutma ve kırımın pencereleli kurutma) kullanılarak toz hâline getirilmiş ve elde edilen tozların kek üretiminde inek sütü tozuyla alternatif olarak değerlendirilebilirliği araştırılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında pirinç ve soya sütleri; kontrol (işlem görmemiş), geleneksel ısıtma işlemi, mikrodalga ve ultrason olmak üzere dört farklı üretim yöntemiyle üretilmiştir. Elde edilen bitkisel sütlerde renk, pH, toplam çözünür madde, protein çözünürlüğü ve stabilite gibi parametreler incelenmiştir. Analizler sonucunda mikrodalga işleminin diğer yöntemlere kıyasla istenmeyen renk değişimlerine neden olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar oluşturduğu belirlenmiş, bu nedenle mikrodalga işlemi sonraki aşamalarda kullanılmamıştır.

İkinci aşamada seçilen süt örnekleri dondurarak kurutma ve kırımın pencereleli kurutma yöntemleriyle toz hâline getirilmiştir. Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen süt tozlarında emülsiyon ve köpük kapasitesi, parçacık yoğunluğu ve porozite değerleri yüksek bulunmuş, ayrıca renk özelliklerinin daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. Kırımın pencereleli kurutma yöntemiyle elde edilen tozlarda ise yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri yüksek, Carr indeksi ve Hausner oranı düşük bulunmuştur.

Son aşamada, renk ve fonksiyonel özelliklerin korunmasındaki üstünlük nedeniyle dondurarak kurutma ile üretilen kontrol, geleneksel ve ultrason gruplarına ait süt tozları kek formülasyonlarında inek sütü tozu yerine belirli oranlarda ikame edilmiştir. Kek hamurlarında pH ve yoğunluk değerlerinin süt tozu türüne bağlı olarak değiştiği; pişmiş ürünlerde pirinç tozu içeren keklerin daha açık ve parlak renkte, soya tozu içeren keklerin ise daha koyu kırmızımsı tonda olduğu belirlenmiştir. Hacim indeksi değerlerinde özellikle ultrason grubunda artış gözlemlenirken, sertlik değerleri düşmüş, esneklik değerleri artmıştır. Ayrıca, soya içeren keklerde toplam fenolik madde miktarı daha yüksek bulunmuştur. Duyusal değerlendirmede inek sütü tozu genel beğenide üstünlük gösterirken, ultrason uygulanmış soya sütü tozunun tat, koku, renk ve genel beğeni puanlarını artırdığı; pirinçte ise ultrason uygulamasının tat ve koku puanlarını düşürdüğü belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, dondurarak kurutma ile ultrason yönteminin birlikte uygulanmasıyla elde edilen bitkisel süt tozlarının kek üretiminde teknolojik olarak kullanılabilir ve kısmen fonksiyonel üstünlükler sunan potansiyel bir alternatif oluşturduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: pirinç sütü, soya sütü, ultrason, dondurarak kurutma, kırımın pencereleli kurutma.

ABSTRACT

MS THESIS

UTILIZATION OF RICE AND SOY MILK POWDERS PRODUCED BY DIFFERENT METHODS AS MILK SUBSTITUTES IN CAKE PRODUCTION

Dilara GÜVEN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN FOOD ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

2025, 135 Pages

Jury

Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR

Assit. Prof. Dr. Hilal ARSLAN BAYRAKÇI

In this study, plant-based milks derived from rice and soy were prepared using different production methods, converted into powders by two drying techniques (freeze-drying and refractance window drying) and evaluated as potential alternatives to cow's milk powder in cake production.

In the first stage of the study, rice and soy milks were produced using four different processing methods: control (untreated), conventional heat treatment, microwave, and ultrasound. The resulting plant-based milks were analyzed for color, pH, total soluble solids, protein solubility, and stability. The microwave treatment caused undesirable color changes and statistically significant differences compared to other methods; therefore, it was excluded from further stages of the study.

In the second stage, selected milk samples were converted into powders by freeze-drying and RWD techniques. The powders obtained by freeze-drying exhibited higher emulsion and foaming capacities, particle density, and porosity, and also demonstrated better color retention. On the other hand, the powders produced by RWD showed higher bulk and tapped densities, with lower Carr index and Hausner ratio values.

In the final stage, milk powders produced by freeze-drying (control, conventional, and ultrasound groups) were incorporated into cake formulations at specific substitution ratios to replace cow's milk powder, due to their superior color and functional properties. The pH and density of cake batters varied depending on the type of milk powder. In the baked products, cakes containing rice milk powder had lighter and brighter crust and crumb colors, while those with soy milk powder exhibited darker reddish tones. The volume index increased, particularly in the ultrasound-treated group, while hardness decreased and elasticity increased. The total phenolic content was higher in cakes containing soy powder. In sensory evaluation, cow's milk powder obtained the highest overall acceptability; however, ultrasound-treated soy milk powder improved flavor, color, aroma, and overall acceptability scores, whereas ultrasound treatment in rice powder slightly reduced flavor and aroma scores.

These findings indicate that the combination of freeze-drying and ultrasound treatments provides plant-based milk powders with favorable technological and partial functional advantages, suggesting that they can be used as promising alternatives to cow's milk powder in cake formulations.

Keywords: rice milk, soy milk, ultrasound, freeze-drying, refractance window drying.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanması sürecinde bilgi, tecrübe ve yol gösterici yönlendirmeleriyle her aşamada bana rehberlik eden değerli danışmanım Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmanın planlanması ve yürütülmesi aşamalarında katkılarını esirgemeyen, her koşulda destek ve yardımını hissettiren değerli eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mine ASLAN'a anlamlı katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Tezimin her aşamasında moral ve motivasyon kaynağı olan sevgili aileme ve isimlerini burada tek tek anamadığım kıymetli arkadaşlarıma, bu yoğun ve stresli süreçte verdikleri destek ve gösterdikleri anlayış için teşekkür ederim. Süreç boyunca gösterdiği sabır, anlayış ve desteğiyle ilerlememe önemli katkı sağlayan nişanlım Metin Uyan'a da ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmamın, alanında faydalı bir katkı sağlamasını dilerim.

Dilara GÜVEN
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Bitkisel Sütler	3
2.2. Pirinç	5
2.3. Pirinç Sütü.....	6
2.4. Soya Fasulyesi	8
2.5. Soya Sütü	9
2.6. Bitkisel Süt Elde Etme Yöntemleri.....	10
2.6.1. Geleneksel yöntemler	10
2.6.2. Mikrodalga işlemler	11
2.6.3. Ultrasonik işlemler.....	11
2.7. Kurutma Teknikleri ve Bitkisel Süt Tozu Üretimi	12
2.7.1. Dondurarak kurutma yöntemi	12
2.7.2. Kırınım pencereleli kurutma	14
2.8. Kek Üretiminde Bitkisel Süt Tozlarının Kullanımı	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Materyal	16
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. Deneme deseni	16
3.2.2. Bitkisel süt üretimi.....	17
3.2.2.1 Isıl işlem uygulanmamış bitkisel süt üretimi	17
3.2.2.2 Geleneksel ısıl işlem uygulanmış bitkisel süt üretimi	17
3.2.2.3 Mikrodalga uygulanmış bitkisel süt üretimi	17
3.2.2.4. Ultrason uygulanmış bitkisel süt üretimi	18
3.2.3. Bitkisel süt analizleri	18
3.2.4. Bitkisel süt tozu üretimi	20
3.2.5. Bitkisel süt tozu analizleri.....	20
3.2.6. Kek yapım metodu.....	22

3.2.7. Kek hamuru analizleri.....	23
3.2.8. Kek analizleri.....	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. Bitkisel Sütlerle Ait Analiz Sonuçları.....	26
4.2. Bitkisel Süt Tozlarına Ait Analiz Sonuçları	42
4.3. Kek Hamuru Analiz Sonuçları.....	76
4.3.1. Kek hamuru pH ve yoğunluk değerleri.....	76
4.4. Kek Analiz Sonuçları.....	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109
5.1 Sonuçlar	109
5.2. Öneriler	111
6. KAYNAKLAR	113

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

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 : American Association of Cereal Chemists (Amerikan Tahıl Kimyacıları Derneği)

GAE : Gallik asit eşdeğeri

EM : Elektromanyetik

TFM : Toplam fenolik madde

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Süt örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	29
Şekil 4.2. Süt örneklerinin TÇKMM değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,05$)	30
Şekil 4.3. Süt örneklerinin stabilite değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	32
Şekil 4.4. Süt örneklerinin protein çözünürlüğü değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	34
Şekil 4.5. Süt örneklerinin L^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	38
Şekil 4.6. Süt örneklerinin a^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	39
Şekil 4.7. Süt tozu örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	44
Şekil 4.8. Süt tozu örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “üretim yöntemi x kurutma yöntemi” interaksyonu	45
Şekil 4.9. Süt tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	49
Şekil 4.10. Süt tozu örneklerinin köpük kapasitesi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	53
Şekil 4.11. Süt tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	58
Şekil 4.12. Süt tozu örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,05$)	59
Şekil 4.13. Süt tozu örneklerinin parçacık yoğunluk değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	61
Şekil 4.14. Süt tozu örneklerinin Carr indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	64
Şekil 4.15. Süt tozu örneklerinin porozite değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	65
Şekil 4.16. Süt tozu örneklerinin L^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	67
Şekil 4.17. Süt tozu örneklerinin a^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	71
Şekil 4.18. Süt tozu örneklerinin b^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	72
Şekil 4.19. Süt tozu örneklerinin doygunluk indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	75
Şekil 4.20. Süt tozu örneklerinin ton açısı değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)	75
Şekil 4.21. Kek hamuru örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p<0,01$)	78

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 4.1. Süt örneklerine ait pH, TÇKMM, stabilite ve protein çözünürlüğü değerleri	28
Çizelge 4.2. Süt örneklerinin pH, TÇKMM, stabilite ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	28
Çizelge 4.3. Süt örneklerinin pH, TÇKMM, stabilite ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	29
Çizelge 4.4. Süt örneklerine ait renk değerleri	36
Çizelge 4.5. Süt örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları	36
Çizelge 4.6. Süt örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları ...	37
Çizelge 4.7. Süt tozu örneklerine ait pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi değerleri	46
Çizelge 4.8. Süt tozu örneklerinin pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi değerlerine ait varyans anaizi sonuçları.....	46
Çizelge 4.9. Süt tozu örneklerinin pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları	47
Çizelge 4.10. Süt tozu örneklerine ait yoğunluk, akış özellikleri ve porozite değerleri.	56
Çizelge 4.11. Süt tozu örneklerinin yoğunluk, akış özellikleri ve porozite değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	57
Çizelge 4.12. Süt tozu örneklerinin yoğunluk, akış özellikleri ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	57
Çizelge 4.13. Süt tozu örneklerine ait renk değerleri	69
Çizelge 4.14. Süt tozu örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları	70
Çizelge 4.15. Süt tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları	70
Çizelge 4.16. Hamur örneklerine ait pH ve yoğunluk değerleri.....	77
Çizelge 4.17. Hamur örneklerinin pH ve yoğunluk değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	77
Çizelge 4.18. Hamur örneklerinin pH ve yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	77
Çizelge 4.19. Kek örneklerine ait kabuk renk değerleri	85
Çizelge 4.20. Kek örneklerinin kabuk renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları ...	85
Çizelge 4.21. Kek örneklerinin kabuk renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	86
Çizelge 4.22. Kek örneklerine ait iç renk değerleri	92
Çizelge 4.23. Kek örneklerinin iç renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları	92
Çizelge 4.24. Kek örneklerinin iç renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları	93
Çizelge 4.25. Kek örneklerine ait hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerleri	98
Çizelge 4.26. Kek örneklerinin hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	98
Çizelge 4.27. Kek örneklerinin hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	98
Çizelge 4.28. Kek örneklerine ait tekstür değerleri	101
Çizelge 4.29. Kek örneklerinin tekstür değerlerine ait varyans analizi sonuçları	101

Çizelge 4.30. Kek örneklerinin tekstür değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları	101
Çizelge 4.31. Kek örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı değerleri	104
Çizelge 4.32. Kek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	104
Çizelge 4.33. Kek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları	104



1. GİRİŞ

İnsan yaşamı boyunca süt, önemli bir besin kaynağı olarak beslenmede temel bir rol oynamaktadır. Tarihsel süreçte süt, insan beslenmesinde kritik bir bileşen olmuş; farklı kültürlerde çeşitli süt türleri geliştirilerek yaygın şekilde kullanılmıştır. Geleneksel olarak en çok tüketilen hayvansal süt türleri inek, keçi ve koyun sütüdür. Ancak süt ve süt ürünlerine yönelik talebin artmasıyla birlikte, beslenme alışkanlıklarındaki değişimler, bazı sağlık sorunları ve etik kaygılar alternatif süt kaynaklarına yönelimi de beraberinde getirmiştir (Jaeger ve ark., 2024).

Bitkisel sütler, son yıllarda bu ihtiyaçlara yanıt vermek için geliştirilmiş ve popülerlik kazanmıştır. Bitkisel bazlı sütlerin tüketimi; laktoz intoleransı, süt proteini alerjisi, vejetaryenlik, vegan beslenme gibi sebeplerle artmıştır. Ayrıca, hayvansal sütlerin sürdürülebilirliği ve çevresel etkileri ile ilgili tartışmalar da bitkisel bazlı sütlerle olan ilgiyi yüksek seviyelere taşımıştır. Bitkisel sütler, çeşitli bitkilerin su ile homojenize edilmesi sonucu elde edilen emülsiyonlardır ve genellikle inek sütünün görünümünü ve dokusunu taklit edecek şekilde işlenmektedir (Silva ve Smetana, 2022).

Bitkisel sütler genellikle beş ana grupta sınıflandırılmaktadır: tahıl bazlı (pirinç, yulaf), baklagil bazlı (soya, bezelye), kuruyemiş bazlı (badem, fındık, kaju), tohum bazlı (susam, keten tohumu) ve psödotahıl bazlı (kinoa, amarant) sütlerdir. Her bir bitkisel süt, içeriğinde bulunan protein, karbonhidrat, yağ ve vitamin miktarları açısından farklı besin profillere sahiptir (Baysan, 2024).

Gün geçtikçe bitkisel sütlerle olan talep artmakta ve bu sütler gıda sanayisinde farklı ürünlerin üretiminde de kullanılmaktadır. Bitkisel sütlerin kullanımının artmasıyla birlikte, bu ürünlerin özelliklerini optimize edebilmek için farklı işleme teknikleri geliştirilmektedir (Sethi ve ark., 2016). Bitkisel sütlerin üretiminde geleneksel ve modern ısıl işlemler kullanılmaktadır. Geleneksel ısıl işlemler sütün dayanıklılığını artırmak için uygulanan pastörizasyon ve sterilizasyon yöntemlerini içerirken, modern teknikler arasında mikrodalga ve ultrason gibi yenilikçi yöntemler bulunmaktadır. Bu modern yöntemler, süt içeriğindeki besin öğelerini daha iyi koruyarak daha fonksiyonel ürünler elde edilmesini sağlamaktadır (Sotelo-Lara ve ark., 2020). Bitkisel sütlerin raf ömrünü uzatmak ve depolama kolaylığı sağlamak amacıyla kurutma yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, geleneksel ısıl işlem, mikrodalga ve ultrason uygulamaları kullanılarak üretilen pirinç ve soya sütlerinin iki farklı kurutma yöntemi (dondurarak

kurutma ve kırımın pencereli kurutma) ile toz haline getirilmesi ve bu tozların kek formülasyonunda kullanılması ve elde edilen keklerin kalite özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilerin gıda sanayisinde alternatif süt bazlı bileşenlerin kullanımının artması ve yeni ürün geliştirme çalışmalarına katkı sağlaması beklenmektedir (Anekella ve Orsat, 2013).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bitkisel süt üretiminin yaygınlaşmasıyla birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler literatürde geleneksel gıda işleme teknolojileri olarak geçmektedir. Bu yöntemlerde, üründeki mikroorganizmaların gelişmesini önlemek için ısı kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemler kullanıldığında ürün genel olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerinde kayıplar verebilmektedir. Kayıplar sebebiyle geleneksel yöntemlere ek olarak yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlara; düşük frekanslı ultrason işlemleri ve mikrodalga gibi teknikler örnek gösterilebilir (Carrillo-Lopez ve ark., 2021).

2.1. Bitkisel Sütler

Bitkisel sütler; tohumlar, tahıllar, baklagiller veya kuruyemişler gibi bitkisel kaynaklardan üretilen ve hayvansal süte alternatif olarak tüketilen içeceklerdir. Son zamanlarda; vegan beslenme tercihleri, laktoz intoleransı, çevresel faktörler ve sağlıkla ilgili nedenler sebebiyle bu sütlerin popülerliği önemli ölçüde artmıştır (Munekata ve ark., 2020). Bitkisel sütler; hayvansal sütlere göre daha düşük kolesterol içermeleri, farklı besin bileşenlerine sahip olmaları ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir olmaları gibi avantajlar sunmaktadır (Bocker ve Silva, 2022). Bu ürünler, özellikle Batı ülkelerinde hızla büyüyen bir pazar payına sahip olup tüketicilerin sağlık konusundaki farkındalığının artmasıyla daha da popüler hale gelmektedir.

Bitkisel sütlerin kullanımı antik çağlara kadar dayanmaktadır. Özellikle dini sebeplerle hayvansal ürünlerden kaçınan topluluklar için bu sütler önemli bir besin kaynağı olmuştur. Ancak modern bitkisel süt endüstrisi, 20. yüzyılın sonları ve 21. yüzyılın başlarında büyük bir ivme kazanmıştır. Bu büyüme; tüketicilerin beslenme bilincinin artması, çevresel sürdürülebilirlik endişeleri ve hayvansal ürünlere alternatif arayışıyla doğrudan bağlantılıdır (Sethi ve ark., 2016). Özellikle 2000'li yıllardan itibaren, bitkisel sütlerin üretim teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler ve etkili pazarlama stratejileri, bu ürünlerin tüketiciler tarafından daha geniş ölçekte benimsenmesini sağlamıştır.

Bitkisel sütler, üretildikleri bitkisel kaynağa göre farklı besin profillerine sahiptir. Bitkisel sütler genellikle hayvansal sütlere kıyasla daha düşük protein içeriğine sahiptirler. Ancak soya sütü gibi bazı istisnalar yüksek proteine sahiptirler. Ayrıca, bitkisel sütler içeriğinde bulunan vitaminler dışında farklı mineraller ve antioksidan

maddeler açısından zenginleştirilerek besleyici bir alternatif haline de getirilebilirler. Badem sütü, besin değeri açısından oldukça zengin bir alternatif süt çeşididir. İçerğinde bulunan yüksek biyolojik değere sahip proteinler, sindirimi yavaş olan düşük glisemik indeksli karbonhidratlar ve kalp sağlığına faydalı doymamış yağ asitleri ile dikkat çekmektedir (Ersan ve ark., 2019). Yulaf sütünün ise beta-glukan gibi çözünür lifler içerdiğinden, kolesterol seviyelerinin düşürülmesine katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Bitkisel sütlerin besin değerleri, üretim süreçlerinde kullanılan teknolojiler ve uygulanan zenginleştirme yöntemlerine bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Bitkisel sütlerin sağlığa birçok yararı vardır. Bitkisel sütlerin laktoz barındırmaması, laktoz intoleransı olan kişiler için uygun bir alternatif oluşturmaktadır. Bitkisel sütler aynı zamanda antioksidan maddeler ve biyoaktif bileşikler bakımından da zengin kaynaklardır. Bu durum genel sağlık ve bağışıklık sistemi olumlu etkiler gösterebilmektedir (Singh ve ark., 2021). Soya sütü gibi bitkisel sütler içerdikleri izoflavonlar gibi biyoaktif bileşikler sayesinde menopoza semptomlarını hafifletmeye ve kemik sağlığını korumaya yardımcı olabilmektedir. Bitkisel sütlerin sunduğu sağlık yararları, tüketicilerin bu ürünlere olan ilgisini artırmaktadır.

Bitkisel sütlerin, hayvansal sültere göre çevresel etkileri daha düşüktür. Bitkisel süt üretimi genellikle daha az su ve enerji tüketmekte, aynı zamanda sera gazı emisyonları daha düşük bulunmaktadır. Bu nedenle, bitkisel sütler sürdürülebilir gıda sistemlerine katkıda bulunmaktadır. Özellikle, badem sütü üretimi su tüketimi açısından eleştirilse de genel olarak bitkisel sütlerin çevresel ayak izi, hayvansal sültere kıyasla daha düşük olmaktadır. Bu durum, çevre bilinci yüksek tüketicilerin bitkisel sültere yönelmesine neden olmaktadır.

Bitkisel sütlerin popülerliği, tüketicilerin sağlık bilincinin artması, çevresel sürdürülebilirlik kaygıları ve hayvansal ürünlere alternatif arayışıyla yakından ilişkilidir (Hartmann ve ark., 2018). Ayrıca, bitkisel sütlerin lezzet çeşitliliği ve besleyici özellikleri, tüketicilerin bu ürünlere olan ilgisini artırmaktadır (Kong ve ark., 2020). Özellikle genç nesiller arasında, bitkisel sütlerin tüketimi hızla yaygınlaşmaktadır. Bu durum, gıda üreticilerinin bitkisel süt ürünlerine yönelik yatırımlarını artırmasına neden olmuştur.

Bitkisel sütler, sadece içecek olarak değil, aynı zamanda peynir, yoğurt, dondurma ve fırıncılık ürünleri gibi çeşitli gıda ürünlerinde de kullanılmaktadır (López-Cervantes ve ark., 2020). Bu ürünler hem vegan tüketicilere hitap eder hem de geleneksel süt ürünlerine kıyasla daha düşük çevresel etkiye sahiptir. Bitkisel sülterden üretilen vegan

peynirler, geleneksel peynirlere alternatif olarak tüketicilere sunulmaktadır. Benzer şekilde, bitkisel sütlerden üretilen dondurmalar hem lezzet hem de doku açısından geleneksel dondurmalarla rekabet edebilmektedir. Bitkisel sütlerin gıda endüstrisindeki kullanımı, sürekli olarak genişlemekte ve yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada bitkisel süt üretiminde kullanılmak üzere pirinç ve soya fasulyesi tercih edilmiştir.

2.2. Pirinç

Pirinç, küresel ölçekte en yaygın tüketilen tahıllardan biridir ve özellikle Asya ülkelerinde temel gıda maddesi olarak kabul edilmektedir. Dünya nüfusunun büyük bir bölümü için ana besin kaynağı olan pirinç, Asya toplumlarında kültürel ve sosyal yaşamın ayrılmaz bir parçasıdır. Geleneksel inanışlarda kutsal kabul edilen bu tahıl, beslenme düzeninin yanı sıra dini törenler, şenlikler ve şifalı bitki uygulamalarında da önemli bir yere sahiptir. Tıbbi açıdan incelendiğinde, pirincin sağlık üzerindeki yararları antik dönemlerden beri bilinmektedir. Özellikle bazı tıp sistemlerinde enerji verici, metabolizmayı dengeleyen, sindirimi kolaylaştıran ve besin değeri yüksek bir gıda olarak tanımlanmıştır (Rathna Priya ve ark., 2019)

Pirinç, yalnızca temel bir besin kaynağı olarak değil, aynı zamanda zengin içeriği ve fizyolojik etkileri nedeniyle sağlık açısından önemli bir tahıldır. Bünyesinde yaklaşık %80 kompleks karbonhidrat, %7-8 protein, %3 yağ ve %3 lif barındıran pirinç, özellikle düşük glisemik indekse sahip çeşitleriyle kan şekerinin dengelenmesine yardımcı olmaktadır. Bu özelliği, tip II diyabet hastalarının beslenme düzeninde önemli bir rol oynamasını sağlamaktadır. Tam tahıl özelliği taşıyan kahverengi pirinç gibi türler, nişastanın yavaş sindirimi sayesinde kan şekeri dalgalanmalarını minimize etmektedir.

Pirinç proteinleri, yüksek sindirilebilirlikleri ve özellikle lizin bakımından zengin olan dengeli amino asit profilleriyle dikkat çekmektedir. Bu amino asitler, kas gelişimi, sinir sistemi fonksiyonları ve doku onarımı gibi kritik süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca yapılan bir diğer çalışmada; pirinç yan ürünlerinin (pirinç sapı, pirinç kabuğu, kepek, pirinç germi ve kırık pirinç gibi) ve bu ürünlerin temel bileşenlerinin özellikle kanserle mücadele, kan lipid seviyelerini iyileştirme ve kan glukoz düzeylerini kontrol etme potansiyeline odaklanan artan sayıda literatürün incelendiği tespit edilmiştir. Pirinç endüstrisinin önemli tarımsal atıkları olarak değerlendirilen bu yan ürünlerin üretim miktarının, pirincin işlenme oranı ve türüne bağlı olarak değiştiği

belirtilmiştir (Sohail ve ark., 2017). Pirinç kepeğinin, γ -oryzanol, E vitamini (özellikle tokotrienoller) ve diyet lifi gibi biyoaktif bileşenler açısından zengin olduğu ve bu nedenle en çok çalışılan yan ürün konumunda bulunduğu tespit edilmiştir (Esa ve ark., 2013).

Mineral içeriği açısından, özellikle kırmızı ve siyah pirinç çeşitleri; demir, çinko, potasyum, manganez ve bakır gibi eser elementler bakımından oldukça zengindir. Bu mineraller, enzimatik reaksiyonlar, bağışıklık sistemi fonksiyonları, hemoglobin üretimi ve hormonal dengenin sağlanmasında hayati öneme sahiptir. Dolayısıyla pirinç, besleyici değerinin yanı sıra sağlığı destekleyici fonksiyonel özellikleriyle de öne çıkmaktadır. Bu nedenle pirinç, yalnızca ekonomik ve kültürel açıdan değil, aynı zamanda insan sağlığına katkılarıyla da büyük önem taşımaktadır (Chaudhari ve ark., 2018).

2.3. Pirinç Sütü

Pirinç sütü, öğütülen pirincin su ile karıştırılıp enzimatik olarak işlenmesiyle üretilmektedir. Yağ, vitamin ve diğer katkılar da içeriği zenginleştirmek adına ilave edilebilmektedir (Najman ve ark., 2024).

Son yıllarda, özellikle laktoz intoleransı, süt alerjisi veya vegan beslenme tercihleri nedeniyle popüler hale gelen pirinç sütü; hafif tatlı tadı, düşük alerjenik özellikleri ve glutensiz yapısıyla öne çıkmaktadır. Besin değerleri açısından, karbonhidrat bakımından zengin ancak protein ve yağ içeriği düşük bir süt çeşididir. Pirinç sütünün besin profili, üretim süreçlerine ve kullanılan pirinç türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Pirinç sütü, yüksek karbonhidrat içeriğiyle bilinmektedir. 136 farklı bitkisel süttten üretilen içeceklerin besin değerlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; pirinç sütünün karbonhidrat içeriğinin %10-15 arasında değiştiği yağ ve protein oranının ise %1'den az olduğu tespit edilmiştir (Pérez-Rodríguez ve ark., 2023). Yüksek karbonhidrat içeriği, pirinç sütünün enerji kaynağı olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Pirinç sütünün protein, yağ ve vitamin içeriği bakımından zayıf olması araştırmacıları bu konuda çalışma yapmaya yönlendirmiştir. Başçam (2014), bitkisel protein katkılarıyla üretilen yağsız fermente süt içeceklerinin fiziko-kimyasal ve duyuşal özellikleri incelediği çalışmasında; bu katkıların ürün kalitesini ve besin değerini artırdığını belirtmiş, pirinç sütünün protein içeriğinin artırılabilceğini vurgulamıştır.

Pirinç sütü, birçok sağlık faydası sunmaktadır. Bu faydalar, pirinç sütünün besin değerleri ve fonksiyonel özellikleriyle yakından ilişkilidir. Pirincin birçok sağlık sorununa fayda sağladığı yapılan çalışmalarda görülmektedir.

Pirinç sütü, alerjen içeriği düşük olması nedeniyle, özellikle badem gibi yaygın alerjenlere karşı hassasiyeti olan bireyler için uygun bir alternatif oluşturmaktadır. Yüksek karbonhidrat içeriğine (23-27 g/100 mL) sahip olup, protein ve yağ bakımından daha düşük düzeylerde olması (sırasıyla 0-2 g/100 mL ve 2-2,64 g/100 mL), üretim sürecinde karbonhidratların şekerlere dönüşmesi, ürüne karakteristik tatlı bir lezzet kazandırmaktadır. Ayrıca tokoferoller, tokotrienoller, γ -oryzanol ve fenolik bileşikler gibi doğal antioksidanlar içermesi sayesinde; kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu, antikanserojen etkili ve serbest radikal baskılayıcı özellikler göstermektedir. Endüstriyel üretimde genellikle su, öğütülmüş pirinç, bitkisel yağ (örneğin ayçiçeği veya kolza tohumu) ve tuz gibi temel bileşenlerle formülasyon oluşturulmaktadır (Najman ve ark., 2024).

Yapılan bir çalışmada, farklı renk pirinç sütlerinden üretilen kefirlerin antioksidan ve anti-inflamatuvar özellikleri araştırılmış; özellikle mor pirinç kefirinin kolitli sıçanlarda iltihap azaltıcı etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, mor pirinç kefirinin yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu ve TNF- α seviyesini düşürerek iltihap üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur (Deeseenthum ve ark., 2018).

Dupont ve ark. (2020), pirinç sütünün üretim sürecinde enzimatik hidroliz ve ultrasonik işlemlerin kullanılmasının, sütün besin değerini ve duyuşal özelliklerini iyileştirdiğini vurgulamıştır. Ayrıca, pirinç sütünün düşük alerjenik özellikleri, bebek mamaları ve özel diyet ürünleri için uygun bir kaynak olduğu belirtilmiştir.

Pirinç sütünün sağlığa olan faydaları farklı yeni ürünler geliştirilmesine sebebiyet vermektedir. Pirinç sütü, kefir elde etmede alternatif bir içerik olarak değerlendirilebilmektedir (Sulistyanyingtyas ve ark., 2019). Bunun yanı sıra, laktik asit bakterileri pirinç sütü üzerinde fermentasyon sürecini başlatabilmekte ve bu sayede yoğurt ve peynir benzeri ürünler üretilebilmektedir. Güncel araştırmalar, pirinç temelli yoğurdun kolon kanseri tedavisine yardımcı besin desteği olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Fawzi ve ark., 2022).

Amini ve ark. (2019), fermente pirinç sütünün geleneksel bir yumuşak peynir türü olan paneer üretiminde koagülant olarak kullanmış ve sonrasında besin değerlerini incelemişlerdir. Pirinç sütü kullanımının ürünün doku, raf ömrü ve fizikokimyasal özelliklerini olumlu etkilediği belirlenmiştir. Farklı oranlarda (%10, %20, %30)

kullanımında kalite açısından olumsuz bir değişim gözlenmemiştir. Duyusal değerlendirmelerde ise kabul edilebilirlik düzeyinin korunduğu rapor edilmiştir. Bu bulgular, pirinç sütünün süt ürünlerinde bitkisel kaynaklı katkı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

2.4. Soya Fasulyesi

Soya fasulyesi, kökeni Çin olan bir baklagil türüdür. Soya fasulyesi, yüksek protein ve lipit içeriğiyle birlikte çeşitli vitamin ve mineraller açısından zengin bir besin kaynağıdır. Karbonhidratlar ise yapısında en fazla bulunan bileşenler arasındadır. Soya bazlı gıdalar aynı zamanda diyet lifi, B grubu vitaminleri, kalsiyum ve omega-3 yağ asitleri bakımından önemli bir kaynaktır (Kahraman, 2017).

Soya proteininin amino asit profili, tahıllardaki eksiklikleri tamamlayıcı niteliktedir. Ayrıca, yüksek biyolojik değeri nedeniyle hayvan yemlerinde değerli bir bileşen olarak kullanılmaktadır. İşlenme süreçleri, soya proteininin sindirilebilirliğini artırmakta; protein konsantreleri ve izolatları, standart soya unlarına kıyasla daha yüksek sindirim oranları sergilemektedir.

Soya fasulyesi, yüksek protein içeriğiyle öne çıkan değerli bir bitkisel besin kaynağıdır. Kuru maddesinin yaklaşık %38-40'ını proteinler, %30'unu karbonhidratlar ve %18'ini ise yağlar oluşturmaktadır. Soya proteinlerinin yapısında bulunan glisin ve β -konglisin fraksiyonları, toplam protein içeriğinin %70'inden fazlasını kapsayan temel bileşenlerdir (Vineet Kumar ve ark., 2010)

Soya yağı, yüksek oranda doymamış yağ asitleri içermesiyle beslenme açısından önem taşımaktadır. Bitki ayrıca önemli miktarlarda izoflavonlar, demir, kalsiyum ve çinko gibi minerallerin yanı sıra E vitamini (α -tokoferol), niasin, B6 vitamini (piridoksin) ve folat gibi temel vitaminleri de bünyesinde barındırmaktadır (Zhao ve ark., 2020).

Soyanın besin değerinin yanında, içerdiği bazı anti-besinsel faktörler de dikkat çekmektedir. Bu bileşikler arasında saponinler, fosfolipidler, proteaz inhibitörleri, fitik asit ve tripsin inhibitörleri sayılabilir. Bu maddelerin çoğu, uygulanan ısı işlemler ve çeşitli teknolojik yöntemler sayesinde etkilerini kaybetmekte veya azalmaktadırlar (Mazumder ve ark., 2016). Soya işleme teknikleri, antibesinsel faktörleri büyük ölçüde azaltmakla birlikte, yüksek ısı işlem, amino asit kaybına yol açarak proteinin besleyici özelliğini zayıflatabilmektedir.

Soya bazlı formül tüketen bebeklerin, izoflavon takviyesi alan ve adet düzensizliği yaşayan kadınlara göre daha yüksek serum izoflavon seviyelerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, bebeklik döneminde izoflavonlara maruz kalmanın uzun vadeli hormonal etkiler yaratabileceği yönünde endişelere yol açmıştır.

Soya izoflavonlarının östrojen reseptörlerine bağlanabilen yapısı nedeniyle, endokrin sistem üzerine etkileri halen araştırılmaktadır. Bazı hayvan ve insan çalışmaları, özellikle tiroid fonksiyonları açısından soya izoflavonları ile guatr oluşumu arasında potansiyel bir ilişki olabileceğini öne sürmektedir. Örneğin, izoflavonların iyot emilimini engelleyerek tiroid hormonlarının sentezini baskılayabileceği bildirilmiştir (Messina, 2016). Ancak bu etki, bireyin iyot alım düzeyine ve genel beslenme durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Bununla birlikte, osteoporoz, prostat, meme ve kolon kanseri riskinin azalmasıyla soya tüketimi arasında potansiyel bir bağlantı olduğunu gösteren veriler mevcuttur, ancak kesin sonuçlara varmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Soya izoflavonlarına yönelik endişelere rağmen, FDA tarafından onaylanan soya proteininin kalp sağlığı üzerindeki olumlu etkileri genel kabul görmektedir. Ancak, aşırı tüketimin potansiyel yan etkileri nedeniyle dikkatli olunması gerekmektedir. Afrika kıtasında soya üretimi sınırlı düzeyde olup, artan talebi karşılamak için ithalat devam etmektedir.

2.5. Soya Sütü

Soya sütü, soya fasulyesinin (kabuğuyla veya kabuksuz) suda özütlenmesi sonucu üretilen, görsel ve kimyasal bileşim açısından hayvansal süt ile benzerlik gösteren bir bitki bazlı içecektir. Besin değeri açısından dikkat çeken bu ürün; laktoz ve kolesterol içermemesi, yüksek biyolojik değere sahip proteinler barındırması ve sindiriminin kolay olması gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır (Patil ve ark., 2008). Ayrıca çoklu doymamış yağ asitlerinden, özellikle de linoleik asitten zengin bir kaynaktır.

Vagadia ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmada, soya bazlı süt alternatiflerinin besin bileşiminde; %3-8 karbonhidrat, %7-12 protein, %5-6 yağ içerdiği, toplam enerji değerinin ise 80-120 kcal arasında olduğu bildirilmiştir.

Ekonomik üretim maliyetleri ve basit işleme teknikleriyle hazırlanabilmesi, soya sütünü vejetaryen ve vegan beslenme düzenleri için ideal bir seçenek haline getirmektedir. Hayvansal sütün yerini alabilen bu ürün, yağ oranı düşürülmüş süt alternatifi olarak tüketilebilmektedir. Besin içeriği bakımından anne sütü ve inek sütü ile

kıyaslanabilir düzeyde olan soya sütünün, düşük doymuş yağ içermesi ve kolesterol barındırmaması önemli üstünlükler arasında sayılmaktadır (Deshpande ve ark., 2008).

Soya sütü, niasin ve B6 vitamini (piridoksin) gibi B grubu vitaminlerin yanı sıra folasin ve E vitamini açısından da zengin bir içeriğe sahiptir. A vitamini ise, provitamin A formunda yer almakta olup vücutta karaciğer aracılığıyla aktif A vitaminine dönüştürülmektedir. Bu durum, göz sağlığının korunması ve hücre yenilenme gibi yaşamsal işlevlerde önemli rol oynamaktadır (Mazumder ve ark., 2016).

Erfanian ve ark. (2019), kek üretiminde inek sütü yerine farklı oranlarda soya sütü kullanıldığında ürünün besin bileşimi, fiziksel özellikleri, duyu kalitesi ve raf ömrü üzerindeki etkilerini incelemiştir. İnek sütü yerine %50 oranında soya sütü kullanıldığında protein içeriğinin arttığı, karbonhidrat oranının azaldığı, özgül hacmin yükseldiği ve mikrobiyal sayının düştüğü tespit edilmiştir; ayrıca bu oranla üretilen kek, aroma, renk ve tat açısından en yüksek duyu puanları almıştır.

Vagadia ve ark. (2018), tripsin inhibitörlerinin inaktivasyonu yoluyla en yüksek sindirilebilirliğe sahip özel olarak geliştirilmiş soya ürünü üretimini amaçlamış ve bu doğrultuda mikrodalga ısıtma yöntemini kullanarak işlem süresi ve sıcaklık gibi deneysel koşulları cevap yüzey yöntemi ile optimize etmişlerdir. Çalışma sonucunda, mikrodalga yöntemi ile sindirilebilirlikte %7, geleneksel ısıtma işlemi ise %11 oranında artış sağlandığı belirlenmiştir. Ayrıca, ham madde olarak kullanılan soya fasulyesindeki %10 oranındaki tripsin inhibitör aktivitesinin, mikrodalga uygulaması sonucunda %1'e, geleneksel yöntemle ise %3'e düştüğü tespit edilmiştir.

2.6. Bitkisel Süt Elde Etme Yöntemleri

2.6.1. Geleneksel yöntemler

Geleneksel yöntemler, bitkisel süt üretiminde yüzyıllardır kullanılan basit ve doğal işlemleri içermektedir. Bu yöntemler, özellikle evde bitkisel süt üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitkisel süt üretimi için kullanılacak kaynaklar (soya fasulyesi, pirinç, badem vb.) özenle seçilmektedir. Bu kaynaklar, temizlenmekte ve gerekirse ıslatılmaktadır. Örneğin, soya fasulyeleri ve bademler üretim öncesinde genellikle 8-12 saat suda bekletilmektedir. Bu işlem, bitkisel kaynakların yumuşamasını ve öğütme işleminin kolaylaşmasını sağlamaktadır (Gürsoy ve ark., 2011). Islatılan bitkisel kaynaklar, öğütme işlemine tabi tutulmaktadır. Elde edilen karışım, kaynatılarak bitkisel

sütün lezzetini ve dokusunu optimize etmek için işlenmektedir. Kaynatma işlemi, aynı zamanda bitkisel kaynaklarda bulunan antibesinsel faktörleri (örneğin, tripsin inhibitörleri) azaltmaya yardımcı olmaktadır. Kaynatma sonrası, karışım bir tülbent veya süzgeç yardımıyla süzülerek katı partiküller ayrılmakta ve sıvı kısım (bitkisel süt) elde edilmektedir (Taşpınar ve ark., 2023).

Geleneksel yöntemler, bitkisel süt üretiminde birçok avantaj sunmaktadır. Özel ekipman gerektirmemekte ve evde kolayca uygulanabilmektedir. Bu durum, bitkisel süt üretimini düşük maliyetli hale getirmektedir (Gürsoy ve ark., 2011). Özellikle, soya ve pirinç sütü gibi bitkisel sütler, geleneksel yöntemlerle kolayca üretilebilir. Ancak, bu yöntemlerin zaman alıcı olması ve raf ömrünün kısa olması gibi sınırlamaları da bulunmaktadır. Bu nedenle, geleneksel yöntemler, daha çok küçük ölçekli ve ev tipi üretim için uygundur (Taşpınar ve ark., 2023).

2.6.2. Mikrodalga işlemler

Mikrodalga işlemi, bitkisel süt üretiminde giderek yaygınlaşan bir teknolojidir. Bu yöntem, geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve enerji verimli olması nedeniyle tercih edilmektedir. Mikrodalga, besin değerlerini koruyan bir yöntemdir. Özellikle, vitaminler ve antioksidanlar gibi ısıya duyarlı bileşiklerin korunması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, ekipman maliyeti ve sınırlı ölçek gibi sınırlamaları da bulunmaktadır. Bu nedenle, mikrodalga işlem, özellikle küçük ve orta ölçekli bitkisel süt üretimi için uygun bir seçenektir (Vagadia ve ark., 2018).

2.6.3. Ultrasonik işlemler

Ultrasonik işlem, son yıllarda gıda endüstrisinde önemli bir yer edinmiş ve bitkisel süt üretimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojinin gelişimi, 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanırken, özellikle son 20 yılda gıda bilimi alanında yapılan araştırmalarla hız kazanmıştır. Ultrasonik işlem, bitkisel süt üretiminde hücre duvarlarının parçalanması, ekstraksiyon verimliliğinin artırılması ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi gibi avantajlar sunmaktadır (Mu ve ark., 2022)

Maghsoudlou ve ark. (2016), ultrasonik işlemin soya sütü üretiminde protein çözünürlüğünü %20'ye kadar artırdığını ve yağ partiküllerinin daha homojen dağılımını

sağladığını göstermiştir. Bu durum, ürünün tekstürünü iyileştirerek tüketici kabulünü artırmaktadır.

Ultrasonik işlem, badem sütü, yulaf sütü ve hindistan cevizi sütü gibi diğer bitkisel sütlerde de başarıyla uygulanmaktadır. Liu ve ark. (2023 Kong), ultrasonik işlemin badem sütündeki yağ ve protein ekstraksiyon verimliliğini artırdığını ve ürünün besin değerini iyileştirdiğini göstermiştir. Benzer şekilde, Yıldırım ve ark. (2021), ultrasonik işlemin yulaf sütünün antioksidan aktivitesini artırdığını ve ürünün raf ömrünü uzattığını belirtmiştir.

Ultrasonik işlem, bitkisel süt üretiminde diğer yöntemlere kıyasla daha verimli, besleyici ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Özellikle soya ve pirinç sütü gibi ürünlerde yapılan çalışmalar, bu teknolojinin ürün kalitesini ve raf ömrünü önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Ancak, endüstriyel ölçekte yaygınlaşması için proses optimizasyonu ve maliyet analizleri üzerine daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Mu ve ark., 2022)

2.7. Kurutma Teknikleri ve Bitkisel Süt Tozu Üretimi

2.7.1. Dondurarak kurutma yöntemi

Dondurarak kurutma, bilimsel literatürde liyofilizasyon olarak da adlandırılmakta olup, bir ürün içerisindeki suyun katı (buz) fazdan doğrudan gaz (buhar) faza geçirilmesi prensibine dayanan ileri düzey bir dehidrasyon tekniğidir. Bu yöntem, geleneksel kurutma metotlarına kıyasla ürün kalitesinin üst düzeyde muhafaza edilmesini sağlamasıyla dikkat çekmektedir. İşlemin temelini, materyalin çok düşük sıcaklıklara indirilerek içerisindeki tüm suyun buz formuna dönüştürülmesi oluşturmaktadır. Bu kritik dondurma aşaması, buz kristallerinin boyutunu ve homojen dağılımını optimize etmek suretiyle, sonraki safhalarda suyun materyalden etkin bir şekilde uzaklaştırılmasına imkân tanımaktadır (Oetjen ve ark., 2004)

Dondurma işlemini takiben ürün, vakum koşulları altında çalışan özel bir odaya alınmakta ve düşük basınç altında kontrollü şekilde ısıya maruz bırakılmaktadır. Bu ortamda, buz halindeki su, sıvı faza geçmeden doğrudan buhar fazına dönüşmektedir; bu süreç süblimasyon olarak adlandırılmaktadır. Birincil kurutma aşaması olarak tanımlanan bu süreçte, ürünün büyük bir kısmındaki serbest su uzaklaştırılmakta, aynı zamanda düşük sıcaklıklar sayesinde ısıya duyarlı bileşenlerin (örneğin vitaminler, enzimler,

aroma ve renk maddeleri) bozulması engellenmekte ve ürünün orijinal yapısı korunmaktadır. Süblimasyon tamamlandıktan sonra üründe hâlâ belirli miktarda bağlı su bulunabilmektedir. Bu suyun uzaklaştırılması amacıyla ikincil kurutma (desorpsiyon) aşamasına geçilmektedir. Bu evrede, ürünün sıcaklığı kademeli olarak artırılmakta ve vakum ortamı korunarak, kalan bağlı su molekülleri buharlaştırılmakta, böylece ürünün nihai nem içeriği arzu edilen düzeye indirgenmekte ve uzun süreli depolama stabilitesi sağlanmaktadır (Adams ve ark., 2014)

Dondurarak kurutma tekniğinin sunduğu çok yönlü avantajlar, bu yöntemi pek çok uygulama alanında vazgeçilmez kılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen işlem sayesinde, ürünün besin değeri, aroma profili, rengi ve özgün dokusu maksimum düzeyde korunmaktadır. Üründen suyun neredeyse tamamen uzaklaştırılması, mikroorganizma üremesini ve enzimatik ya da kimyasal reaksiyonları büyük ölçüde engelleyerek raf ömrünün belirgin şekilde uzatılmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, dondurularak kurutulmuş ürünlerin karakteristik gözenekli yapısı, su ile temas ettiklerinde hızlı ve etkili bir şekilde orijinal hacimlerine dönmelerini sağlayan üstün rehidrasyon kapasitesi sunmaktadır. Tüm bu nitelikler, dondurarak kurutma yöntemini kahve, meyve ve sebze gibi gıda ürünlerinden ilaçlara, biyolojik örneklerden farmasötik preparatlara kadar geniş bir yelpazede yüksek kaliteli sonuçlar elde etmek amacıyla tercih edilen bir teknoloji hâline getirmektedir (Nowak ve ark., 2020)

Yapılan araştırmalar, dondurarak kurutma işleminin çeşitli gıdalarda biyoaktif bileşenlerin, özellikle fenolik içerikler, soya izoflavonları ve antioksidan aktivitelerinin yüksek oranda korunmasını sağladığını göstermektedir (Coşkun ve ark., 2024). Ayrıca bu yöntemin ürünün fiziksel özelliklerini, aromasını, rehidrasyon yeteneğini ve raf ömrünü koruduğu da belirtilmektedir (Nowak ve Jakubczyk, 2020).

Özellikle soya bazlı ürünlerde gerçekleştirilen çalışmalar, mikroenkapsülasyon teknikleri ile birlikte uygulanan dondurarak kurutma yönteminin, izoflavonlar ve E vitamini gibi biyoaktif bileşenlerin stabilitesini ve biyoerişilebilirliğini artırdığını ortaya koymaktadır (Detchewa ve ark., 2025). Bu bulgular, dondurarak kurutma yönteminin fonksiyonel gıda üretiminde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Yüksek maliyet, enerji tüketimi ve uzun işlem süresi gibi dezavantajları nedeniyle endüstriyel ölçekte kullanımı sınırlıdır. Bu durum literatürde geniş biçimde tartışılmaktadır (Nowak ve Jakubczyk, 2020; Coşkun ve ark., 2024). Bu nedenle, dondurarak kurutma yönteminin optimizasyonu ve maliyet etkinliğinin artırılması üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Detchewa ve ark., 2025).

2.7.2. Kırınım pencereleli kurutma

Kırınım pencereleli kurutma (Refractance window drying) teknolojisi, gıda, bitkisel ve nutrasötik ürünlerin yanı sıra ilaç ve kozmetik endüstrileri için yenilikçi bir kurutma yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bu teknik, özellikle ısıya duyarlı bileşenlerin korunmasına olanak tanınması, kısa sürede kurutma, enerji verimliliği ve yüksek ürün kalitesi gibi avantajları sayesinde geleneksel kurutma yöntemlerine önemli bir alternatif sunmaktadır (Mahanti ve ark., 2021).

Bu sistemde, kurutulacak püre veya sıvı formundaki materyal, ısıya dayanıklı ve kızılötesi ışınları geçirebilen bir film tabakasına ince bir katman halinde serilir. Film, ısı transferinin gerçekleştiği arayüzü oluşturur. Alt kısımdan dolaştırılan sıcak su, iletim, taşınım ve radyasyon yoluyla ısıyı filme ileterek ürüne aktarır. Kızılötesi ışınlar filmde ürüne doğrudan geçer ve buharlaşmayı hızlandırır (Nindo ve Tang, 2007; Shende ve Datta, 2019).

Yöntemin ayırt edici özelliği, ürün sıcaklığının 39-47 °C gibi düşük seviyelerde tutulabilmesine rağmen yüksek kurutma hızlarına ulaşabilmesidir. Bu durum, aroma, vitaminler ve pigmentler gibi ısıya duyarlı bileşenlerin korunmasını sağlar (Jadhav, 2024).

Kurutma ilerledikçe, materyalin nem içeriğindeki azalma film üzerindeki kırınım özelliklerini değiştirir; bu da kızılötesi enerjinin yansıtılmasına neden olur ve aşırı ısınma engellenerek ürün kalitesi korunur (Jadhav, 2024).

Kırınım pencereleli kurutma, mango ve avokado püresi başta olmak üzere püre formundaki gıdaların yanı sıra dilimlenmiş meyve ve sebzelerin kurutulmasında da başarıyla uygulanmıştır. Bu yöntem, fenolik bileşiklerin, antioksidan aktivitenin ve vitamin C gibi besin değerlerinin yüksek oranda korunmasını sağlamaktadır (Santos ve ark., 2022).

Ayrıca literatürde, kırınım pencereleli kurutmanın geleneksel yöntemlere göre %28-38 gibi oranlarda enerji tasarrufu sağladığı ve maliyet avantajı sunduğu belirtilmektedir (Santos ve ark., 2022).

2.8. Kek Üretiminde Bitkisel Süt Tozlarının Kullanımı

Bitkisel süt tozları, son yıllarda gıda endüstrisinde özellikle vegan bireyler, laktoz intoleransı olan tüketiciler ve sağlıklı beslenme eğiliminde olan gruplar için öne çıkan

alternatifler arasında yer almaktadır. Kek üretiminde bu ürünlerin kullanımı hem besinsel değerlerin artırılması hem de ürün kalitesinin iyileştirilmesi açısından dikkat çekici bir potansiyele sahiptir.

Hedayati ve ark. (2015), yumurtanın tamamen soya sütü ve soya lesitini ile ikame edilmesini amaçladıkları çalışmalarında, kek hamurunun yoğunluğu ve mikroyapısında önemli değişiklikler gözlemlemişlerdir. Çalışmada ayrıca, pişmiş ürünün tekstüründe tatmin edici sonuçlar elde edilmiş ve soya sütü ikamesinin ürün kalitesi üzerinde olumlu etkiler gösterdiği rapor edilmiştir.

Rahmati ve Mazaheri Tehrani (2015), kek üretiminde yumurtanın kısmen soya sütü ile ikame edilmesi üzerine yürüttükleri deneylerinde, keklerin hacim, nem içeriği ve duyuşal özelliklerinin korunabildiğini belirlemişlerdir. Araştırmada, yüksek oranda yumurta yerine soya sütü kullanıldığında dahi ürünün tüketici kabulünü olumsuz yönde etkilemediği vurgulanmıştır.

Turabi ve ark. (2008), pirinç unuyla hazırlanan keklerde farklı hidrokolloidlerin etkisini değerlendirmişler ve kullanılan katkı maddelerine bağlı olarak ürünün reolojik özellikleri, nem tutma kapasitesi ve tekstürel yapısında anlamlı farklılıklar bulunduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Park ve ark. (2017), kuru ve ıslak pirinç ununun kullanıldığı keklerde kalite parametrelerini karşılaştırmış, ıslak pirinç ununun ürünün nem ve doku özelliklerini daha olumlu etkilediğini belirtmişlerdir.

Duyuşal kalite açısından değerlendirildiğinde, Rahmati ve Mazaheri Tehrani (2015), soya sütü ilavesiyle hazırlanan keklerde kontrol gruplarıyla benzer duyuşal puanlar elde edildiğini, bu nedenle tüketici kabulünün olumsuz etkilenmediğini bildirmiştir. Lacivita ve ark. (2024) ise badem bileşenlerinin ürünün aroma ve tat profilini iyileştirdiğini, Turabi ve ark. (2008) ise pirinç unlu keklerin daha uzun süre nemini koruduğunu tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada faydalanılan soya fasulyesi ve pirinç Konya (Türkiye) piyasasındaki bir firmadan sağlanmıştır. Kek üretiminde tercih edilen buğday unu, toz şeker, yumurta, shortening, süt, mısır nişastası, kabartma tozu, tuz, vanilya Konya'da (Türkiye) bulunan yerel bir firmadan sağlanmıştır. Kek üretiminde tercih edilen mono ve digliseritlerin diasetil tartarik asit esteri (DATEM) Norbaran (Konya, Türkiye), sodyum stearoil laktilat (SSL) Vatan Gıda (İstanbul, Türkiye)'dan sağlanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme deseni

Bu çalışma üç aşamadan oluşacak şekilde planlanmış ve yürütülmüştür. Çalışmanın birinci aşamasında, pirinç ve soya fasulyesi gibi iki farklı bitkisel kaynaktan bitkisel sütler elde edilmiştir. Bitkisel kaynaklardan süt elde etmek için; ısıtma işlemi uygulanmamış yöntem, geleneksel ısıtma işlemi uygulanmış yöntem, mikrodalga ve ultrason yöntemleri olmak üzere 4 farklı yöntem uygulanmıştır. Bitkisel süt üretimi hammadde çeşidi (2) ve üretim yöntemi (4) değişkenleriyle $(2 \times 4) \times 2$ deneme düzenine göre yapılmıştır.

İkinci aşamada belirlenen bitkisel süt örnekleri süt tozu üretilmek üzere dondurarak kurutma ve kırıyım pencereli kurutma (KPK) işlemine tabi tutulmuştur. Bitkisel süt tozu üretimi 2 farklı hammadde çeşidi (pirinç ve soya), 3 farklı üretim yöntemi (ısıtma işlemi uygulanmayan, geleneksel ısıtma işlemi ve ultrason yöntemi) ve 2 farklı kurutma yöntemi (dondurarak kurutma ve kırıyım pencereli kurutma) kullanılarak $(2 \times 3 \times 2) \times 2$ deneme desenine göre yapılmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise seçilmiş süt tozu örnekleri ön denemelerle belirlenen oranda kek üretiminde kullanılmıştır. Kek denemeleri, 2 hammadde çeşidine (pirinç ve soya) ait 4 farklı süt tozu çeşidi (inek sütü tozu (kontrol), ısıtma işlemi uygulanmamış, geleneksel ve ultrason yöntemleri ile üretilmiş, dondurularak kurutulmuş süt tozları) ile $(2 \times 4) \times 2$ deneme desenine göre iki tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Bitkisel süt üretimi

3.2.2.1 Isıl işlem uygulanmamış bitkisel süt üretimi

Pirinç sütü ve soya sütü üretimi için yabancı maddelerden ayrılan 200 g pirinç ve soya örnekleri öncelikle yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Temizlenen ve yıkanan pirinç ve soya üzerine sırasıyla 1:3 ve 1:5 (hammadde: saf su) oranında saf su ilave edilmiştir. Pirinç ve soya karışımları sırasıyla 2 saat (pirinç) ve 16 saat (soya) olmak üzere oda sıcaklığında belirli süre boyunca bekletilmiştir. İşlem sonunda süzülen pirinç ve soya örneklerinin üzerine 1:5 (hammadde: saf su) oranında saf su ilave edilmiştir. Elde edilen karışımlar, 1000 W gücünde bir karıştırıcı (Arzum, Türkiye) kullanılarak 3. Hız kademesinde karıştırılmıştır. Homojenize edilen örnekler, 150 µm göz açıklığına sahip elekten geçirilerek süzölmüştür (Min ve ark., 2005; Lee ve ark., 2019).

3.2.2.2 Geleneksel ısıl işlem uygulanmış bitkisel süt üretimi

Geleneksel ısıl işlem için pirinç ve soya örnekleri öncelikle temizlenerek yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Bitkisel süt üretiminde kullanılan pirinç ve soya üzerine sırasıyla 1:3 ve 1:5 (hammadde: saf su) oranında saf su ilave edilmiştir. Elde edilen karışımlar karıştırıcı ile öğütöldükten sonra 150 µm göz açıklığına sahip elekten süzölmüştür. Daha sonra süzölen örnekler, 100 °C sıcaklıkta ve 70 rpm çalkalama hızında ayarlanmış su banyosunda ısıl işleme alınmıştır. Soya sütü örneği 10 dakika, pirinç sütü örneği ise 6 dakika işlem gördükten sonra oda sıcaklığına soğutulmuş ve ardından geleneksel homojenleştirici ile homojenize edilmiştir. Hazırlanan bitkisel süt örnekleri, analizlerde kullanılmak üzere +4°C'de buzdolabında depolanmıştır (Vagadia ve ark., 2018).

3.2.2.3 Mikrodalga uygulanmış bitkisel süt üretimi

Mikrodalga uygulamasında, pirinç ve soya temizlenerek yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Bitkisel süt üretiminde kullanılan pirinç ve soya üzerine sırasıyla 1:3 ve 1:5 oranında saf su ilavesi yapıp karıştırıcı yardımıyla öğütöldükten sonra elde edilen karışımlar 150 µm göz açıklığına sahip elekten geçirildikten sonra elde edilen karışımlar

1000 W'da soya sütü örneği, 2 dakika; pirinç sütü örneği 1,30 dakika işlem görmüştür. Bitkisel süt örnekleri analizler için kullanılmak üzere +4°C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir (Vagadia ve ark., 2018; Costa ve ark., 2021).

3.2.2.4. Ultrason uygulanmış bitkisel süt üretimi

Pirinç ve soya temizlenerek yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Bitkisel süt üretiminde kullanılan pirinç ve soya üzerine sırasıyla 1:3 ve 1:5 oranında saf su ilave edilip blender yardımıyla öğütüldükten sonra elde edilen karışımlar 150 µm göz açıklığına sahip elekten geçirildikten sonra elde edilen karışımlar; 20 kHz, 100 W gücünde ultrasonik uygulamasına 10 dakika süreyle tabi tutulmuştur. Her deney için 13 mm'lik bir prob kullanılmıştır. Bitkisel süt örnekleri analizler için kullanılmak üzere +4°C'de buzdolabında saklanmıştır (Maghsoudlou ve ark., 2016).

3.2.3. Bitkisel süt analizleri

3.2.3.1 pH tayini

Bitkisel süt örneklerinin pH ölçümleri, dijital pH metre (Mettler Toledo Seven Compact S210) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.2. Toplam çözünür kuru madde miktarı (TÇKMM)

Örneklerin içerdiği toplam çözünebilir katılar, AOAC (2000) standardına göre belirlenmiş ve Brix cinsinden ifade edilmiştir. Bu değerlendirme işlemi, oda sıcaklığında (25 °C ± 1) bir refraktometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Tomasik ve ark., 2003).

3.2.3.3. Stabilite (kararlılık) tayini

Bitkisel süt örneklerinde stabilite tayini yapmak amacıyla, örnekler ilk olarak 100 mL'lik mezurlara ilave edilmiş ve 5 °C'de saklanmıştır. 24 saatlik bekleme süresinin ardından örneklerde oluşan çökelti tabakaları gözlemlenmiş ve varsa bu tabakaların hacimleri ölçülmüştür. Stabilite ölçümleri, Sejersen ve ark. (2007) tarafından tanımlanan

yönteme uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak hacim bazında faz ayrımı yüzdesi hesaplanmıştır (Sejersen ve ark., 2007).

3.2.3.4. Protein çözünürlüğü

Bitkisel süt örneklerinin çözünürlük özelliklerini belirlemek amacıyla, Tontul ve ark. (2018) tarafından bildirilen prensipler temel alınarak uyarlanmış bir yöntem kullanılmıştır. Analiz sürecinde, her bir örnekten 100 mg alınarak 10 mL saf su içerisinde çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilerin pH değerleri 1, 3, 5, 7 ve 9 olacak şekilde ayrı ayrı ayarlanmıştır. pH düzenlemesinden sonra çözeltiler 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda homojen hâle getirilmiş; ardından 10,000 g'de 10 dakika santrifüj edilerek çözünmeyen fraksiyonun ayrılması sağlanmıştır. Üst faz (süpernatant) ayrılarak, çözünürlük Büret yöntemiyle analiz edilmiştir. Bunun için, 1 mL süpernatant ile 4 mL Büret çözeltisi (1,5 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ve 6 g $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 'nun %3'lük NaOH çözeltisi içinde çözündürülmesiyle hazırlanmıştır) karıştırılmış ve 37 °C sıcaklıkta 20 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından, karışımın absorbansı 540 nm dalga boyunda spektrofotometre ile ölçülmüştür. Boş (kontrol) örneği olarak 1 mL %3'lük NaOH çözeltisi ve 4 mL Büret çözeltisinden oluşan karışım kullanılmıştır. Standart protein olarak ise sığır serum albümini tercih edilmiştir. Süpernatantın ham protein içeriği ($P_{\text{süpernatant}}$) ile sütün toplam protein içeriği ($P_{\text{süt}}$) kullanılarak çözünürlük yüzdesi hesaplanmıştır.

$$\text{Protein çözünürlüğü (\%)} = \frac{P_{\text{süpernatant}}}{P_{\text{süt}}}$$

3.2.3.5. Renk tayini

Renk ölçümleri, Konica Minolta Sensing (Osaka, Japonya) tarafından üretilen Minolta CR-400 model Hunter Lab Color Quest II cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analiz sırasında L^* değeri siyah (0) ile beyaz (100) arasındaki açıklık-koyuluk düzeyini; a^* değeri kırmızı (+) ile yeşil (−) eksenini; b^* değeri ise sarı (+) ile mavi (−) eksenini temsil edecek şekilde kaydedilmiştir. Ölçüm sonuçlarına dayanarak ton açısı, $\arctan(b^*/a^*)$ eşitliği kullanılarak; doygunluk indeksi ise $(a^2 + b^2)^{1/2}$ formülünden yararlanılarak hesaplanmıştır (Nielsen ve ark., 2010).

3.2.4. Bitkisel süt tozu retimi

Bitkisel süt örneklerinin kurutulması için, 2 farklı kurutma yöntemi kullanılmıştır. Bunlar, kırınım pencereleli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleridir.

Dondurarak kurutma işleminde, hazırlanan pirinç ve soya sütleri önce -80°C 'de 24 saat dondurulmuştur. Bu aşamanın ardından rnekler, Befatek Makina (Konya, Türkiye) marka dondurarak kurutma cihazına alınarak su içerikleri uzaklaştırılmış ve ürünler toz forma dnştrlmştır. Elde edilen örnekler, analizler ve kek üretiminde kullanılmak üzere laboratuvar ölçekli bir öğütme makinesi (Alveo, Konya, Türkiye) yardımıyla $500\text{ }\mu\text{m}$ boyutundaki elekten geçecek tanecik boyutuna ulaşacak şekilde ğtlmştır. Bitkisel süt tozu örnekleri, analizler için kullanılmak üzere $+4^{\circ}\text{C}$ 'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.

Kırınım pencereleli kurutma yönteminde, pirinç ve soya sütü örnekleri kırınım pencereleli kurutma cihazına uygun kalınlıkta serilerek toz haline getirilmiştir. Kurutma işlemi 90°C 'lik su sıcaklığında ve 1 mm serme kalınlığında, kuru ürün nem oranı %8'in altına düşene kadar devam edilmiştir. Kuru rn, kurutucu bant üzerinden kazınarak alınmıştır. Elde edilen örnekler, analizler ve kek üretiminde kullanılmak üzere laboratuvar ölçekli bir öğütme makinesinde (Alveo, Konya, Türkiye) $500\text{ }\mu\text{m}$ gözenek çapına sahip bir elekten geçebilecek incelikte ğtlmştır (Tontul ve ark., 2018; Shende, 2019).

3.2.5. Bitkisel süt tozu analizleri

3.2.5.1. pH tayini

Bitkisel süt tozlarının pH değerini belirlemek için, her bir numuneden 1 g alınarak bir beher içerisine tartılmıştır. zerine 10 mL distile su ilave edilerek karışım homojen hâle getirilmiştir. Hazırlanan süspansiyonun pH ölçümü ise Mettler Toledo Seven Compact S210 model dijital pH metre ile gerçekleştirilmiştir (Horwitz ve Latimer, 2005).

3.2.5.2. Emülsiyon kapasitesi

Emülsiyon kapasitesi analizi için Hayta (2002)'nin belirttiği metot modifiye edilerek kullanılmıştır. 1g bitkisel süt tozu örneği 25°C'de 10 mL saf su içinde dağıtılmıştır. Ardından, elde edilen çözeltiler 20 dakika süreyle 4000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminden sonra elde edilen sıvı miktarı ölçülmüş ve ölçülen hacme eşit oranda yağ eklenmiştir. Karışım, 5 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Daha sonra 10 dakika bekletilmiş ve faz ayrımı miktarları tespit edilmiştir. Süreç boyunca ilk tartım, santrifüj sonrası sıvı tartımı ve işlem sonundaki toplam hacim kaydedilmiştir.

3.2.5.3. Köpük kapasitesi

Köpük kapasitesi analizi, Ogunwolu ve ark. (2009) tarafından tanımlanan yöntem esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 1,5g bitkisel süt tozu örneği 75 mL saf su içerisinde çözündürülmüştür. Daha sonra çözelti, süspansiyon homojenizatör cihazı (IKA T25 digital, Staufen im Breisgau, Almanya) ile karıştırılmış 5 dakika süreyle çırpılmıştır. Çırpma işlemi sonunda elde edilen çözelti, 100 mL'lik dereceli silindire aktarılmış ve oluşan köpük hacmi ölçülmüştür (Ogunwolu ve ark., 2009).

3.2.5.4. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu

Toz hâlindeki numunelere ait yığın, sıkıştırılmış ve parçacık yoğunlukları, Jinapong ve ark. (2008) tarafından bildirilen yöntemin esasları dikkate alınarak belirlenmiştir. Yığın yoğunluğunu belirlemek için, belirli miktarda toz numune tartılmış ve bu kütlenin doldurduğu hacim (8 mL) ölçülerek yoğunluk değeri g/mL cinsinden hesaplanmıştır. Sıkıştırılmış yoğunluk analizinde ise 1 g toz örneği kapaklı 10 mL dereceli bir mezüre aktarılmış, ardından hacmi sabitlemeye yardımcı olması amacıyla üzerine 5 mL petrol eteri eklenmiştir. Mezüre düz bir yüzeye yerleştirilmiş ve elle 100 kez vurularak numunenin sıkışması sağlanmıştır. Ardından çözelti tamamen karışana ve tüm parçacıklar ıslanana kadar mezür çalkalanmıştır. Mezürün iç yüzeyinde kalan parçacıkların temizlenmesi amacıyla yaklaşık 1 mL petrol eteri kullanılarak iç yüzey durulanmıştır. Parçacık yoğunluğu ise aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. (Teunou ve ark., 1999).

$$\text{Parçacık yoğunluğu } (\rho_{\text{parçacık}}) = \frac{\text{Toz ağırlığı (g)}}{\text{Petrol eter ve toplam toz hacmi (mL)} - 6}$$

$$\text{Yığın yoğunluğu } (\rho_{\text{parçacık}}) = \text{Belirli hacim gramajı} / 8 \text{ mL (g/mL)}$$

$$\text{Sıkıştırılmış yoğunluk } (\rho_{\text{sıkıştırılmış}}) = \text{Belirli hacim gramajı} / \text{sıkıştırma sonrası hacim (g/mL)}$$

3.2.5.5. Porozite, Carr indeks ve Hausner oranı

Porozite (ϵ), sıkıştırılmış yoğunluk ($\rho_{\text{sıkıştırılmış}}$) ve parçacık yoğunluğu ($\rho_{\text{parçacık}}$) değerleri arasındaki ilişki, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\epsilon = \frac{P_{\text{parçacık}} - P_{\text{sıkıştırılmış}}}{P_{\text{parçacık}}}$$

Toz numunelerin akışkanlığı, boyutsuz parametreler olan Carr indeksi (CI) ve Hausner oranı (HR) kullanılarak, aşağıdaki denklemler yardımıyla sayısal olarak hesaplanmıştır (Kaleem ve ark., 2021).

$$CL = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{Yığın}}}{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}$$

$$HR = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{Yığın}}}$$

3.2.5.6. Renk tayini

Bitkisel süt tozlarına ait renk ölçümleri, 3.2.3.5. bölümünde ayrıntılı olarak açıklanan yöntemle uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.6. Kek yapım metodu

Kontrol kek formülasyonu, 100 g un esas alınarak Çizelge 3.1’de verilen içeriğe uygun şekilde hazırlanmıştır (Olçay, 2019). Kek üretim sürecinde ilk aşamada yumurta ve şeker, laboratuvar tipi mikser (Hobart N50; Hobart, Toronto, Kanada) kullanılarak yüksek devirde 5 dakika çırpılmıştır. Karışım krema kıvamına ulaştığında shortening

ilave edilmiş ve karıştırma işlemine devam edilmiştir. Sonrasında diğer bileşenler eklenerek homojen bir hamur elde edilmiştir. Hazırlanan kek hamurları, standart boyutlardaki kek kalıplarına aktarılmış ve 160 °C’de, 50 dakika süreyle BEKO MF6 (Türkiye) model fırında pişirilmiştir. Diğer kek varyasyonlarında ise sıvı süt yerine 8 g bitkisel süt tozu kullanılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Pişirme işlemi tamamlanan kekler oda sıcaklığında 60 dakika dinlendirilmiş, ardından analiz yapılıncaya kadar polietilen torbalara alınarak 25 ± 1 °C’de muhafaza edilmiştir.

Çizelge 3.2. Kek formülasyonu

<i>Bileşen</i>	<i>Miktar (g)</i>
Buğday unu	100
Şeker	88
Yumurta	80
Shortening	72
Kabartma Tozu	1,6
Tuz	1,6
Vanilya	1,6
Mısır Nişastası	8
SSL	0,24
Datem	0,24
Süt	8

3.2.7. Kek hamuru analizleri

3.2.7.1. pH tayini

Kek hamurlarının pH ölçümleri, 3.2.3.1 numaralı bölümde ayrıntıları verilen yöntem esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.7.2 Yoğunluk tayini

Kek hamurlarına ait özgül ağırlık değerleri, sabit hacimli bir kabın hamur ile doldurulmasıyla elde edilen ağırlığın, aynı kabın su ile doldurulması sonucu ölçülen ağırlığa oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Yürekli, 2021).

3.2.8. Kek analizleri

3.2.8.1 Renk tayini

Kek örneklerine ait iç ve dış renk değerleri 3.2.3.5. başlığı altında belirtilen metoda göre belirlenmiştir.

3.2.8.2. Hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi

Kek örneklerinin hacim, simetri ve tekdüzelik indekslerinin belirlenmesinde, AACC Metot 10-91 esas alınmış ve ölçümler milimetrik şablon kullanılarak yapılmıştır (AACC, 1990). Soğutulan kekler ortadan dikey olarak ikiye ayrılmış ve kesilen yüzeyler, milimetrik kâğıt üzerine hazırlanmış olan şablona yerleştirilmiştir. Şablon üzerinde yapılan ölçümler sonucu B, C ve D yükseklikleri kaydedilmiştir. Bu değerler kullanılarak hacim indeksi $B+C+D$, simetri indeksi $2C-B-D$ ve tekdüzelik indeksi $B-D$ eşitlikleriyle hesaplanmıştır (AACC, 1990).

3.2.8.3. Tekstür tayini

Kek örneklerinin tekstürel nitelikleri, Stable Micro Systems (Surrey, UK) tarafından üretilen TA-XT2i cihazı ile analiz edilmiştir. Ölçümlerde AACC 74-09 prosedürü esas alınmış; test sırasında cihazın hızının 1,7 mm/sn olarak ayarlanması ve numunelere %40 sıkıştırma uygulanması sağlanmıştır. Sertlik ve esneklik değerleri bu koşullar altında kaydedilmiş olup analizler, keklerin pişirme işlemi tamamlandıktan sonra bir saatlik oda sıcaklığında bekleme süresinin ardından yapılmıştır.

3.2.8.4 Toplam fenolik madde miktarı (TFM)

Kek örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri, Folin–Ciocalteu esasına dayanan spektrofotometrik analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ekstraksiyon için her bir kek örneğinden belirlenen miktarda numune tartılmış ve üzerine HCl/metanol/su (1:80:10, h/h) karışımından hazırlanan asitlendirilmiş metanol çözeltisinden 20 mL eklenmiştir. Hazırlanan karışımlar 24 ± 1 °C sıcaklıktaki su banyosunda, iki saat boyunca ekstraksiyona bırakılmıştır. Ekstraksiyon sonrasında numuneler 3000 rpm’de 10 dakika

santrifüjlenmiş ve üst faz analizlerde kullanılmak üzere ayrılmıştır. Toplam fenolik madde tayini için, 0,1 mL süpernatant üzerine sırasıyla 0,5 mL %10'luk Folin–Ciocalteu reaktifi, 1,5 mL %20'lik sodyum karbonat çözeltisi ve 7,9 mL saf su eklenerek reaksiyon karışımı hazırlanmıştır. Karışımlar oda sıcaklığında (24 ± 1 °C) iki saat boyunca karanlıkta bekletilmiş ve inkübasyon sonrası absorbans ölçümleri 760 nm dalga boyunda çalışan Hitachi-U1800 (Japonya) spektrofotometresinde gerçekleştirilmiştir. Gallik asit standart eğrisinden yararlanılarak örneklerin toplam fenolik madde düzeyleri mg gallik asit eşdeğeri/kg (mg GAE/kg) olarak hesaplanmıştır (Gamez-Meza ve ark.,1999).

3.2.8.5. Duyusal analiz

Kek örneklerinin duyusal analizi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde bulunan duyusal değerlendirmeye elverişli 18-50 yaşları arasında 15 kişilik bir panel tarafından gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme için kek örneklerinin, tat, koku, renk ve genel beğeni özellikleri açısından değerlendirilmesi istenmiştir (Stone ve ark., 2000). Duyusal analiz parametreleri 1 ile 5 arasında değişen skalalar ile puanlandırılmıştır (1 - kötü; 2 - yeterli değil; 3 - kabul edilebilir; 4 - iyi; 5 - çok iyi).

3.2.9. İstatistiksel analizler

İki tekerrürlü olarak gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde, SAS Institute Inc. (Cary, NC, ABD) tarafından geliştirilen JMP istatistik programının 5.0.1 sürümünden yararlanılmıştır. Analiz sonuçları tablolar hâlinde sunulmuş; varyans analizinde anlamlı farklılık gösteren değerler ise çoklu karşılaştırma testi aracılığıyla birbirleriyle kıyaslanmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Bitkisel Sütlerle Ait Analiz Sonuçları

4.1.1. pH, toplam çözünür kuru madde miktarı, stabilite ve protein çözünürlüğü sonuçları

Süt örneklerine ait pH, TÇKMM, stabilite ve protein çözünürlüğü değerleri Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Çizelge 4.2’de varyans analizine ilişkin sonuçlara, Çizelge 4.3’te ise çoklu karşılaştırma testinden analizlerden elde edilen sonuçlar raporlanmıştır.

Çizelge 4.1’e göre, süt örneklerinin pH değerleri 5,87 ile 6,21 değerler arasında değişim görülmüş, ortalama ise 6,06 olarak ortaya kaydedilmiştir.

Çizelge 4.2’deki varyans analiz verileri incelendiğinde süt örneklerinin pH değerleri üzerinde hammadde çeşidi, üretim yöntemi faktörleri ile “*hammadde çeşidi × üretim yöntemi*” interaksyon etkisinin $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3’te elde edilen bulgulara göre; farklı üretim yöntemi uygulanarak elde edilen soya sütlerinin pH değerleri (6,11) pirinç süt örneklerinin pH değerleri (6,01) ile kıyaslandığında daha yüksek belirlenmiştir ($p < 0,05$) (Çizelge 4.3). Bu fark, her iki hammaddenin doğal kimyasal bileşimlerindeki farklılıklarla ilişkilendirilebilir. Süt örneklerinin pH değerleri üretim yöntemi açısından değerlendirildiğinde ise en yüksek pH değeri mikrodalga yöntemiyle işlenen bitkisel süt örneklerinden (6,21) tespit edilirken en düşük pH değeri ise ultrason uygulanmış (5,87) bitkisel süt örneklerinde belirlenmiştir ($p < 0,05$). Kontrol grubu süt örneği ile karşılaştırıldığında bitkisel süt örneklerinin pH değeri ultrason uygulaması ile düşük bulunurken geleneksel ve mikrodalga uygulaması pH değerleri daha yüksek olarak belirlenmiştir ($p < 0,05$). Bu pH değişimleri, uygulanan işlemlerin protein denatürasyonu veya bazı bileşenlerin hidrolizi gibi kimyasal reaksiyonları tetikleyerek asitlik dengesini etkilemesiyle açıklanabilir.

Mikrodalga işleminin, su moleküllerinin dipol dönüşümü yoluyla hızlı ve homojen ısıtma sağlaması sonucu protein yapısında meydana gelen değişiklikler nedeniyle pH değerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu durum, özellikle proteinlerin kısmen denatüre olması ve bazı bazik grupların serbest hale gelmesiyle ilişkilendirilmektedir. Pirinç sütünde uygulanan mikrodalga işlemi sonucunda pH değerinde yaklaşık 0,2–0,3 birimlik bir artış meydana gelmiştir (Liu ve ark., 2023).

Ultrasonik işlem, yüksek frekanslı ses dalgalarının yarattığı kavitasyon etkisiyle gıda matrisinde fiziksel değişimlere yol açmakta ve protein parçalanmasına neden olmaktadır. Bu işlem sonucunda, çözünmüş protein miktarında artış gözlenmekte ve bu da pH üzerinde hafif asidifikasyon etkisi yaratmaktadır. Özellikle soya sütü örneklerinde ultrason uygulaması sonrasında pH değerinin geleneksel yöntemle kıyasla daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2021). Bunun, ultrasonun protein yapılarını parçalaması ve hidrofobik grupların açığa çıkmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Geleneksel ısıtma işlemi uygulanan örneklerde ise pH değişimi daha sınırlı düzeyde gerçekleşmiştir. Sıcaklık kontrollü bir şekilde artırıldığında proteinlerdeki yapısal değişimler daha az belirgin olmakta, dolayısıyla pH üzerinde etkisi daha düşük kalmaktadır. Ancak, özellikle uzun süreli ısıtma işlem uygulamaları sonucunda bazı Maillard reaksiyon ürünlerinin oluşması pH'da düşüşe neden olabilmektedir.

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde, bitkisel bazlı sütlerde pH değerlerinin oldukça geniş bir aralıkta değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Soya sütü üzerine yapılan çalışmalarda pH değerlerinin 6,5 ile 7,0 arasında değişebileceği belirtilmiştir; ancak ısıtma işlemi veya fermentasyon gibi uygulamaların bu değerleri etkileyebileceği vurgulanmıştır (Jang ve ark., 2021). Soya ve pirinç sütlerinin farklı pH düzeyleri, bu hammaddelerin protein, yağ ve karbonhidrat bileşimlerindeki doğal farklılıklarla ilişkilendirilmektedir (Marchwińska ve ark., 2023).

Soya sütü, pirinç sütüne göre daha yüksek pH değerine sahip bulunmuş ve bu durum literatürdeki genel eğilimle örtüşmektedir. Jiang ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, kısa süreli çimlendirilmiş soya tanelerinden üretilen soya sütlerinde pH değerinin ortalama 6,72 olduğu rapor edilmiştir. Çalışmamızda ise soya sütü pH'sı 6,04-6,21 aralığında bulunmuştur. Bu farklılığın kullanılan hammaddenin çeşidi, üretim koşulları ve işlem parametrelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Benzer şekilde, Roland ve ark. (2024) tarafından bitkisel bazlı içeceklerin depolama stabilitesinin incelendiği çalışmada, pirinç sütü örneklerinin pH değerlerinin yaklaşık 6,8 civarında olduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda pirinç sütü örneklerinde pH değerleri 5,87-6,20 aralığında gözlenmiştir. Bu durum, pirinç çeşidi, kullanılan enzimler, işlem koşulları ve ekstraksiyon metodolojisindeki farklılıklardan kaynaklanabilecek doğal bir varyasyon olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, elde edilen pH değerleri literatürdeki genel eğilimlerle paralellik göstermekte, gözlenen küçük farklılıkların ise hammaddenin türü, uygulanan teknolojiler ve deneysel koşullardan ileri geldiği düşünülmektedir.

Süt örneklerinin pH üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi bulunan ($p<0,01$) “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu Şekil 4.1’de sunulmuştur. Bu doğrultuda, pirinç kullanılarak hazırlanan süt örneklerinin pH değerleri, soya içeren süt örnekleri ile kıyaslandığında mikrodalga uygulaması dışında kalan diğer üretim yöntemlerinde daha düşük bulunmuştur. Mikrodalga işlemi, pirinç sütü örneklerinde pH değerini yükselterek soya sütü örneklerine yakın bir seviyeye getirmiştir. Bu durum, mikrodalga uygulamasının su moleküllerinin dipol dönüşümü yoluyla homojen ısıtma sağlaması ve protein yapılarını kısmen değiştirmesiyle ilişkilendirilmektedir.

Mikrodalga ve ultrason gibi yenilikçi teknolojilerin, geleneksel ısıtma işlemiyle bitkisel sütlerin pH değerinde daha belirgin değişikliklere yol açtığı görülmektedir. Bu değişiklikler, kullanılan yöntemin şiddeti, süresi ve bitkisel süt türüne bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 4.1. Süt örneklerine ait pH, TÇKMM, stabilite ve protein çözünürlüğü değerleri¹

Hammadde çeşidi	Üretim yöntemi	pH	TÇKMM (brix)	Stabilite (ml)	Protein çözünürlüğü (%)
Pirinç	Kontrol	5,91±0,01	0,25±0,07	0,85±0,07	13,68±1,09
	Geleneksel ısıtma işlemi	6,08±0,01	0,25±0,07	4,45±0,07	17,92±0,54
	Mikrodalga	6,20±0,03	0,10±0,00	8,55±0,21	15,32±2,04
	Ultrason	5,87±0,02	0,25±0,07	3,80±0,28	35,65±1,36
Soya	Kontrol	6,04±0,00	4,85±0,07	0,00±0,00	10,31±0,14
	Geleneksel ısıtma işlemi	6,19±0,01	5,05±0,07	0,00±0,00	25,63±1,36
	Mikrodalga	6,21±0,01	5,00±0,00	0,00±0,00	36,22±0,27
	Ultrason	5,99±0,01	4,90±0,00	0,00±0,00	26,11±2,59
Minimum-Maksimum		5,87-6,21	0,10-5,05	0,00-8,55	10,31-36,22
Ortalama±std		6,06±0,13	2,58±2,53	2,21±3,14	22,60±9,88

¹Sonuçlar, iki tekrardan elde edilen ortalama değerleri göstermektedir. Aynı sütunda yer alan ve farklı harflerle belirtilen ortalamalar arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmaktadır ($p<0,05$). TÇKMM: Toplam çözünür kuru madde miktarı Kontrol: Isıtma işlemi uygulanmamış

Çizelge 4.2. Süt örneklerinin pH, TÇKMM, stabilite ve protein çözünürlüğü değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

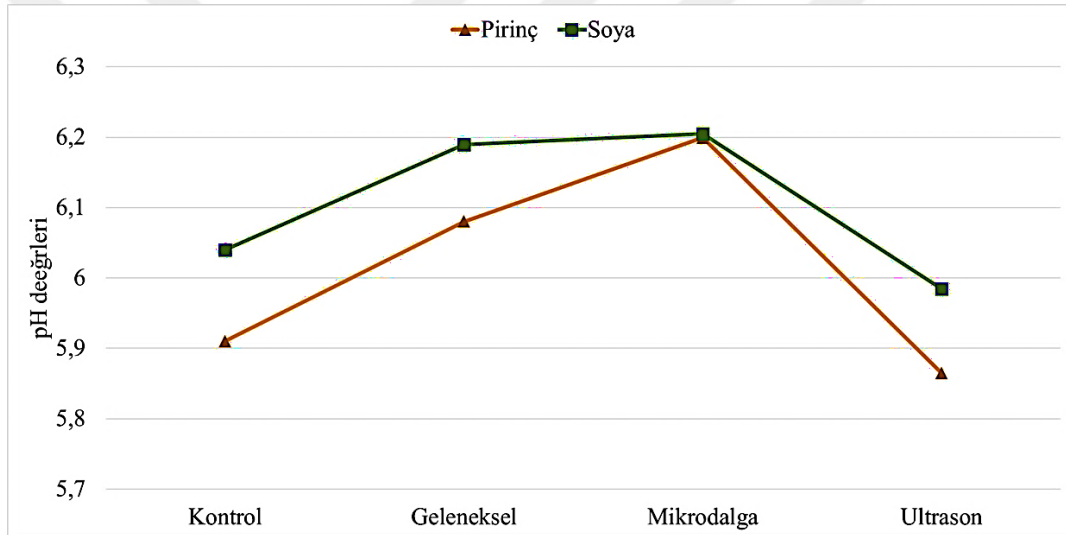
VK	SD	pH		TÇKMM (brix)		Stabilite		Protein çözünürlüğü	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	0,03	136,64**	89,78	28728,2**	77,88	4615,15**	61,65	30,50**
Üretim yöntemi (B)	3	0,21	281,05**	0,03	2,87ns	30,19	596,28**	766,90	126,49**
A×B	3	0,01	13,04**	0,06	6,07*	30,19	596,28**	537,13	88,59**
Hata	8	0,00		0,03		0,14		16,17	

¹ * $p<0,05$ düzeyinde önemli. ** $p<0,01$ düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.3. Süt örneklerinin pH, TÇKMM, stabilite ve protein çözünürlüğü değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	pH	TÇKMM (brix)	Stabilite (mL)	Protein çözünürlüğü (%)
Hammadde çeşidi					
Pirinç	8	6,01±0,14b	0,21±0,08b	4,41±2,94a	20,64±9,46b
Soya	8	6,11±0,10a	4,95±0,09a	0,00±0,00b	24,57±9,96a
Üretim yöntemi					
Kontrol	4	5,98±0,08c	2,55±2,66a	0,43±0,49d	11,99±2,05d
Geleneksel ısıtıl işlem	4	6,14±0,06b	2,65±2,77a	2,23±2,57b	21,77±4,53c
Mikrodalga	4	6,20±0,02a	2,55±2,83a	4,28±4,94a	25,77±12,13b
Ultrason	4	5,93±0,07d	2,58±2,68a	1,90±2,20c	30,88±5,76a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: Isıl İşlem uygulanmamış

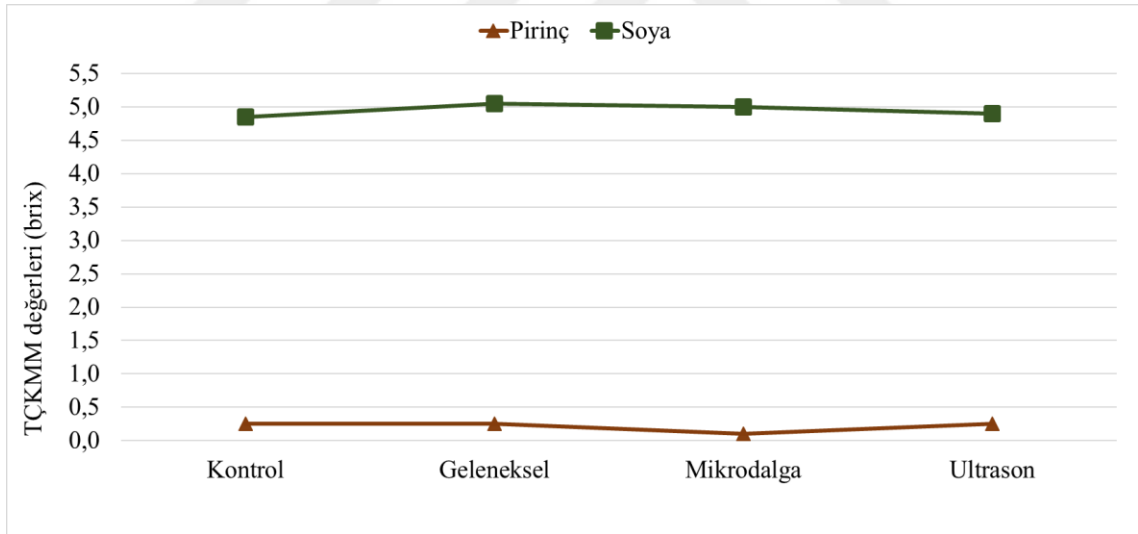


Şekil 4.1. Süt örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu (p<0,01)

Süt örneklerinin TÇKM miktarları, ürünün kuruluk derecesini ve içerdiği çözünmüş bileşenlerin yoğunluğunu göstermektedir. Pirinç ve soya hammaddesi kullanılarak üretilen süt örneklerinin TÇKMM değerleri 0,10-5,05 brix arasında değişmekte olup ortalama 2,58 brix olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Varyans analizinden elde edilen bulgular, süt örneklerinin TÇKMM değerleri incelendiğinde, hammadde çeşidinin bu parametre üzerinde p<0,01 düzeyinde anlamlı bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Üretim yönteminin ise p>0,05 düzeyinde istatistiksel olarak etkisiz olduğu görülmüştür. Buna karşılık, “hammadde çeşidi × üretim yöntemi” etkileşimi p<0,05 seviyesinde anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.2). Çoklu karşılaştırma testi sonuçları hammadde faktörü açısından değerlendirildiğinde, soya bazlı süt örneklerinin TÇKMM

değerinin (4,96 brix), pirinçten üretilen süt örneklerine (0,21 brix) kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek olduğu ($p<0,05$) tespit edilmiştir. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi kullanılan hammaddeler süt örneklerinin TÇKMM sonuçları üzerinde etkisi gözlemlenmiş fakat süt üretim yönteminde kullanılan geleneksel, mikrodalga ve ultrason uygulamalarının bu değerler üzerinde herhangi bir etkisi gözlemlenmemiştir ($p>0,05$). Bu da uygulanan işlemlerin süt örneklerinin toplam çözünür katı madde içeriğinde önemli bir değişikliğe yol açmadığını göstermektedir. Genel olarak, soya bazlı süt örneklerinin pirinç bazlı süt örneklerine göre daha yüksek TÇKMM değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu belirgin fark, soyanın doğal olarak pirince kıyasla daha zengin bir katı madde ve besin içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Messina, 2016).

Süt örneklerinde TÇKMM miktarı üzerinde etkili “*hammadde çeşidi × üretim yöntemi*” interaksiyonu incelendiğinde, hammadde kaynağının soya olması pirinç kullanımına göre daha yüksek TÇKMM eldesini sağlamıştır (Şekil 4.2). Üretim yöntemi açısından değerlendirildiğinde TÇKMM değerlerinin hafif değişim gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Süt örneklerinin TÇKMM değeri üzerinde etkili “*hammadde çeşidi x üretim yöntemi*” interaksiyonu ($p<0,05$)

Pirinç sütü doğal yapısı gereği daha düşük TÇKMM içeriğine sahiptir; yapılan araştırmalar bu değer genellikle %1-2 arasında değiştiğini göstermektedir. Bu durum, pirincin ağırlıklı olarak nişasta içeren bir kaynak olmasıyla ilişkilendirilmektedir (Najman ve ark., 2024). Her iki hammaddenin makro besin bileşimlerindeki yapısal farklılıklar, bu veriler arasındaki farkları açıklamaktadır. Çalışmamızda elde edilen

TÇKMM sonuçları da literatürdeki bulgularla örtüşmektedir. Soya sütünün, içerdiği yüksek düzeyde protein ve yağ nedeniyle pirinç sütüne göre daha yüksek TÇKMM değerlerine sahip olması beklenen bir durumdur. Ayrıca üretim yöntemlerinin TÇKMM üzerinde belirgin bir etkisinin bulunmaması, bu parametrenin daha çok kullanılan hammaddenin bileşiminden kaynaklandığını düşündürmektedir.

Çizelge 4.1’de verilen stabilite değerleri incelendiğinde, soya ve pirinç süt örneklerinin stabilite değerlerinin 0,00 ve 8,55 mL arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Soya sütü örneklerine ait stabilite değerleri uygulama prosesine bağlı olmaksızın 0,00 mL olarak belirlenmiş olup üretim yönteminin değerler üzerinde herhangi etki göstermediği belirlenmiştir. Soya sütü örneklerinde stabilite değerinin tamamında 0,00 mL olması, bu örneklerin daha stabil olduğunu ve çökelme eğiliminde olmadığını göstermektedir. Pirinç sütü örneklerinde ise en yüksek stabilite değeri mikrodalga uygulaması ile 8,55 mL olarak bulunmuş olup bunu sırasıyla geleneksel uygulama 4,45 mL ve ultrason uygulaması 3,80 mL olarak takip etmektedir.

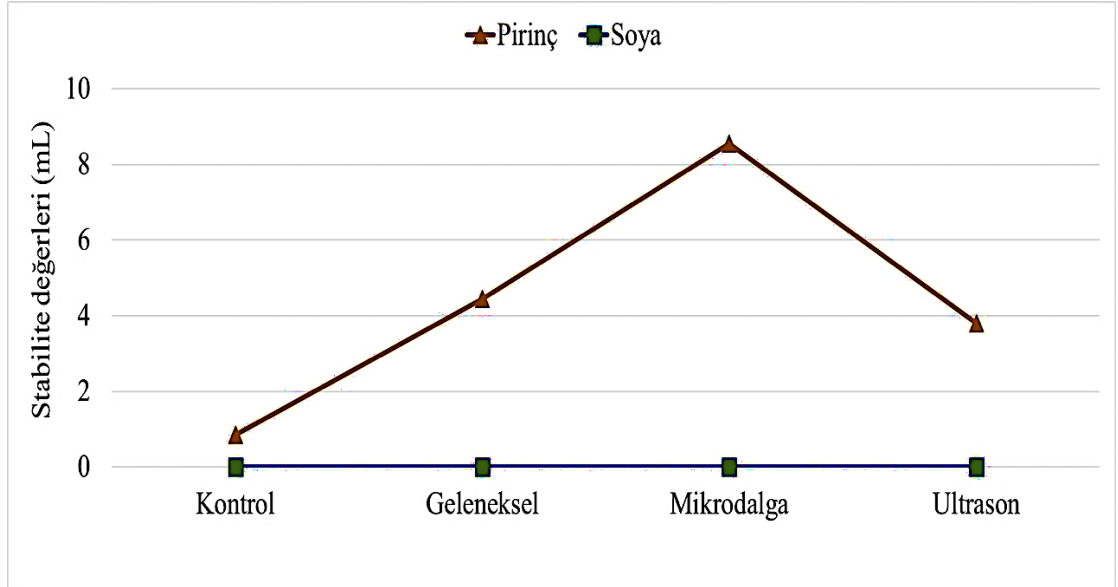
Çizelge 4.2’deki istatistiksel analiz sonuçları, stabilite parametresi üzerinde hammadde çeşidi, üretim yöntemi ve “hammadde çeşidi $\times$ üretim yöntemi” interaksiyonunun $p < 0,01$ anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak anlamlılık gösterdiği ortaya konmuştur. Çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre, en fazla değerlerin stabilite değerlerine sahip süt örnekleri pirinç hammaddesi (8,55 mL) kullanımı ile elde edilirken soya hammaddesi (0,00 mL) kullanımı ile bu değerler en düşük olarak tespit edilmiştir. Pirinç kullanılan süt örneklerinde elde edilen stabilite değerleri ile soya kullanılan süt örneklerinin stabilite değeri arasındaki bu farklılık soyanın daha stabil olduğunu ve partikül çökmesinin gözlenmediğini ortaya koymuştur ($p < 0,05$). Bu durum, soya proteinlerinin yüksek su tutma kapasitesi ve emülsiyon oluşturma yetenekleriyle uyumlu bir sonuçtur (Zhao ve ark., 2020).

Üretim yöntemi açısından süt örnekleri karşılaştırıldığında stabilite değerleri açısından önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Çizelge 4.3’te görüldüğü gibi mikrodalga uygulanmış örnekler en yüksek stabilite değerine (8,55 mL) sahipken, kontrol grubu örneklerinde en düşük stabilite değeri (0,43 mL) elde edilmiştir ($p < 0,05$). Ultrason uygulaması (1,90 mL) ve geleneksel yöntem (2,23 mL) uygulanarak üretilen süt örneklerinin stabilite değerleri de kontrol grubuyla karşılaştırıldığında daha büyük bir değer ortaya koyduğu görülmüş olup daha stabil bir ürün edildiği ortaya konmuştur. Bu sonuçlar, mikrodalga işleminin partikül dağılımını veya viskoziteyi etkileyerek çökelmeyi azaltabileceğini düşündürmektedir (Wang ve ark., 2023). Soya sütlerinin,

pirinç sütlerine kıyasla daha yüksek düzeyde stabilite sergilediği çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Sethi ve ark. (2016), pirinç sütü üretiminde yaygın olarak kullanılan amilaz ve glukozidaz gibi enzimatik hidroliz uygulamalarının, nişastayı parçalayarak emülsiyon stabilitesini artırmayı amaçladığını ifade etmiş; ancak bu tür işlemlerin, pirinç sütünü doğrudan soya sütü ile aynı stabilite düzeyine ulaştıramadığına dikkat çekmişlerdir.

Soya proteinleri, emülsifiye edici ve stabilize edici nitelikleri sayesinde partiküllerin çökmesini engellemede daha başarılıdır (Reyes-Jurado ve ark., 2023). Buna karşılık, pirinç sütü daha düşük protein ve yağ içeriğine sahip olması nedeniyle üretim sonrası çökme eğilimi gösterebilmektedir. Bu durum genellikle stabilizatör ilavesi veya homojenizasyon gibi özel işlem teknikleriyle azaltılmaya çalışılmaktadır (Thuy ve ark., 2020). Ultrason gibi ileri işleme teknolojileri, partikül boyutlarını küçültüp homojenliği artırarak bitkisel sütlerin stabilitesini geliştirebilmekte ancak aşırı maruziyet proteinlerin birikimine neden olabilmektedir (Kong ve ark., 2023).

Süt örneklerinin stabilite değeri üzerine etkili ($p<0,01$) “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksiyonu Şekil 4.3’de yer almaktadır. Bu verilere göre, pirinç süt örneklerinde soya sütü örneklerine göre tüm üretim yöntemi uygulamalarında stabilite değerleri daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.3’de pirinç sütlerinin uygulama çeşidine göre stabilite değerlerinde önemli değişimler gözlemlendiği bu değişime en yüksek etkinin mikrodalga uygulamasının olduğu tespit edilmiştir.

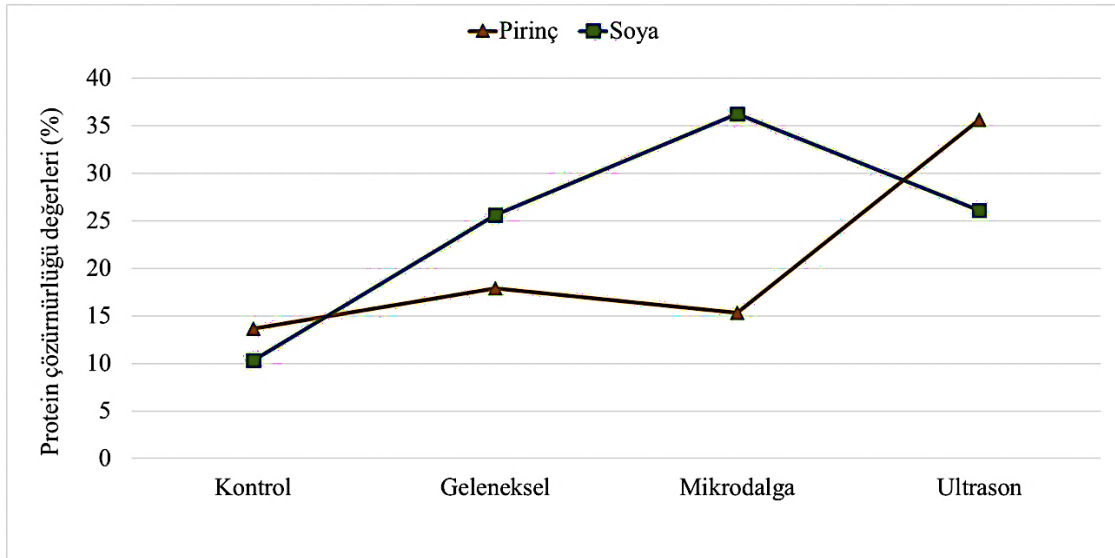


Şekil 4.3. Süt örneklerinin stabilite değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksiyonu ($p<0,01$)

Bu araştırmada elde edilen stabilite değeri sonuçları, literatürde bildirilen genel eğilimlerden kısmen farklılık göstermektedir. Soya sütünde beklenen yüksek kararlılığın tam olarak sağlanamaması, proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin işlem koşullarına yeterince yansımamasıyla ilişkili olabilir. Mikrodalga uygulamasının bazı örneklerde kararlılığı iyileştirdiği, bunun da partiküllerin daha homojen dağılmasıyla bağlantılı olabileceği düşünülmektedir. Ancak ultrason uygulamasında beklenenin aksine stabilitenin geleneksel yöntemle göre daha düşük bulunması, kullanılan ultrason parametrelerinin partiküllerin kümeleşmesine veya viskozite değişimlerine yol açmasından kaynaklanmış olabilir. Süt örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri %10,31-%36,22 Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere, gruplar arasında farklılıklar tespit edilmiştir.

Varyans analizi kapsamında, süt örneklerinin protein çözünürlüğü üzerinde “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” intereksiyonlarının $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı etkiler gösterdiği saptanmıştır. (Çizelge 4.2). Çoklu karşılaştırma testinden elde edilen bulgulara göre; pirinç içeren süt örneklerinin protein çözünürlüğü değerleri (%20,64), soya içeren süt örneklerinin protein çözünürlüğünden (%24,57) daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.3). Bu, soya proteinlerinin doğal yapısının ve bileşiminin, pirinç proteinlerine kıyasla daha yüksek bir çözünürlük profili sergilemesine olanak tanıdığını göstermektedir. Üretim yöntemi açısından bakıldığında, ultrason uygulanmış süt örnekleri en yüksek protein çözünürlüğüne (%30,88) sahipken, kontrol grubu örnekleri en düşük protein çözünürlüğüne (%11,99) sahip olmuştur ($p < 0,05$). Bu bulgu, ultrason uygulamasının protein agregatlarını parçalayarak veya protein yapısını değiştirerek çözünürlüğü artırma potansiyelini güçlü bir şekilde desteklemektedir (Kong ve ark., 2023). Geleneksel ve mikrodalga işlemlerin de protein çözünürlüğünü kontrol grubuna göre önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Isıl işlem (geleneksel ve mikrodalga) protein denatürasyonuna neden olabilirken, ultrasonik kavitasyon da protein yapısında değişikliklere yol açarak çözünürlüğü etkileyebilmektedir (Kong ve ark., 2023).

Süt numunelerinin protein çözünürlüğü üzerinde etkisi bulunan “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksiyonu Şekil 4.3’de verilmiştir. Geleneksel ve mikrodalga uygulaması ile elde edilen süt örneklerinde protein çözünürlüğü soya kullanımı ile daha yüksek belirlenirken bu değerler ultrason kullanımı ile soya içeren süt örneklerinde bulunmuştur. En yüksek protein çözünürlüğü değeri mikrodalga uygulanmış soya sütü örneğinde bulunduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Süt örneklerinin protein çözünürlüğü değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Çalışmalarda, soya proteinlerinin doğal olarak yüksek çözünürlüğe sahip olduğu ve bu özelliğin gıda endüstrisinde tercih edilme sebeplerinden biri olduğu belirtilmektedir (Wang ve Wang, 2017). Buna karşın, pirinç proteinlerinin çözünürlüğü genellikle daha düşük olup, pirinç sütü üretiminde fonksiyonel özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla ek işlemlerin uygulanması gerektiği ifade edilmektedir (Zhou ve ark., 2019). Ultrasonik işlem, bitkisel proteinlerin çözünürlüğünü artırmada etkili bir yöntem olarak birçok çalışmada rapor edilmiştir; zira kavitasyon etkisi protein aglomeratlarını parçalayarak ve hidrasyonu artırarak çözünürlüğü geliştirmektedir (Rahman ve ark., 2021).

Çalışmamızda elde edilen protein çözünürlüğü verileri, literatürdeki bulgularla büyük oranda paralellik göstermektedir. Soya sütünün daha yüksek başlangıç çözünürlüğüne sahip olması, bu hammaddenin özgün yapısal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ultrasonik işlemin protein çözünürlüğünü anlamlı biçimde artırması, bu teknolojinin bitkisel sütlerin fonksiyonel kalitesinin iyileştirilmesindeki potansiyelini ortaya koymaktadır. Ayrıca, geleneksel ve mikrodalga işlemlerinin de çözünürlüğü artırıcı etkileri, ısıl işlemlerin protein yapısı üzerindeki olumlu etkilerine işaret etmektedir.

4.1.2. Renk sonuçları

Soya ve pirinç kullanılarak farklı üretim çeşitleri uygulanmış süt örneklerinin L^* değerleri 75,44 ve 79,65 arasında değişim göstermiş olup ortalama 77,38 olarak belirlenmiştir. Pirinç içeren süt örneklerinin L^* değerleri 76,01 ve 77,54 arasında değişim gösterirken soya içeren süt örneklerinin L^* değerleri ise 75,44 ve 79,65 arasında değişim göstermiştir. Pirinç içeren süt örneklerinde en yüksek değer mikrodalga uygulaması ile gözlemlenirken soya içeren süt örneklerinde ise geleneksel yöntemle gözlemlenmiştir (Çizelge 4.4). Çizelgedeki varyans analizi bulgularına göre üretilen sütlerin L^* sonuçlarının; hammadde çeşidinin $p<0,05$, üretim yönteminin $p<0,01$ ve “hammadde çeşidi $\times$ üretim yöntemi” interaksiyonunun ise $p<0,01$ kriterine göre önemli olduğu görülmüştür.

Çoklu karşılaştırma analiz sonuçları incelendiğinde pirinç içeren süt örneklerinin ortalama L^* değerleri (77,06), soya içeren süt örneklerine ait ortalama L^* değerlerinden (77,69) daha düşük olarak belirlenmiştir. Bu durum, bitkisel süt üretiminde kullanılan hammaddenin ürünün nihai rengini belirlemede kritik bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Soya kullanılan süt örneklerinin L^* değerinin daha yüksek olmasının içerdiği kendine has doğal renk pigmentlerinden ve ısıtıl işlem sonrası oluşabilecek renk pigmentlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca soya proteinlerinin doğal yapısı ve bileşimi, işlenmiş ürünlerde belirgin bir renk tonu oluşumuna katkı sağlayabilmektedir (Day, 2013). Sonuçlar üretim yöntemi ilgili faktör bazında ele alındığında, kontrol grubuna ait süt örneğinin ortalama L^* değeri 77,95 olarak ölçülmüştür. Kontrol grubu ile benzer özellik gösteren geleneksel yöntemle hazırlanan süt örneklerinin L^* değerleri ise 78,30 olarak belirlenirken mikrodalga (76,59) ve ultrason (76,67) uygulanmış süt örneklerinde bu değerler istatistiki açıdan daha düşük olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Mikrodalga ve ultrason gibi termal ve mekanik işlemler, protein denatürasyonuna ve Maillard reaksiyonları gibi kimyasal süreçlere neden olarak renk koyulaşmasına yol açabilmektedir (Li ve ark., 2013; Kong ve ark., 2023).

Silva ve ark. (2023) ise yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıtıl işlemlerin bitkisel sütlerde L^* değerini %3-5 oranında azalttığını ve bunun görsel kalite üzerinde olumsuz etkisi olduğunu göstermiştir. Genel olarak, mikrodalga ve ultrason işlemlerinin bitkisel sütlerin parlaklığını düşürerek renk tonlarını koyulaştırdığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4. Süt örneklerine ait renk değerleri¹

Hammadde çeşidi	Üretim yöntemi	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	Doygunluk indeksi	Ton açısı
Pirinç	Kontrol	77,54±0,77	-0,58±0,10	2,91±2,36	2,98±2,32	105,22±10,10
	Geleneksel ısıt işlem	76,96±0,16	-0,65±0,01	2,67±0,81	2,75±0,79	104,27±3,90
	Mikrodalga	77,74±0,65	-0,58±0,03	1,73±0,32	1,82±0,31	108,79±2,38
	Ultrason	76,01±0,52	-0,60±0,01	1,98±0,73	2,07±0,70	107,78±5,98
Soya	Kontrol	78,36±0,02	-2,37±0,01	9,63±0,02	9,91±0,02	103,80±0,07
	Geleneksel ısıt işlem	79,65±0,07	-2,94±0,01	10,03±0,01	10,45±0,02	106,31±0,02
	Mikrodalga	75,44±0,31	-2,25±0,05	9,40±0,01	9,66±0,03	103,43±0,27
	Ultrason	77,32±0,04	-2,92±0,01	8,65±0,09	9,12±0,09	108,63±0,14
Minimum-Maksimum		75,44-79,65	-2,94- -0,58	1,73-10,03	1,82-10,45	103,43-108,79
Ortalama±std		77,38±1,31	-1,61±1,10	5,87-3,84	6,10±3,98	106,03±2,17

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: Isıt İşlem uygulanmamış

Çizelge 4.5. Süt örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<i>L</i> *		<i>a</i> *		<i>b</i> *		Doygunluk indeksi		Ton açısı	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	1,59	8,97*	16,22	9648,03**	201,99	234,88**	218,02	263,62**	3,74	0,19ns
Üretim yöntemi (B)	3	9,22	17,30**	0,45	89,00**	3,18	1,23ns	3,00	1,21ns	30,37	0,51ns
A×B	3	13,35	25,04**	0,34	67,67**	0,73	0,28ns	0,63	0,25ns	31,84	0,54ns
Hata	8	1,42		0,01		6,88		6,62		158,67	

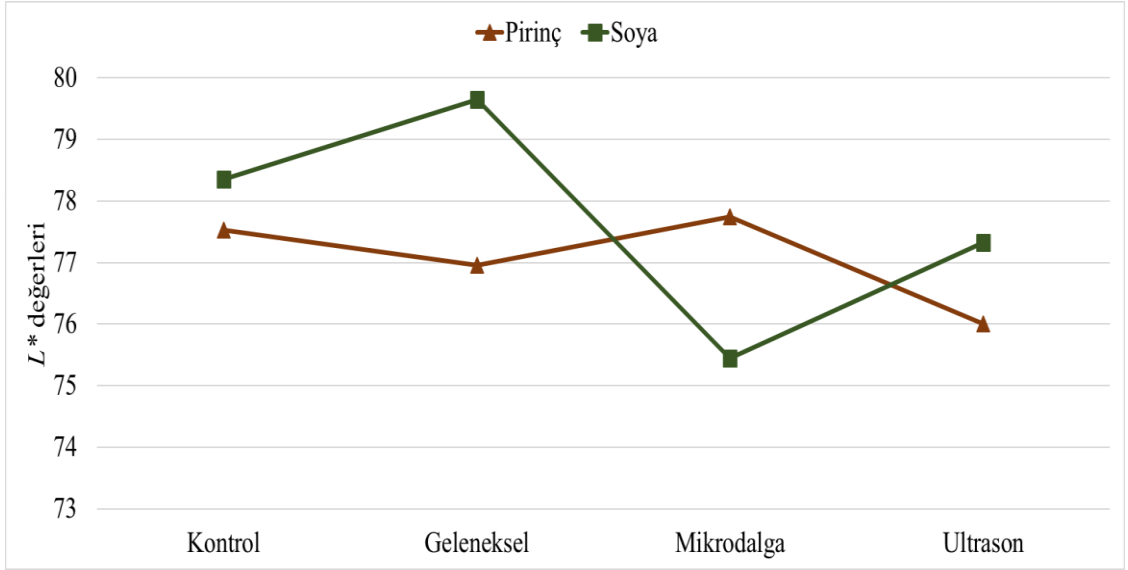
¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.6. Süt örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	Doygunluk indeksi	Ton açısı
<i>Hammadde çeşidi</i>						
Pirinç	8	77,06±0,84b	-0,60±0,05a	2,32±1,12b	2,40±1,10b	106,51±5,15a
Soya	8	77,69±1,65a	-2,62±0,34b	9,43±0,54a	9,79±0,51a	105,55±2,25a
<i>Üretim yöntemi</i>						
Kontrol	4	77,95±0,65a	-1,47±1,03a	6,27±4,11a	6,45±4,22a	104,51±5,89a
Geleneksel ısıt işlem	4	78,30±1,56a	-1,79±1,32b	6,35±4,28a	6,60±4,47a	105,29±2,54a
Mikrodalga	4	76,59±1,39b	-1,41±0,96a	5,56±4,43a	5,74±4,53a	106,11±3,39a
Ultrason	4	76,67±0,81b	-1,76±1,34b	5,31±3,87a	5,60±4,09a	108,21±3,49a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: Isıt işlem uygulanmamış

Süt örneklerinin L^* değerini etkileyen “hammadde çeşidi $\times$ üretim yöntemi” etkileşimi Şekil 4.4’e göre ele alındığında, pirinç kullanımı ile mikrodalga uygulanmış süt örnekleri dışında soya içeren süt örneklerine kıyasla daha düşük L^* değerleri elde edilmiştir. Kontrol grubu süt örnekleri ile kıyaslandığında pirinç sütü örneklerinde ultrason uygulaması ile soya sütü örneklerinde ise mikrodalga uygulaması ile en düşük L^* değerleri elde edilmiştir.

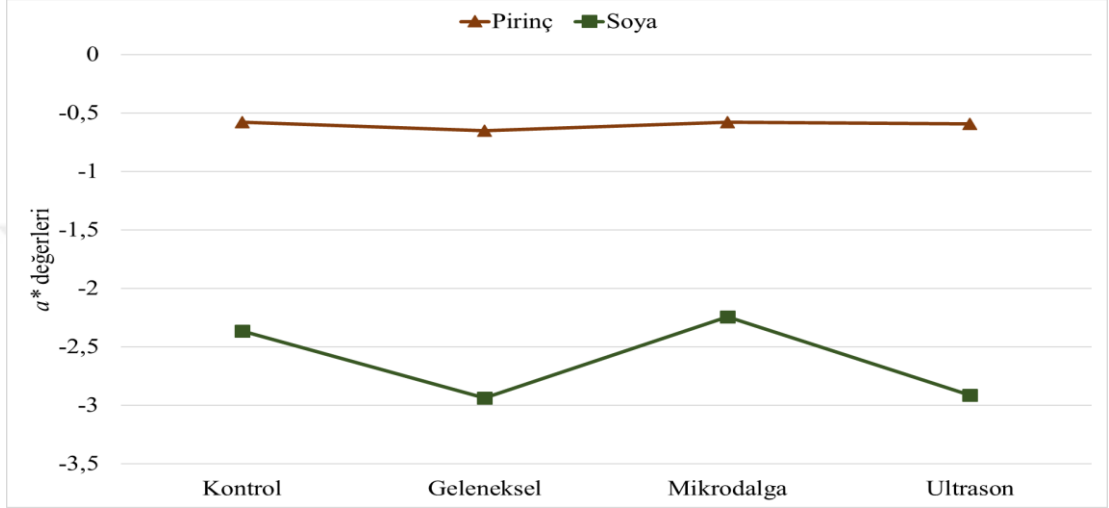


Şekil 4.5. Süt örneklerinin L^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Süt örneklerine ait a^* değeri sonuçlarının -2,94 ve -0,58 değerleri arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Çizelge 4.5’e göre a^* değeri üzerinde hammadde çeşidi ve üretim yöntemi ile “hammadde çeşidi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu $p < 0,01$ düzeyinde önemli düzeyde etkili bulunmuştur.

Çizelge 4.5 verileri hammadde çeşidi açısından incelendiğinde, a^* değerleri sırasıyla pirinç içeren süt örneklerinde ortalama -0,60 ve soya içeren süt örneklerinde ise ortalama -2,62 olarak tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Üretim yöntemi bakımından incelendiğinde süt örneklerinin a^* değerleri -1,79 ile -1,41 değerleri arasında değişim göstermiştir. En yüksek a^* değeri sonucu mikrodalga uygulaması ile üretilen süt örneklerinde tespit edilirken en düşük a^* değerleri ise geleneksel yöntem uygulanmış süt örneklerinde belirlenmiştir. Zhang ve ark. (2021), mikrodalga uygulaması sonrası soya sütü örneklerinde a^* değerinin kontrol örneklerine göre -2,7’den -1,9’a yükseldiğini

bildirmiştir. Benzer şekilde, Li ve ark. (2013) pirinç sütünde mikrodalga işleminin a^* değerini -0,8’den -0,4’e çıkardığını tespit etmiştir. Bu artış, mikrodalgaın neden olduğu ısı etkisiyle pigment yapısının değişmesine ve Maillard reaksiyonlarının tetiklenmesine bağlanmaktadır (Kong ve ark., 2023). Literatürde bildirilen bu sayısal değerler, mikrodalga işleminin a^* parametresinde pozitif yönde, yani daha kırmızımsı tonlara kaymaya neden olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.6. Süt örneklerinin a^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)

Süt örneklerinin a^* değerleri üzerinde “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonunun etkileri Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Pirinç sütü örneklerine ait a^* değerleri soya sütü örnekleri göre daha yüksek olarak bulunmuştur. Bitkisel süt üretim aşamalarına göre a^* değerlerindeki değişim soya içeren örneklerde daha belirgin olarak tespit edilmiş olup mikrodalga uygulaması kontrol grubu ile benzer özellik gösterirken geleneksel ve ultrason uygulaması daha düşük a^* değerlerinin elde edilmesine yol açmıştır.

Çizelge 4.4 incelendiğinde, b^* değerlerinin 1,73 ile 10,03 arasında değiştiği görülmektedir. Bu kapsamda, en yüksek b^* değerine geleneksel yöntemle üretilen soya sütü örneği (10,03) ulaşırken, en düşük b^* değeri mikrodalga yöntemiyle elde edilen pirinç sütü örneğinde (1,73) kaydedilmiştir. Yapılan varyans analizi, b^* parametresinin hammadde çeşidinden $p<0,01$ düzeyinde anlamlı biçimde etkilendiğini göstermiştir. Buna karşılık, üretim yöntemi ile “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” etkileşiminin b^* üzerinde istatistiksel açıdan önemli bir etkisinin bulunmadığı ($p>0,05$) tespit edilmiştir. Kullanılan hammadde türü dikkate alındığında çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında,

pirinç sütü örneklerine ait b^* değerleri ortalama 2,32 olarak bulunurken, soya sütü örneklerinin b^* değerleri ise ortalama 9,43 olarak tespit edilmiştir. Bu durum soyanın doğal pigment içeriği (özellikle karotenoidler) ile uyumludur (Messina, 2016). Üretim yöntemi faktörünün süt örneklerinin b^* değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmaması, uygulana işlemlerin doğrudan b^* değerlerini değiştirmedini göstermektedir.

Süt örneklerine ait doygunluk indeksi sonuçları Çizelge 4.4’ de sunulmuştur. Süt sonuçlarındaki ortalama doygunluk indeksi değeri 6,10 şeklinde bulunmuş olup süt örneklerinin doygunluk indeksi değerlerinin 1,82-10,45 arasında değiştiği görülmüştür. Varyans analiz sonuçları süt örneklerine ait doygunluk indeksi değeri bakımından incelendiğinde hammadde çeşidi faktörü $p < 0,01$ düzeyinde önemli olduğu üretim yöntemi faktörü ve “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksiyonunun istatistiki olarak önemsiz ($p > 0,05$) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Doygunluk indeksi değerleri arasında en yüksek verinin soya kullanılarak üretilen süt örneklerinde (9,79), en düşük doygunluk indeksi değeri ise pirinç (2,40) kullanılarak üretilen örneklerde bulunmuştur. Üretim yöntemi faktörü açısından süt örneklerinin doygunluk indeksi değerleri 5,60 ile 6,60 arasında değişim göstermiş olup uygulanan işlem çeşitlerinin süt örneklerinin doygunluk indeksi değerleri üzerinde bir değişime sebep olmamıştır. Üretim yönteminin doygunluk indeksi üzerinde anlamlı bir etkisinin gözlemlenmemesi, bu parametrenin büyük ölçüde hammaddenin özgün bileşimine bağlı olduğunu düşündürmektedir. Zhong ve Lamberts (2007, 2014) çalışmalarında, pirinç üzerinde uygulanan işleme koşullarının doygunluk değerini etkilediği rapor edilmişken, bu çalışmada değerlendirilen genel üretim yöntemlerinin doygunluk üzerinde belirgin bir değişiklik oluşturmadığı görülmüştür. Bu farklılık, kullanılan hammaddelerin (soya ve pirinç) yapısal özelliklerinden ve uygulanan işlem türlerinin (örneğin öğütme veya haşlama gibi geleneksel işlemler ile mikrodalga veya ultrason gibi modern teknikler) etkilerinin farklılığından kaynaklanıyor olabilir.

Süt örneklerine ait ton açısı indeksi sonuçları Çizelge 4.4’te sunulmuştur. Buna göre, örneklerin ton açısı değerlerinin pirinç kullanılan süt örnekleri 104,27 ile 108,79 arasında, soya kullanılarak elde edilen süt örneklerinde ise 103,43 ile 108,63 arasında değişiklik olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.4). Varyans analizinin bulgularına göre ton açısı değeri üzerinde; hammadde çeşidi faktörü $p < 0,01$ düzeyinde önemli, üretim yöntemi ve “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” etkileşimi ise $p > 0,05$ düzeyinde önemsiz görülmüştür (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.6’da verilen çoklu karşılaştırma testinden elde edilen bulgulara göre, pirinç kullanılarak üretilen süt örneklerinin ortalama ton açısı değeri (106,51), soya kullanılarak elde edilen örneklerin ton açısı ölçümlerinden (105,55) daha yüksek gözlemlenmiştir. Ton açısında değerler arasında görülen bu değişimin istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığı saptanmıştır. Sonuçlar üretim faktörü açısından değerlendirildiğinde, süt örneklerinin ton açısı değerleri geleneksel, mikrodalga ve ultrason uygulaması ile hafif bir değişim göstermiştir. Bu değişim, üretim yöntemine göre ile 104,51’den 108,21’e kadar gerçekleşmiştir ($p>0,05$). Bu bulgular, hammadde çeşidinin süt örneklerinin renk özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını; soya sütlerin, pirinç sütlere kıyasla daha yüksek b^* değeri göstermektedir. Ayrıca, mikrodalga ve ultrason gibi işleme yöntemlerinin L^* ve a^* değerleri üzerinde kontrol grubuna göre belirgin etkiler oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu renk farklılıkları, son ürünün algılanan kalitesi ve tüketici kabulü üzerinde etkili olabileceğinden, ürün geliştirme sürecinde dikkate alınmalıdır (Sotelo-Lara ve ark., 2024).

Bitkisel sütlerin toz formuna dönüştürülmesi aşamasında kullanılacak üretim yöntemlerinin belirlenmesinde, ilk aşamada elde edilen süt örneklerinin fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinden yararlanılmıştır. Mikrodalga uygulamasının renk parametreleri üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler ve yüksek sıcaklık gradyanlarına bağlı olarak meydana gelen termal bozulmalar nedeniyle sonraki aşamaya dâhil edilmemiştir. Mikrodalga işleminde oluşan hızlı ve düzensiz ısı dağılımı, özellikle proteinlerin yapısında geri dönüşü olmayan denatürasyonlara yol açmakta ve Maillard reaksiyonlarının hızlanması sonucunda ürün renginde koyulaşmaya neden olabilmektedir. Bu durum, kurutma sonrası toz ürünlerde çözünürlük, rehidrasyon ve görsel kalite gibi özellikler üzerinde istenmeyen sonuçlar oluşturma potansiyeline sahiptir.

Bu nedenle, çalışmanın ikinci aşamasında ısı etkinin daha kontrollü şekilde gerçekleştiği geleneksel ısı işlem ile mekanik enerjiye dayalı ultrason uygulaması seçilmiştir. Bu iki yöntemin birlikte değerlendirilmesi, bitkisel sütlerin bileşen yapısı üzerindeki farklı işlem mekanizmalarının etkilerini daha net ortaya koymakta ve hem ısı hem de mekanik temelli süreçlerin kurutma sonrası ürün özellikleri üzerindeki katkılarının karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece, bitkisel sütlerin fonksiyonel kalitesini koruyan, enerji açısından verimli ve renk bakımından istenen özellikleri sağlayan en uygun işlem yaklaşımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.2. Bitkisel Süt Tozlarına Ait Analiz Sonuçları

4.2.1. pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi sonuçları

Mikrodalga işlemi, süt fazında renk ve yapı kararlılığını olumsuz etkilediği için bu aşamada değerlendirmeye alınmamıştır. Bu bölümde, kontrol, geleneksel ve ultrason yöntemleriyle üretilen süt tozu örneklerinin pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi değerleri incelenmiştir.

Farklı hammadde çeşidi, üretim yöntemi ve kurutma yöntemi içeren süt tozu örneklerinin pH değerleri 5,64-6,44 değerlerin bu aralıkta değiştiği ve ortalama pH'nın 6,07 olarak hesaplandığı görülmektedir (Çizelge 4.7). Pirinç kullanılan süt tozu örneklerinde en yüksek pH değeri kırımım pencereli kurutma ile elde edilen örneklerde 6,31 olarak belirlenirken, soya kullanılan süt tozu örneklerinde de benzer olarak kırımım pencereli kurutma işlemi ile 6,44 olarak en yüksek pH değeri elde edilmiştir. Çizelge 4.7'de verilen pH değerlerinde gözlemlendiği gibi süt tozu örneklerinde kurutma yönteminin etkinliği hammadde kullanımına göre değişim göstermekte olup pirinç süt tozu örneklerinde kırımım pencereli kurutma ile pH değerleri daha yüksek elde edilirken soya süt tozu örneklerinde bu değerler dondurarak kurutma yöntemi ile daha yüksek belirlenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre; hammadde çeşidi, kurutma yöntemi, üretim yöntemi faktörleri ve “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonunun pH değerleri üzerinde önemsiz ($p>0,05$) olduğu, “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksiyonunun $p<0,05$ düzeyinde, “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” ile “kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonlarının ise $p<0,01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.8).

Süt tozu örneklerine ait pH değerlerinin çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Hammadde çeşidi açısından pH değerleri incelendiğinde, pirinç kullanılan süt tozu örneklerin ortalama pH değeri (6,06), soya kullanılan süt tozu örneklerin ortalama pH değerinden (6,08) daha az bir değer gözlemlenmiştir. Bu farklılığın istatistiki açıdan önemsiz olduğu belirlenmiştir ($p>0,05$). Kurutma yöntemi açısından karşılaştırıldığında; en yüksek pH değerinin (6,11) kırımım pencereli kurutma (KPK) işleminin uygulandığı süt tozu örneklerinde, en düşük pH değerinin (6,04) ise dondurarak kurutulmuş (DK) süt tozu örneklerinde belirlenmiş olup bu farklılığın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$). Elde edilen sonuçlar üretim yöntemi açısından değerlendirildiğinde; kontrol grubu süt tozu örneklerinin pH değeri

5,99 olarak belirlenmiş, bunu 6,06 ile ultrason uygulaması ve 6,17 ile geleneksel ısıtma işlem uygulaması takip etmiştir. Süt tozu üretiminde uygulanan farklı işlem basamaklarının pH üzerinde etkili olduğu ve özellikle kurutma yönteminin pH stabilitesi üzerinde rol oynadığı literatürde de belirtilmektedir (Chen ve ark., 2008; Liu ve ark., 2023). Geleneksel yöntemde pH değerinin nispeten yüksek bulunması, ısıtma sırasında proteinlerin tamponlama kapasitesinde meydana gelen kısmi değişimlerle ilişkilendirilebilirken, ultrason uygulamasında ise hücre duvarı yıkımı sonucu açığa çıkan iyonik bileşenlerin çözeltinin tampon kapasitesini artırmış olabileceği düşünülmektedir (Wang ve ark., 2021; Zhong ve Lamberts, 2014).

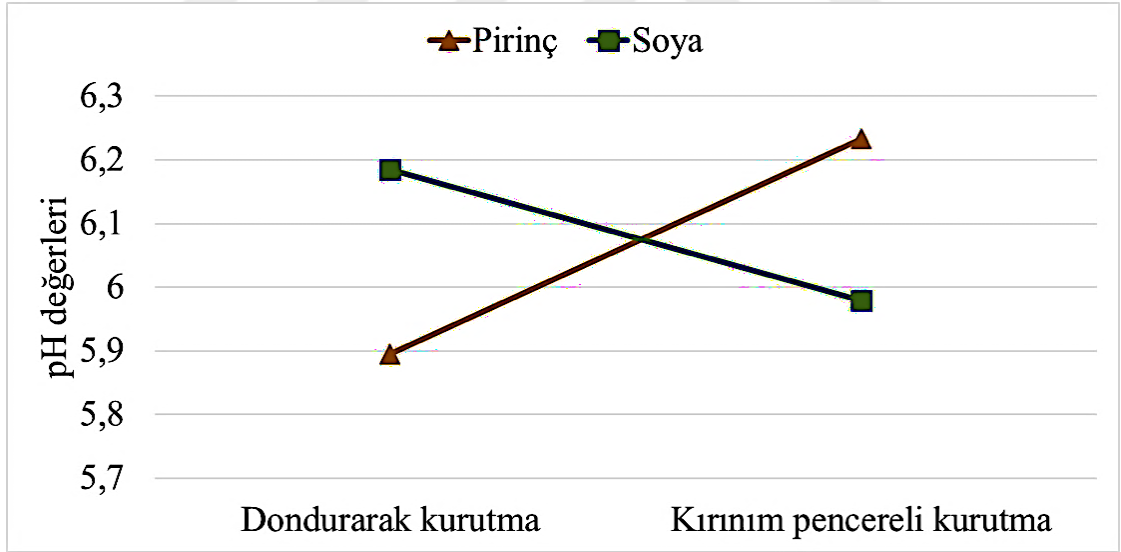
Bitkisel kaynaklı süt tozlarının pH değerlerinin, büyük ölçüde hammaddenin özgün bileşimi ve uygulanan işleme koşullarına bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir. Kurutma yöntemlerinin de pH stabilitesi üzerinde etkili olabileceği çeşitli çalışmalarda vurgulanmaktadır. Liu ve ark. (2023), farklı kurutma tekniklerinin bitkisel süt tozlarının pH seviyelerinde anlamlı değişikliklere yol açtığını belirtirken; Chen ve ark. (2008), püskürtme kurutma işleminin soya sütü pH'ını etkileyebileceğini, bu etkinin ısıtma işlem sırasında gerçekleşen Maillard reaksiyonları veya lipid oksidasyonu gibi kimyasal süreçlerden kaynaklanabileceğini ifade etmektedir. Bizim çalışmamızda püskürtme kurutma kullanılmamakla birlikte, kırıyım pencereli kurutma işleminde gözlenen pH değişikliklerinin benzer şekilde ısıtma kaynaklı reaksiyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum, dondurarak kurutma yönteminde pH'ın daha stabil kalmasıyla da desteklenmektedir. Araştırmacılar, bu değerin süt proteinlerinin stabilitesi açısından uygun olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Singh ve ark. (2023) yürütülen bir çalışmada, çeşitli düzeylerde yeniden çözündürülmüş soya sütü tozu çözeltilerinin pH değerleri incelenmiş, taze hazırlanan örneklerde pH 6,78; %5 oranında rehidrasyon yapılan numunelerde ise pH 6,83-6,87 aralığında bulunmuştur. Bu sonuçlar, soya sütü tozlarının pH değerlerinin oldukça stabil olduğunu göstermektedir.

Pirinç sütü üzerine yapılan çalışmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir. Sri Lanka'da geliştirilen değer katılmış pirinç içeceğinde başlangıç pH'ı 6,23 olup 4 °C'de 15 günlük depolamada 5,90'e düşmüş, kontrol içeceğine göre pH düşüşü daha sınırlı kalmıştır (Goonathilaka ve ark., 2023). Formülasyonun ve prosesin pH'ı geniş aralıkta değiştirebildiğine dair bir başka bulguda, hidrojen açısından zengin suyla hazırlanan pirinç sütlerinde çeşit/işlem kombinasyonuna göre pH 4,66-6,34 arasında rapor edilmiştir (Zor ve ark., 2024). Bu bulgular, pirinç bazlı ürünlerde kullanılan katkıların ve proses şartlarının pH üzerinde ciddi etkiler gösterebildiğini ortaya koymakta olup, çalışmamızda

kırınım pencereli kurutma (KPK) işleminin pirinç sütü pH'ını yükseltici yönde etkisi bu literatürle uyumlu bulunmuştur.

Püskürterek kurutulmuş soya sütü tozunun yeniden süspansiyonunda pH'ın 12 aylık depolama süresince 6,68'den 7,06'ya yükseldiği bildirilmiş; bu da kurutma/depolama koşullarının pH üzerinde anlamlı etkileri olabileceğini göstermektedir (Osthoff ve ark., 2010). Buna ek olarak, Najman ve ark. (2024) gerçekleştirdikleri çalışmada, pirinç içeceklerinin kimyasal profili ve fiziksel özellikleri incelenmiş ve pH değerlerinin 6,3–7,4 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu farklılığın, üretim sürecinde uygulanan fermentasyon, mineral eklenmesi veya katkı maddesi kullanımından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Süt tozu örneklerinin pH sonuçları “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” etkileşimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilen süt tozu örneklerinde pH değerleri soya kullanılan örneklerde daha yüksek bulunurken kırınım pencereli kurutma yönteminin uygulandığı süt tozu örneklerinde ise bu değerler pirinç kullanılan süt tozu örneklerinde daha yüksek olarak belirlenmiştir.

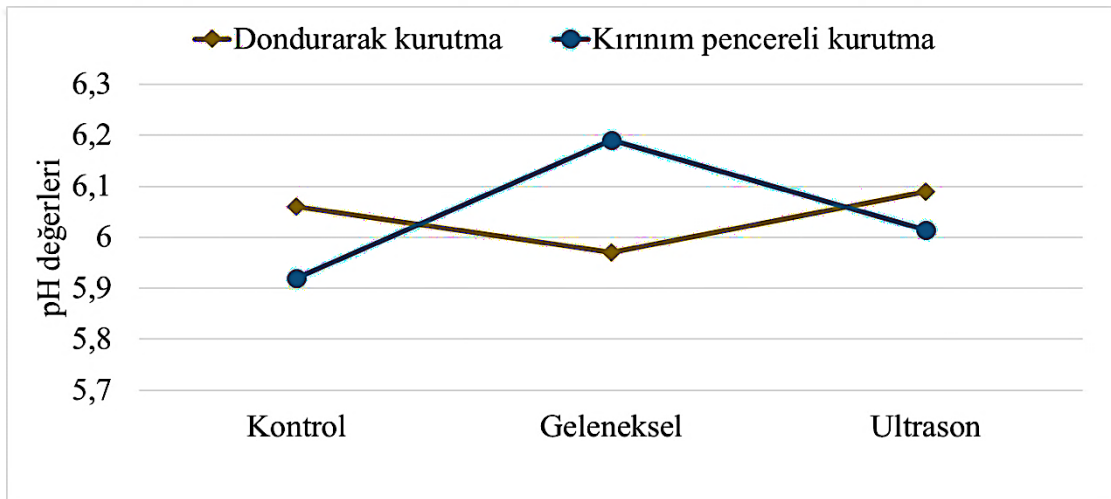


Şekil 4.7. Süt tozu örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Bu farklılıklar, kullanılan hammadde bileşenlerinin özgün kimyasal yapısı ve kurutma yöntemlerine bağlı olarak gerçekleşen ısı ve kimyasal reaksiyonların etkisine bağlanmaktadır (Chen ve ark., 2008; Chung ve ark., 2018). Dolayısıyla, çalışmamızdan elde edilen bulgular hem hammadde seçiminin hem de uygulanan kurutma yönteminin

pH stabilitesi üzerinde kritik rol oynadığını, özellikle dondurarak kurutma yönteminin bitkisel süt tozlarında daha kararlı ve güvenilir bir pH profili sağladığını göstermektedir.

Süt tozu örneklerinin pH değerlerinin “kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksiyonu Şekil 4.8’de verilmiştir. Geleneksel yöntem ile üretilen ve kırınım pencereli kurutma (KPK) işlemine tabi tutulan süt tozu örneklerinde pH değerleri, diğer uygulamalara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Buna karşılık, aynı kurutma yöntemi altında kontrol grubu ve ultrason uygulaması ile elde edilen süt tozu örneklerinin pH değerleri daha düşük olarak belirlenmiştir. Dondurarak kurutma (DK) yönteminde ise geleneksel üretim yönteminin diğer üretim yöntemlerine kıyasla pH değerinde bir azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8. Süt tozu örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “üretim yöntemi $\times$ kurutma yöntemi” interaksiyonu

Süt tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.7’de, bu değerlere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Emülsiyon kapasite değerleri ortalamalarının çoklu karşılaştırma testinden elde edilen veriler ise Çizelge 4.9’da özetlenmiştir. Değerlendirilen süt tozu numunelerine ait emülsiyon kapasitesi değeri %50,48 ile %98,68 arasında değişmiştir (Çizelge 4.7). Süt tozu örneklerine ait emülsiyon kapasitesi değerleri soya kullanılan süt tozu örneklerinde daha yüksek olarak bulunmuştur. Süt tozlarına ait yüksek emülsiyon kapasitesi soya proteinlerinin yüzey aktif özelliklerinin pirinç proteinlerine kıyasla daha güçlü olmasından kaynaklanmaktadır (Zhang ve ark., 2021). Soya proteinlerinin bu üstünlüğü, yüksek oranda globulin fraksiyonları içermesi ve bu fraksiyonların emülsiyon yüzeyinde stabil tabaka

oluşturabilmesiyle açıklanmaktadır. Pirinç proteinlerinin ise albümin ve glutenin ağırlıklı yapısı, emülsiyon stabilitesinde sınırlayıcı etki yaratabilmektedir.

Sonuçlara göre süt tozlarının emülsiyon kapasitesi değeri üzerinde, hammadde çeşidi değişkeni ve “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu $p<0,01$ düzeyinde, kurutma yöntemi faktörünün $p<0,05$ düzeyinde önemli olduğu belirlenirken, üretim yöntemi faktörü, “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi”, “kurutma yöntemi x üretim yöntemi” ve “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonlarının ise önemsiz olduğu gözlemlenmiştir ($p>0,05$).

Çizelge 4.7. Süt tozu örneklerine ait pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi değerleri¹

Hammadde çeşidi	Üretim yöntemi	Kurutma yöntemi	pH	Emülsiyon kapasitesi (%)	Köpük kapasitesi (%)
Pirinç sütü	Kontrol	DK	5,87±0,01	64,87±1,39	8,67±2,83
		KPK	6,21±0,01	57,41±2,77	6,00±0,94
	Geleneksel	DK	5,72±0,01	58,62±0,00	11,33±2,83
		KPK	6,31±0,00	50,48±4,04	9,94±1,03
	Ultrason	DK	6,10±0,01	56,06±0,98	15,67±1,41
		KPK	6,18±0,01	55,35±4,20	4,00±0,00
Soya Sütü	Kontrol	DK	6,24±0,00	90,89±3,76	28,33±1,41
		KPK	5,64±0,01	92,06±4,49	21,33±1,89
	Geleneksel	DK	6,23±0,01	95,00±0,00	19,50±1,18
		KPK	6,44±0,52	94,32±0,28	13,85±0,73
	Ultrason	DK	6,09±0,00	98,68±1,86	23,33±0,94
		KPK	5,87±0,01	94,59±0,00	20,33±0,47
Minumum-Maksimum			5,64-6,44	50,48-98,68	4,00-28,33
Ortalama±std			6,07±0,25	75,70±19,73	15,19±7,50

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütündaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0,05$). Kontrol: Isıl İşlem uygulanmamış, DK: Dondurarak kurutma, KPK: Kırınım pencereci kurutma

Çizelge 4.8. Süt tozu örneklerinin pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	pH		Emülsiyon kapasitesi (%)		Köpük kapasitesi (%)	
		KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	0,00	0,08ns	8269,87	1204,43**	841,89	354,16**
Üretim yöntemi (B)	2	0,14	3,04ns	14,39	1,05ns	28,54	6,00*
Kurutma yöntemi (C)	1	0,03	1,17ns	66,07	9,62*	164,11	69,04**
A×B	2	0,27	6,14*	139,03	10,12**	131,49	27,66**
A×C	2	0,27	6,14*	139,03	10,12**	131,49	27,66**
B×C	2	0,34	7,71**	4,15	0,30ns	14,99	3,15ns
A×B×C	2	0,12	2,73ns	43,87	3,19ns	56,02	11,78**
Hata	12	0,27		82,40		28,53	

¹ * $p<0,05$ düzeyinde önemli. ** $p<0,01$ düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.9. Süt tozu örneklerinin pH, emülsiyon kapasitesi ve köpük kapasitesi değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları sonuçları¹

Faktör	n	pH	Emülsiyon kapasitesi (%)	Köpük kapasitesi (%)
<i>Hammadde çeşidi</i>				
Pirinç	12	6,06±0,22a	57,13±4,92b	9,27±4,14b
Soya	12	6,08±0,32a	94,26±3,17a	21,11±4,62a
<i>Üretim yöntemi</i>				
Kontrol	8	5,99±0,27a	76,31±16,65a	16,08±9,88a
Geleneksel	8	6,17±0,35a	74,60±21,72a	13,66±4,10b
Ultrason	8	6,06±0,13a	76,17±22,01a	15,83±7,89a
<i>Kurutma yöntemi</i>				
Dondurarak kurutma	12	6,04±0,20a	77,35±18,68a	17,81±7,20a
Kırınım pencereleli kurutma	12	6,11±0,32a	74,04±20,76b	12,58±6,95b

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: Isıl İşlem uygulanmamış

Çoklu karşılaştırma analiz bulguları hammadde çeşidi bakımından karşılaştırıldığında; en yüksek emülsiyon kapasitesi değeri soya kullanılan süt tozu örneklerinde (%94,26), en düşük emülsiyon kapasitesi değeri ise pirinç kullanılan süt tozu örneklerinde belirlenmiştir (%57,13) (Çizelge 4.9). Proteinlerin emülsiyon kapasitesinin; protein yapısı, hidrofobisite, esneklik ve moleküler ağırlık gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değiştiği genel kabul görmektedir (Day, 2013). Zhao ve ark. (2020), soya proteinlerinin yüksek moleküler esneklikleri ve hidrofobik bölgeleri sayesinde güçlü emülsiyon oluşturma yeteneğine sahip olduklarını belirtmiş; Zhu ve ark. (2020) ise soya proteinlerinin emülsifiye edici özelliklerinin bitkisel süt alternatiflerinin stabilitesi açısından kritik rol oynadığını vurgulamıştır. Bu nedenle çalışmamızda soya sütü tozlarının pirinç sütü tozlarına kıyasla daha yüksek emülsiyon kapasitesi göstermesi hem protein fraksiyon yapısı hem de literatürle uyum açısından beklenen bir bulgudur.

Kurutma yöntemi açısından incelendiğinde; dondurarak kurutulan süt tozu örneklerinin ortalama emülsiyon kapasitesi değerinin (%77,35), kırınım pencereleli kurutma ile elde edilen süt tozu örneklerinin ortalama emülsiyon kapasitesi değerinden (%74,04) daha yüksek olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.9). Dondurarak kurutmanın düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi, protein yapısında denatürasyonu en aza indirerek yüzey aktif bölgelerin korunmasını sağlamakta; bu da emülsiyon kapasitesinin yüksek bulunmasını açıklamaktadır.

Süt tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değerleri üzerinde üretim yönteminin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0,05). Süt tozu örneklerinin ortalama emülsiyon kapasitesi değerleri sırasıyla kontrol grubu için %76,31, geleneksel yöntemle üretilenler için %74,60 ve ultrason uygulamasıyla elde edilenler için %76,17 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Bu sonuçlar, üretim yöntemi faktörünün tek başına belirgin

bir etki yaratmadığını, ancak uygulanan işlemlerin proteinlerin yüzey aktif özelliklerini farklı düzeylerde etkileyebildiğini göstermektedir.

Soya kullanılan süt tozu örneklerinin pirinç kullanılan örneklere kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek emülsiyon kapasitesi göstermesi ($p<0,05$), literatürde bildirilen bulgularla uyumludur. Rahman ve ark. (2021), ultrason uygulamasının bitkisel proteinlerin yüzey aktif özelliklerini iyileştirerek emülsiyon kapasitesini artırdığını bildirmiştir. Bu durum, ultrasonun neden olduğu kısmi protein açılmaları sayesinde hidrofobik grupların yağ-su ara yüzeyine göçünün kolaylaşmasıyla açıklanabilir. Adams ve ark. (2014) dondurarak kurutma yönteminin protein yapısında denatürasyonu en aza indirerek fonksiyonel özelliklerin korunmasına katkı sağladığını belirtmiştir. Benzer şekilde, Liu ve ark. (2023) daha az tahrip edici kurutma tekniklerinin (örneğin dondurarak kurutma) proteinlerin fonksiyonel özelliklerini daha iyi koruduğunu rapor etmiştir.

Nindo ve ark. (2003) kırımın pencereci kurutma yöntemini değerdendirdikleri çalışmalarında, yöntemin enerji verimliliği ve besin ögesi korunumu açısından avantajlı olduğunu, ancak protein fonksiyonelliğinde dondurarak kurutmaya kıyasla bazı kayıplar gözlemlendiğini bildirmiştir. Bu bulgularla paralel olarak, çalışmamızda da dondurarak kurutulan örneklerin emülsiyon kapasitesinin daha yüksek bulunması, yöntemin protein yapısını daha iyi koruduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, elde edilen veriler bitkisel süt tozu üretiminde kullanılan kurutma ve üretim yöntemlerinin, ürünlerin emülsiyon kapasitesi üzerinde modüle edici bir etki yarattığını ve literatürde bildirilen eğilimlerle uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır.

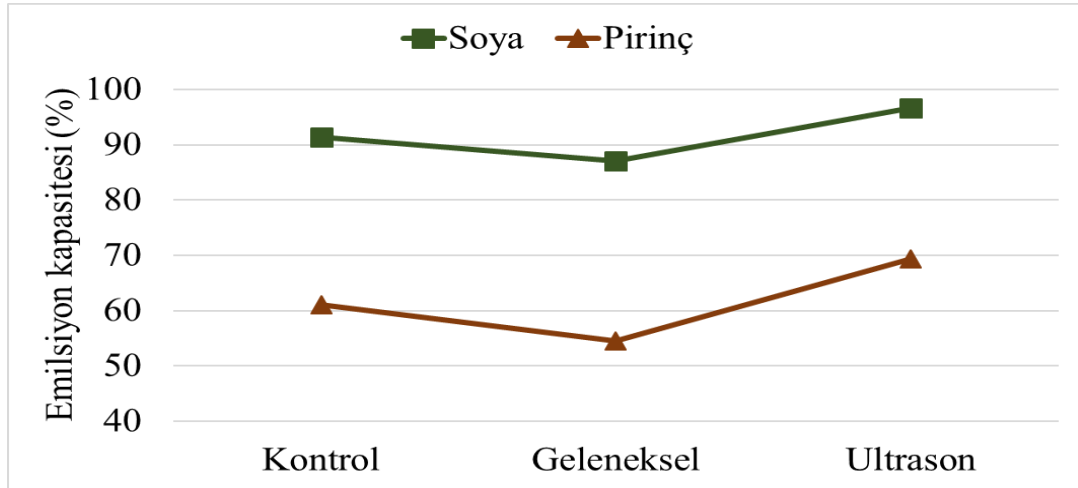
Süt tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değeri üzerine etkili “*hammadde çeşidi × üretim yöntemi*” interaksyonu incelendiğinde, en yüksek emülsiyon kapasite değerdlerinin soya kullanılan süt tozu örneklerinde, en düşük değerdlerin ise pirinç kullanılan örneklerde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Üretim yöntemi açısından değerdlendirildiğinde ise ultrason uygulamasının hem soya hem de pirinç süt tozu örneklerinde emülsiyon kapasitesini artırıcı etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Jiang ve ark. (2014), soya proteini üzerinde gerçekteştirdikleri ultrason uygulamasında proteinin emülsiyon stabilitesinde anlamlı iyileşmeler elde ettiklerini bildirmiştir. Benzer şekilde Hu ve ark. (2013), pirinç proteinine uygulanan ultrason işleminin çözünürlük ve emülsiyon özelliklerini geliştirdiğini rapor etmiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızda pirinç sütü tozlarında gözlemlenen artışla da uyumludur ve ultrason uygulamasının özellikle düşük yüzey aktif özelliklere sahip proteinlerde daha belirgin fayda sağladığını göstermektedir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, çalışmanın ilerleyen aşamalarında ultrason destekli üretim yöntemi tercih edilmiştir. Ultrason uygulamasının, proteinlerin yüzey aktif özelliklerini iyileştirerek emülsiyon kapasitesini artırdığı ve bu yolla süt tozlarının fonksiyonel özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir.

Kurutma yöntemleri açısından değerlendirildiğinde, dondurarak kurutma yönteminin kırım pencereci kurutmaya göre daha yüksek emülsiyon kapasitesi değeri sağladığı görülmüştür. Bunun nedeni, dondurarak kurutmanın düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi ve protein yapısında denatürasyonu en aza indirerek fonksiyonel özelliklerin daha iyi korunmasını sağlamasıdır. Liu ve ark. (2023) ile Adams ve ark. (2014) tarafından da bildirildiği üzere, dondurarak kurutma proteinlerin fonksiyonel özelliklerini koruma açısından en etkili yöntemlerden biridir. Buna karşılık, kırım pencereci kurutma yöntemi enerji verimliliği ve endüstriyel uygulanabilirlik bakımından avantaj sağlasa da, protein fonksiyonelliğinde dondurarak kurutmaya kıyasla kısmi kayıplara neden olabilmektedir (Nindo ve ark., 2003).

Sonuç olarak, bu çalışmada emülsiyon kapasitesi bakımından en yüksek değeri dondurarak kurutma ve ultrason kombinasyonu ile elde edilmesi, bu tekniklerin protein fonksiyonelliğini koruma ve iyileştirme yönündeki etkilerini açık biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 4.9. Süt tozu örneklerinin emülsiyon kapasitesi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Kullanılan süt tozlarına ilişkin ilişkin köpük kapasitesi bulguları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge 4.8’de varyans analizine ilişkin bulgulara, Çizelge 4.9’da ise çoklu karşılaştırma testinden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Süt tozu örneklerine ait

köpük kapasitesi değerleri %4,00 - %28,33 belirtilen aralıkta farklılık göstermiş ve ortalamanın %15,19 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Soya kullanılan süt tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerlerinin pirinç kullanılan süt tozu örneklerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Geleneksel ve ultrason işlemi uygulanarak elde edilen süt tozu örneklerinde dondurarak kurutma ve kırınım pencereli kurutma proseslerinin etki mekanizması benzer olarak belirlenmiş olup dondurarak kurutma yönteminin ürün köpük kapasitesi değerleri üzerinde daha olumlu etki gösterdiği belirlenmiştir.

Benzer şekilde Chen ve ark. (2008), soya proteini üzerine yaptıkları çalışmada dondurarak kurutulan örneklerde köpük kapasitesini %21,4 püskürterek kurutulan örneklerde ise %14,7 olarak belirlemiş ve dondurarak kurutmanın düşük sıcaklık avantajı sayesinde proteinlerin köpük oluşturma kapasitesini daha iyi koruduğunu bildirmiştir. Maghsoudlou ve ark. (2016) da kinoa protein konsantresinde farklı kurutma yöntemlerini karşılaştırmış, dondurarak kurutulmuş örneklerde köpük kapasitesini %28,5; sıcak hava ile kurutulmuş örneklerde %19,2 olarak bulmuş ve köpük stabilitesinin de dondurarak kurutma yönteminde daha uzun süre korunduğunu rapor etmiştir. Sim ve ark. (2021) ise soya ve badem sütünden elde edilen tozlarda yaptıkları araştırmada, dondurarak kurutma yöntemiyle sırasıyla %30,1 ve %26,4 köpük kapasitesi değerlerine ulaşırken, kırınım pencereli kurutmada bu değerleri %22,8 ve %19,7 olarak rapor etmiştir. Bu sonuçlar, düşük sıcaklıkta gerçekleşen dondurarak kurutma işleminin, proteinlerin yüzey gerilimini düşürme yeteneğini koruyarak köpük oluşumunu desteklediğini göstermektedir.

Bu literatür bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde, dondurarak kurutma yönteminin protein yapısında meydana gelebilecek denatürasyonu en aza indirerek yüzey aktiflik özelliklerini koruduğu ve bu sayede süt tozu örneklerinde köpük kapasitesine koruyucu bir etki sağladığı açıkça görülmektedir. Süt tozu örneklerin köpük kapasitesi değerlere yönelik varyans analizi bulguları gözden geçirildiğinde, hammadde çeşidi, kurutma yöntemi değişkenleri ile “*hammadde çeşidi x üretim yöntemi*” ve “*hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi*” interaksiyonlarının köpük kapasitesi değerleri üzerinde $p < 0,01$ düzeyde önemli ve “*hammadde çeşidi x kurutma yöntemi*” ile “*kurutma yöntemi x üretim yöntemi*” interaksiyonlarının önemsiz olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Sonuçlar incelendiğinde, köpük kapasitesi değerlerinde hammadde çeşidinin faktörü soya kullanımı ile süt tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerlerinin (%21,11) pirinç kullanılan süt tozu örneklerinden (%9,27) daha yüksek olması ile etkisini göstermektedir. Soya proteinlerinin hem köpüklenme hem de emülsifikasyon

özelliklerinin daha gelişmiş olmasından kaynaklanmaktadır (Sim ve ark., 2021). Soya proteinlerinin bu üstünlüğü, amfifilik yapılarının yüzey gerilimini düşürmede daha etkin olması ve globulin fraksiyonlarının köpük stabilitesini artırıcı rol oynamasıyla da desteklenmektedir.

Kurutma faktörü açısından köpük kapasitesi değeri dondurarak kurutma ile elde edilen süt tozu örneklerinde (%17,81) kırımın pencereli kurutma ile kurutulan süt tozu örneklerine (%12,58) göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Üretim yöntemi faktörü açısından kontrol grubu süt tozları ile ultrason uygulamasının benzer köpük kapasitesi değerleri gösterdiği ancak geleneksel yöntem ile elde edilen süt tozlarının ise daha düşük köpük kapasitesine sebep olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda ise dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen süt tozlarının kırımın pencereli kurutma yöntemine kıyasla daha yüksek köpük kapasitesine sahip olması, bu bulgularla örtüşmektedir. Bu bulgular, dondurarak kurutma yönteminin süt tozu örneklerinde daha yüksek köpük kapasitesi sağlamasıyla paralellik göstermektedir. Yang ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, bezelye protein ekstraktlarının hem dondurarak kurutulduğu hem de püskürtmeli kurutma yöntemine tabi tutulduğu örneklerde köpük stabilizasyon özelliklerinin benzer düzeyde olduğu, ancak işleme koşulları (ısı, proteinin yapısı) fonksiyonelliği yönlendirici etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Bu, bizim çalışmamızda dondurarak kurutmanın köpük kapasitesini daha iyi korumasıyla paralellik göstermektedir.

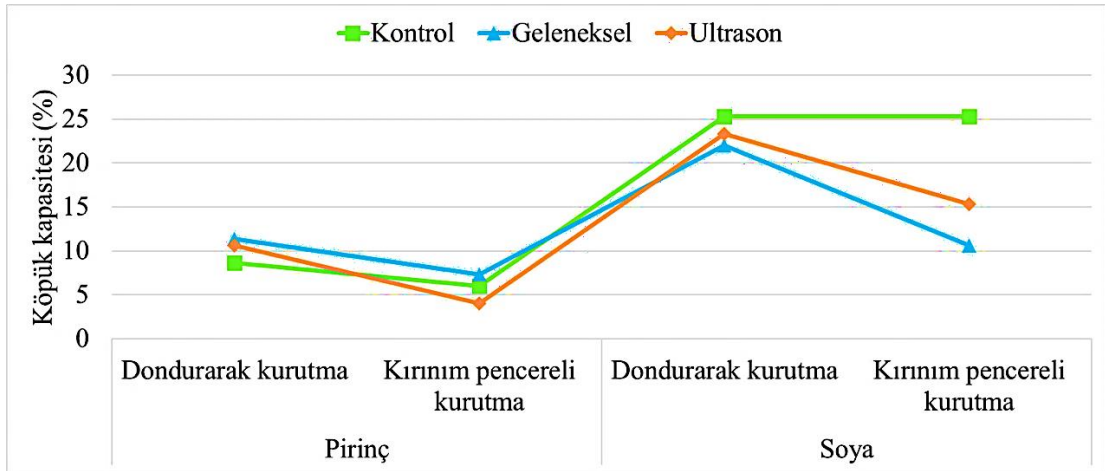
Süt tozu üretiminde uygulanan ultrason uygulamasının geleneksel yöntemle göre köpük kapasitesi üzerinde daha olumlu etkiler göstermiştir; bu durumun, ultrasonun proteinlerin yüzey özelliklerini ve yapılarını değiştirerek fonksiyonel özelliklerini iyileştirmesi ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Chen ve ark., 2022). Ultrason uygulaması, protein agregatlarını parçalayarak ve hidrofobik bölgeleri açığa çıkararak köpüklenme kapasitesini artırmaktadır. Bu nedenle, pirinç proteinlerinde de sınırlı da olsa iyileştirici etki göstermesi beklenen bir bulgudur. Hu ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, soya protein izolatlarına uygulanan ultrason işlemi sonucunda köpürme kapasitesinde yaklaşık %25-30 artış gözlemlenmiştir. Zhang ve ark. (2017)'de yüksek yoğunluklu ultrason (20 kHz, 400 W, 15 dakika) uyguladıkları soya proteinlerinde köpürme kapasitesinin %20'den fazla yükseldiğini ve köpük stabilitesinin anlamlı biçimde iyileştiğini rapor etmişlerdir. Bu bulgular, yüksek sıcaklığa dayalı geleneksel işlemlerin proteinlerin yüzey aktif özelliklerini zayıflattığını, ultrason gibi alternatif

yöntemlerin ise köpürme kapasitesini artırarak fonksiyonel özelliklerin korunmasında avantaj sağladığını göstermektedir.

Ayrıca, literatürde proteinlerin köpüklenme kapasitelerinin; protein konsantrasyonu, pH, tuz iyonları, sıcaklık ve uygulanan işleme yöntemi gibi çeşitli faktörlerden etkilendiği belirtilmektedir. Zhu ve ark. (2020), soya proteinlerinin pirinç proteinlerine kıyasla daha iyi köpük oluşturma ve stabilizasyon yeteneğine sahip olduğunu ifade etmiştir. Bu durum, soya proteinlerinin amfifilik yapısı ve yüzey gerilimini düşürme kapasiteleri ile ilişkilidir. Benzer şekilde, Guo ve ark. (2021), soya protein izolatlarının pirinç proteinlerine göre daha üstün köpüklenme özellikleri sergilediğini rapor etmiştir. Çalışmamızda, soya bazlı örneklerin daha yüksek köpük kapasitesi göstermesi, bu literatür bulgularıyla doğrudan örtüşmektedir. Ultrason uygulamasının köpük kapasitesi üzerindeki olumlu etkileri, Chen ve ark. (2022) tarafından yapılan bir derlemede de vurgulanmıştır. Ultrason uygulamasının, protein agregatlarını parçalayarak, proteinlerin kısmi denatürasyonunu sağlayarak veya yüzey hidrofobikliğini artırarak ara yüzey adsorpsiyonunu ve köpük oluşumunu iyileştirdiği bildirilmektedir. Ayrıca, Kong ve ark. (2023), ultrasonun bitkisel proteinlerin fonksiyonel özelliklerini nasıl geliştirdiğine dair kapsamlı bir değerlendirme sunmuştur. Dolayısıyla, çalışmamızda ultrason uygulamasının geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek köpük kapasitesi sağlaması, literatürde bildirilen bu mekanizmalarla uyum göstermektedir.

Dondurarak kurutmanın köpük kapasitesini koruduğu veya artırdığına dair bulgular ise, bu yöntemin protein yapısına en az düzeyde zarar vermesiyle açıklanabilir. Genel olarak, elde ettiğimiz bulgular; hammadde çeşidi, kurutma yöntemi ve üretim çeşitlerinin köpük kapasitesi üzerinde karmaşık ancak anlamlı etkilere sahip olduğunu ve literatürdeki diğer çalışmalarla uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Süt tozu örneklerinin köpük kapasitesi değerleri “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonundan önemli düzeyde etkilenmiş ($p < 0,01$) olup; interaksiyon grafiği Şekil 4.10’da gösterilmiştir. İnteraksiyon incelendiğinde; pirinç kullanılan süt tozu örneklerinin tüm kurutma çeşitlerinde soya kullanılan süt tozu örneklerinden daha düşük köpük kapasitesi değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Süt tozu örneklerinin köpük kapasitesi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Üretim yöntemi faktörlerinin köpük kapasitesi değerleri üzerinde etkileri hammadde çeşidine göre değişkenlik göstermiş olup her iki kurutma yönteminde de geleneksel yöntem ile elde edilen süt tozlarında pirinç içerenler daha düşük köpük kapasitesi değerleri verirken soya kullanılan süt tozlarında ise daha yüksek değerler elde edilmiştir.

4.2.2. Yoğunluk, akış özellikleri ve porozite sonuçları

Yığın yoğunluğu, bir gıda ürününün ambalajlanabilirliğini belirleyen önemli bir özellik olarak belirtilmektedir. Bu özellik, toz halindeki parçacıkların büyüklüğü, biçimi ve yüzey yapılarının değişimi ile birlikte farklılık gösterebilmektedir. Düzgün ve pürüzsüz toz gıdalar yüksek yığın yoğunluğu göstermekte olup aynı zamanda miktar olarak aynı toz örneklerine kıyasla daha yüksek ambalaj hacmi gerektirmektedir. Parçacık boyutundaki boyut küçüklüğü belirli hacme daha fazla parçacığın girmesini sağlamakta ve ayrıcı parçacıklar arası boşluk oranının azalmasına neden olmaktadır (Grabowski ve ark., 2006). Dolayısıyla, yığın yoğunluğu yalnızca paketlenme ve depolama açısından değil, aynı zamanda ürünün akışkanlık, çözünürlük ve yeniden hidrasyon gibi fonksiyonel özellikleri açısından da kritik bir parametre olarak kabul edilmektedir.

Süt tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri Çizelge 4.10’da verilmiş olup, pirinç kullanılan süt tozu örneklerinin yığın yoğunluk değerleri $0,16 \text{ g/cm}^3$ ile $0,35 \text{ g/cm}^3$ arasında, soya kullanılan süt tozu örneklerinin ise yığın yoğunluğu değerleri $0,17 \text{ g/cm}^3$ ile $0,45 \text{ g/cm}^3$ ölçümler söz konusu değer aralığında çeşitlilik olduğu tespit edilmiştir.

Soya proteinlerinin küresel yapısı ve yüksek moleküler ağırlığı, partiküller arasındaki boşlukların azalmasına ve daha yoğun bir yapı oluşumuna neden olabildiği ifade edilmektedir (Barac ve ark., 2004). Bu durum, çalışmamızda soya sütü tozlarının pirinç sütü tozlarına kıyasla daha yüksek yığın yoğunluğu göstermesini de desteklemektedir. En yüksek yığın yoğunluğu değerleri kırımım pencereleli kurutma ile elde edilen soya süt tozu örneklerinde belirlenmiş olup kurutma prosesi sırasında ürün özelliklerinin değişimini ortaya koymaktadır. Süt tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerlerine ait varyans analizine ilişkin veriler değerlendirildiğinde yığın yoğunluğu sonuçları üzerinde hammadde çeşidi, kurutma yöntemi etkenleri ile “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” ve “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonlarının $p < 0,01$ seviyesinde, “hammadde çeşidi x üretim yöntemi” ile “kurutma yöntemi x üretim yöntemi”; $p < 0,05$ anlamlılık düzeyine göre interaksiyonların etkili olduğu, ancak üretim yönteminin bu parametre üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmadığı ($p > 0,05$) sonucuna ulaşılmıştır. (Çizelge 4.11).

Yığın yoğunluğu değerleri soya kullanılan süt tozu örneklerinde $0,30 \text{ g/cm}^3$ olarak pirinç kullanılan süt tozu örneklerinden ($0,25 \text{ g/cm}^3$) daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuş süt tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değerleri $0,20 \text{ g/cm}^3$ iken kırımım pencereleli kurutma yönteminin uygulandığı süt tozlarında ise bu değer ortalama $0,35 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Kurutma yönteminin toz örnekleri üzerinde etkinlikleri farklılık göstermiş olup dondurarak kurutma yönteminin yığın yoğunluğu üzerinde olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Yığın yoğunluğu değerleri dondurarak kurutmanın daha gözenekli ve düşük yoğunluklu yapılar oluşturduğunu (Ratti, 2001), buna karşılık kırımım pencereleli kurutma gibi daha hızlı ve sıcaklık içeren yöntemlerin partikül yapısında büzülmeye yol açarak daha sıkı bir paketlenme sağladığını ve bu nedenle yığın yoğunluğunda artış meydana getirdiğini göstermektedir (Tang ve ark., 2024). Bu sonuç, dondurarak kurutma yönteminin ürünlerde daha yüksek poroziteye ve daha iyi çözünürlük potansiyeline katkı sağladığını, kırımım pencereleli kurutmanın ise daha kompakt yapılar oluşturarak akış özelliklerini etkileyebileceğini göstermektedir.

Benzer şekilde, Kadam ve Balasubramanian (2011) domates dilimlerinden elde edilen tozlarda farklı sıcaklıklarda kurutma yapmış, yüksek sıcaklıklarda partiküllerin büzülerek daha sıkı bir yapı kazandığını ve yığın yoğunluğunun arttığını bildirmiştir. Tonon ve ark. (2008) açai tozunda püskürtmeli kurutma koşullarını incelemiş, giriş sıcaklığının artmasıyla partiküllerin kompakt yapıya geçtiğini ve yığın yoğunluğunun yükseldiğini göstermiştir. Muzaffar ve Kumar (2015) demirhindi pulpunu farklı giriş

sıcaklıklarında püskürtmeli kurutarak üretmiş, yüksek sıcaklıklarda elde edilen tozlarda yığın yoğunluğunun 0,48 g/mL seviyesine ulaştığını rapor etmiştir. Ayrıca, Muzaffar ve Kumar (2016) maltodekstrin ve protein gibi taşıyıcıların kullanıldığı demirhindi tozlarında, taşıyıcı türüne bağlı olarak yığın yoğunluğu değerlerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, çalışmamızda kırımım pencereli kurutma yönteminin dondurarak kurutmaya kıyasla daha yüksek yığın yoğunluğu sağlamasıyla doğrudan örtüşmektedir.

Üretim yöntemi faktörü açısından yığın yoğunluğu değerleri incelendiğinde, kontrol grubunun 0,27 g/cm³, geleneksel yöntem ile 0,27 g/cm³ ve ultrason yöntem ile ise bu değerler 0,29 g/cm³ olarak belirlenmiş olup değerler arası bu farklılık istatistiki açıdan önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$) (Çizelge 4.12). Ultrason yöntemi ile meydana gelen hafif bir değişim partikül boyutunu küçülmesi ve şekil düzensizliklerine neden olması sonucu toz yapısındaki boşluk oranını artırmasıyla açıklanabilir (Chemat ve ark., 2011). Ultrason uygulamasının bu etkisi, partikül yüzeyinde mikro çatlaklar ve düzensizlikler oluşturarak akış özelliklerini ve yoğunluk davranışını dolaylı şekilde etkileyebilmektedir.

Yığın yoğunluğu üzerinde etkili olan '*hammadde türü x kurutma türü x üretim türü*' etkileşimine dair sonuçlar Şekil 4.11'de gösterilmiştir. İnteraksiyonda; en yüksek yığın yoğunluğu değerini kırımım pencereli kurutma yöntemine tabi tutulmuş soya kullanılan süt tozu örneği aldığı görülmektedir. Bu durum, soya proteinlerinin daha kompakt yapıya yatkın özellikleri ile kurutma sırasında gerçekleşen büzülme etkisinin birleşmesinden kaynaklanabilir.

Çizelge 4.10'da süt tozu numunelerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri, Çizelge 4.11'de bu verilere ilişkin varyans analiz sonuçları ve Çizelge 4.12'de çoklu karşılaştırma analizine ait bulgular yer almaktadır. Süt tozu numunelerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 0,26 g/cm³ ile 0,68 g/cm³ aralığında farklılık sergilemiş ve ortalama değer 0,45 g/cm³ olarak bulunmuştur. En yüksek sıkıştırılmış yoğunluk değeri kırımım pencereli kurutma yöntemi ile elde edilen kontrol, geleneksel ve ultrason uygulanmış soya süt tozu örneklerinde belirlenmiştir. Bu sonuç, soya proteininin yapısal özellikleri nedeniyle daha kompakt partiküller oluşturduğunu ve kırımım pencereli kurutmanın yüksek sıcaklık etkisiyle partiküllerin büzülerek sıkı bir paketlenme sağladığını düşündürmektedir.

Çizelge 4.10. Süt tozu örneklerine ait yoğunluk, akış özellikleri ve porozite değerleri¹

Hammadde çeşidi	Üretim yöntemi	Kurutma yöntemi	Yığın yoğunluğu (g/cm³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
Pirinç sütü	Kontrol	DK	0,26±0,01	0,47±0,01	4,20±0,07	44,38±0,88	1,80±0,03	88,35±2,98
		KPK	0,20±0,03	0,28±0,03	0,41±0,03	31,25±0,98	1,46±0,11	31,64±1,27
	Geleneksel	DK	0,16±0,00	0,26±0,00	0,52±0,02	40,00±0,49	1,67±0,00	49,32±2,43
		KPK	0,28±0,08	0,37±0,04	0,58±0,11	23,75±0,85	1,33±0,22	36,43±4,75
	Ultrason	DK	0,24±0,01	0,44±0,05	7,57±0,22	45,00±0,71	1,82±0,12	93,70±2,15
		KPK	0,35±0,00	0,46±0,01	3,34±0,08	23,13±0,40	1,30±0,04	81,60±3,51
Soya Sütü	Kontrol	DK	0,19±0,00	0,33±0,00	1,98±0,21	43,13±0,88	1,76±0,03	83,08±1,61
		KPK	0,44±0,02	0,68±0,11	2,93±0,60	33,75±0,68	1,54±0,33	76,83±2,39
	Geleneksel	DK	0,17±0,00	0,36±0,01	1,93±0,29	52,50±1,07	2,11±0,00	81,20±2,43
		KPK	0,45±0,03	0,68±0,10	7,52±0,09	32,50±1,09	1,51±0,32	90,15±3,28
	Ultrason	DK	0,19±0,03	0,36±0,10	7,61±0,13	45,63±0,97	1,85±0,21	95,03±1,12
		KPK	0,38±0,02	0,68±0,01	4,22±1,25	45,00±0,58	1,82±0,12	83,02±5,31
Minumum-Maksimum Ortalama±std			0,16-0,45	0,26-0,68	0,41-7,61	23,13 -52,50	1,30-2,11	31,64-95,03
			0,28±0,11	0,45±0,15	3,57±2,74	38,33±9,31	1,66±0,24	74,20±22,14

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: Isıl İşlem uygulanmamış, DK: Dondurarak kurutma, KPK: Kırınım pencereci kurutma

Çizelge 4.11. Süt tozu örneklerinin yoğunluk, akış özellikleri ve porozite değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

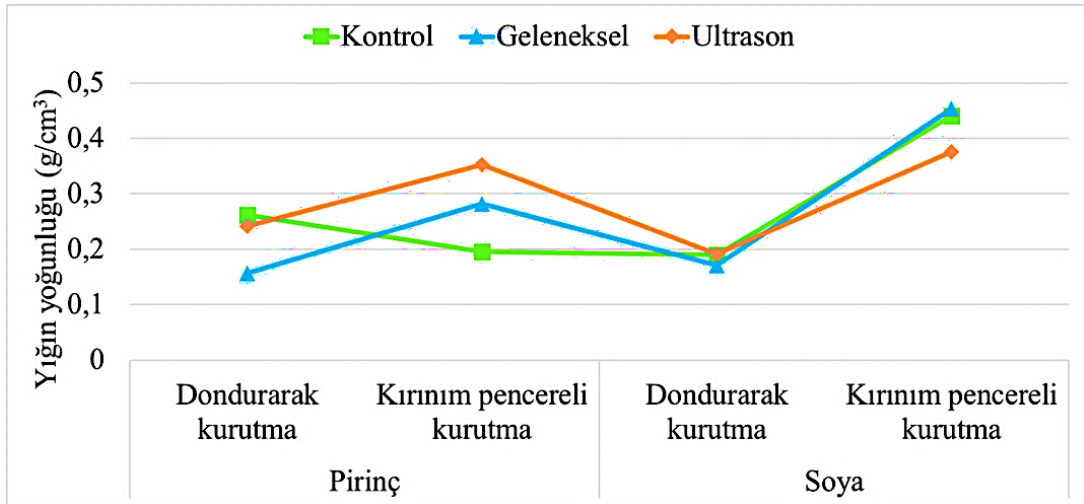
VK	SD	Yığın yoğunluğu		Sıkıştırılmış yoğunluk		Parçacık yoğunluğu		Carr indeksi		Hausner oranı		Porozite	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	0,02	21,30**	0,11	35,32**	15,23	85,23**	337,50	493,22**	0,25	8,65*	2742,65	298,28**
Üretim yöntemi (B)	2	0,00	1,52ns	0,02	3,06ns	54,17	151,53**	25,52	18,65**	0,02	0,27ns	2529,02	137,52**
Kurutma yöntemi (C)	1	0,13	152,63**	0,14	46,21**	3,83	21,41**	1100,26	1607,90**	0,69	23,97**	1380,75	150,17**
A×B	2	0,01	8,14*	0,02	2,98ns	20,08	56,16**	142,19	103,90**	0,10	1,72ns	1722,24	93,65**
A×C	1	0,05	58,44**	0,19	60,08**	20,58	115,14**	75,26	109,98**	0,02	0,77ns	873,05	94,95**
B×C	2	0,01	7,27*	0,02	3,14ns	45,16	126,35**	63,02	46,05**	0,05	0,83ns	900,11	48,95**
A×B×C	2	0,01	8,97**	0,03	4,18*	6,29	17,59**	164,58	120,26**	0,14	2,41ns	638,34	34,71**
Hata	12	0,01		0,04		2,14		8,21		0,34		110,34	

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.12. Süt tozu örneklerinin yoğunluk, akış özellikleri ve porozite değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
<i>Hammadde çeşidi</i>							
Pirinç	12	0,25±0,07b	0,38±0,09b	2,77±2,73b	34,58±9,49b	1,56±0,24b	63,51±26,40b
Soya	12	0,30±0,13a	0,52±0,18a	4,36±2,53a	42,08±7,32a	1,77±0,26a	84,89±6,65a
<i>Üretim yöntemi</i>							
Kontrol	8	0,27±0,11a	0,44±0,17a	2,38±1,50b	38,13±6,14b	1,64±0,20a	69,98±24,12b
Geleneksel	8	0,27±0,13a	0,42±0,17a	2,63±3,08b	37,19±11,30b	1,65±0,34a	64,28±23,77c
Ultrason	8	0,29±0,08a	0,49±0,14a	5,69±2,12a	39,69±10,24a	1,70±0,27a	88,34±6,98a
<i>Kurutma yöntemi</i>							
Dondurarak kurutma	12	0,20±0,04b	0,37±0,08b	3,97±2,91a	45,10±3,99a	1,83±0,16a	81,78±16,13a
Kırınım pencere kurutma	12	0,35±0,10a	0,53±0,18a	3,17±2,54b	31,56±7,63b	1,50±0,24b	66,61±24,59b

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: Isıl İşlem uygulanmamış.



Şekil 4.11. Süt tozu örneklerinin yığın yoğunluğu değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

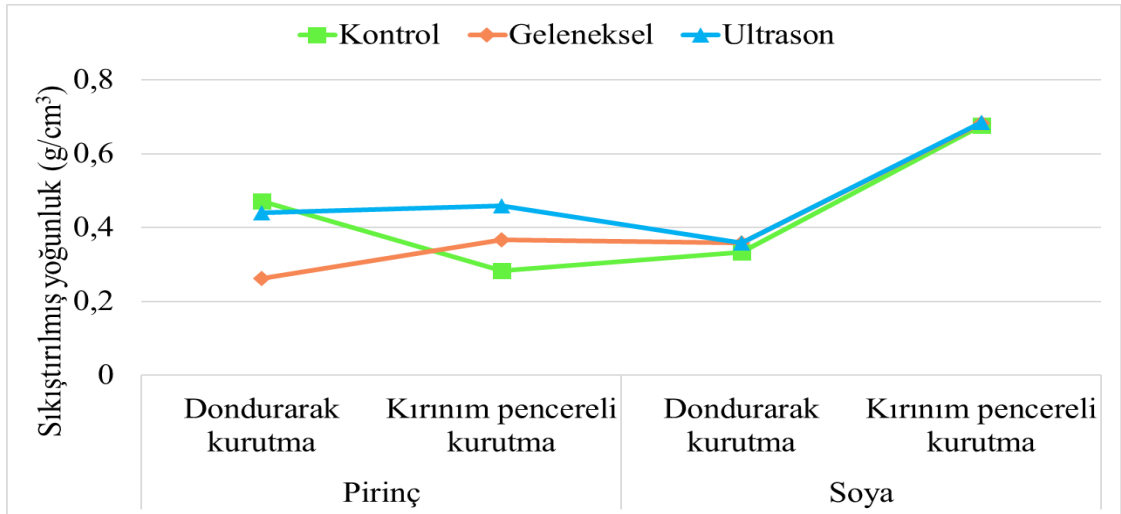
Süt tozlarına yönelik varyans analizinin ortaya koyduğu verilere göre sıkıştırılmış yoğunluk parametresi açısından hammadde çeşidi, kurutma yöntemi faktörleri ile “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” interaksyonu $p < 0,01$ düzeyinde, “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu $p < 0,05$ düzeyinde önemli bir etki gösterirken üretim yöntemi faktörü ile “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” ve “kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonlarının istatistiksel olarak $p < 0,05$ sınırında anlamlı bir etki göstermiştir (Çizelge 4.11).

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma değerlendirmesine göre, soya sütü tozu numunelerinin ($0,52 \text{ g/cm}^3$) sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin pirinç süt tozu örneklerinde ($0,38 \text{ g/cm}^3$) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, pirinç proteinlerinin daha gevşek ve düzensiz yapılar oluşturmalarına karşılık, soya proteinlerinin küresel ve kompakt yapılarının partiküller arası boşlukları azaltmasından kaynaklanıyor olabilir.

Dondurarak kurutma yöntemi ile süt tozu örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri daha düşük elde edilirken kurutma yöntemi olarak kırınım pencereli kurutmanın kullanılması ile bu değerler ortalama $0,53 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Sıkıştırılmış yoğunluk üzerine kurutma yönteminin önemli bir etkiye sahip olduğu Çizelge 4.12’de görülmektedir. Dondurarak kurutmanın düşük yoğunluklu ve daha poröz yapılar oluşturmaları, ürünün yeniden çözünürlüğünü artırabilirken; kırınım pencereli kurutmanın daha kompakt yapılar üretmesi, ürünün akışkanlık ve ambalajlama davranışlarını farklı şekilde etkileyebilmektedir. Pirinç ve soya sütü tozu örneklerinin üretimi sırasında uygulanan işlemlerin sıkıştırılmış yoğunluk üzerine istatistiki açıdan önemli bir etkisi

gözlemlenmemiş ($p>0,05$) olup sırasıyla kontrol grubunda $0,44 \text{ g/cm}^3$, geleneksel uygulamada $0,42 \text{ g/cm}^3$ ve ultrason uygulamasında ise $0,49 \text{ g/cm}^3$ belirlenmiştir. Ultrason uygulamasında gözlenen hafif artış, proteinlerin parçalanmasıyla oluşan daha küçük partiküllerin sıkı paketlenme eğiliminden kaynaklanmış olabilir.

Süt tozu örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinde “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu $p<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuş olup interaksiyon grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. Pirinç süt tozu örneklerinde sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin üretim yönteminden etkilendiği ancak soya süt tozlarının ise benzer değerler verdiği gözlemlenmiştir. Pirinç sütü toz örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri dondurarak kurutmada kontrol grubu ile kıyaslandığında düşük veya benzer değerler elde edilirken kırımım pencereli kurutma ile bu değerler kontrol grubuna göre daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu durum, pirinç proteinlerinin yapısal özellikleri nedeniyle düşük sıcaklıkta daha gözenekli yapılar oluşturması, yüksek sıcaklıkta ise büzülerek daha kompakt hale gelmesiyle açıklanabilir. Muzaffar ve Kumar (2015), demirhindi pulpunun püskürtmeli kurutma ile toz haline getirilmesinde yüksek giriş sıcaklıklarının $0,48 \text{ g/mL}$ seviyesine ulaşan sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ile sonuçlandığını göstermiştir.



Şekil 4.12. Süt tozu örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,05$)

Tonon ve ark. (2008), açai meyvesi tozunda püskürtmeli kurutma koşullarını incelemiş, giriş sıcaklığının artmasıyla partiküllerin daha yoğun bir yapıya geçtiğini ve tozların sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin yükseldiğini rapor etmiştir.

Kadam ve Balasubramanian (2011), domates dilimlerinden elde edilen tozlarda farklı sıcaklıklarda kurutma yapmış ve yüksek sıcaklıklarda partiküllerin büzülerek daha kompakt hale geldiğini, bunun da sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinde artışa yol açtığını bildirmiştir.

Süt tozu örneklerinin parçacık yoğunluğu değerleri 0,41–7,61 g/cm³ aralığında çeşitlilik sergilemiştir (Çizelge 4.10). En yüksek parçacık yoğunluğu değerleri, ultrason uygulamasıyla üretilen ve dondurarak kurutma işlemine tabi tutulmuş örneklerde tespit edilmiştir. Bu değerler pirinç süt tozu için 7,57 g/cm³, soya süt tozu için ise 7,61 g/cm³ olarak belirlenmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre hammadde çeşidi, kurutma yöntemi ve üretim yöntemi faktörleri ile “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi” , “hammadde çeşidi x üretim yöntemi”, “kurutma yöntemi x üretim yöntemi” ve “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” etkileşimlerinin parçacık yoğunluğu üzerinde önemli (p<0,01) etkisi olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Hammadde çeşidi faktörü açısından değerlendirildiğinde, en yüksek parçacık yoğunluğu değeri soya sütü tozu örneklerinde (4,36 g/cm³), en düşük değer ise pirinç süt tozu örneklerinde (2,77 g/cm³) ölçülmüştür (Çizelge 4.12). Soya proteinlerinin kompakt ve globüler yapısı, partiküller arası boşlukların azalmasına ve dolayısıyla daha yüksek yoğunluk değerlerinin elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Kurutma yöntemi bakımından, dondurarak kurutma işlemine tabi tutulan örneklerin parçacık yoğunluğu değerleri (3,97 g/cm³), kırımın pencereli kurutma yöntemiyle elde edilen örneklerden (3,17 g/cm³) daha yüksek bulunmuştur. Dondurarak kurutmanın düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi, protein yapı bütünlüğünün korunmasını ve partikül deformasyonunun en aza inmesini sağlayarak yoğunluğu artırıcı bir etki oluşturmuş olabilir.

Goula ve Adamopoulos (2005) yüksek sıcaklıklarda parçacık büzülmesi sonucu kompakt yapılar elde edildiğini belirtmiş olsa da, bu çalışmada dondurarak kurutmanın yüksek yoğunluk oluşturması, düşük sıcaklık koşullarında yapı stabilitesinin korunmasının da benzer şekilde yoğunluğu artırabildiğini göstermektedir.

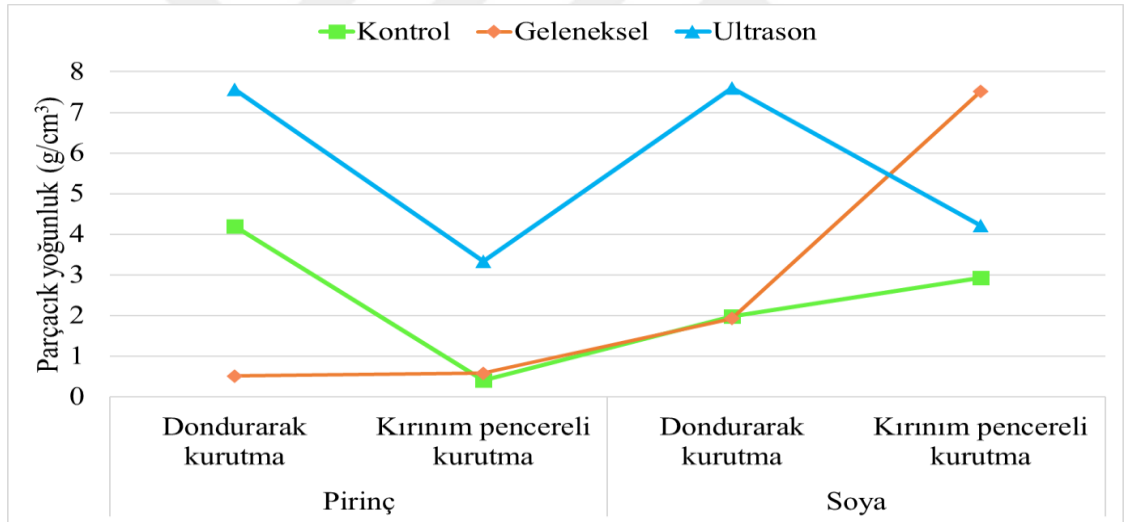
Üretim yöntemi açısından parçacık yoğunluğu değerleri 2,38–5,69 g/cm³ aralığında değişmiş olup, en yüksek değerlerin ultrason uygulamasında elde edildiği belirlenmiştir. Ultrason işlemi, yüksek frekanslı kavitasyon etkisiyle partikül yüzeyinde mikro düzeyde yeniden düzenlenmelere yol açarak, partiküllerin daha kompakt bir

şekilde bir araya gelmesini ve iç yapıda boşluk oranının azalmasını sağlamaktadır. Bu durum, parçacık yoğunluğu değerlerinin artmasına katkıda bulunmuştur.

Benzer şekilde, Muzaffar ve Kumar (2016), maltodekstrin ve protein taşıyıcılarla püskürterek kurutulan demirhindi tozlarında taşıyıcı tipine bağlı olarak partikül yoğunluğunun değiştiğini ve protein içeriğinin artmasının partikül yoğunluğunu artırdığını bildirmiştir. Bu bulgu, çalışmamızda ultrason uygulamasının protein yapılarını yeniden düzenleyerek yoğunluğu artırmasıyla uyumluluk göstermektedir.

Süt tozu örneklerinin parçacık yoğunluğu üzerinde etkili olan “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” etkileşimi Şekil 4.13’te gösterilmiştir. Pirinç ve soya sütü tozu örneklerinde, ultrason uygulamasının diğer üretim yöntemlerine göre daha yüksek parçacık yoğunluğu değerleri sağladığı gözlemlenmiştir.

Bu bulgu, ultrason destekli üretimin bitkisel süt tozlarının partikül yoğunluğu ve yapısal bütünlüğü üzerinde olumlu bir etki yarattığını göstermektedir.



Şekil 4.13. Süt tozu örneklerinin parçacık yoğunluk değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri kullanılarak örneklerin akış özellikleri belirlenmiş; Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerleri hesaplanmıştır. Carr indeksi ve Hausner oranı toz ürünlerin akış özelliklerini ifade etmekte olup, düşük değerler daha iyi akış davranışını göstermektedir (Shishir ve ark., 2017).

Süt tozu örneklerinin ortalama Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerleri sırasıyla 23,13–52,50, 1,30–2,11 ve %31,64–95,03 aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.10). En yüksek Carr indeksi (52,50) ve Hausner oranı (2,11) değerleri,

dondurarak kurutulan ve geleneksel yöntemle üretilen soya sütü tozu örneklerinde tespit edilmiştir. Bu bulgu, kurutma sırasında partikül yüzeyinde yoğunlaşma ve düzensiz yüzey oluşumunun meydana gelmesiyle akışkanlığın azalabileceğini göstermektedir.

Carr indeksi ve porozite değerleri üzerinde hammadde çeşidi, kurutma yöntemi ve üretim yöntemi faktörleri ile birlikte $A \times B$, $A \times C$, $B \times C$ ve $A \times B \times C$ interaksiyonlarının tamamı $p < 0,01$ seviyesinde istatistiki olarak anlamlı belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Hausner oranı değeri üzerinde ise hammadde çeşidi faktörü $p < 0,05$, kurutma yöntemi faktörü $p < 0,01$ seviyesinde anlamlı bulunurken; üretim yöntemi ve etkileşim faktörlerinin tamamı istatistiksel açıdan anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($p > 0,05$). Bu durum, akış parametreleri üzerinde en belirleyici faktörün hammadde yapısı ve kurutma koşulları olduğunu, üretim aşamasında uygulanan ön işlemlerin ise sınırlı bir etki göstermektedir.

Çoklu karşılaştırma testindeki verilerde, süt tozu örneklerinin Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerleri, soya kullanılan örneklerde sırasıyla 42,08, 1,77 ve %84,89 olarak belirlenmiş; bu sonuçlar pirinç örneklerine göre yüksektir (Çizelge 4.12). Bu sonuç, soya proteinlerinin kompakt yapısının parçacıklar arasında daha az boşluk bırakmasıyla, dolayısıyla akışkanlığın sınırlandırılmasına neden olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Kurutma yöntemi açısından değerlendirildiğinde, dondurarak kurutulan süt tozu örneklerinin Carr indeksi (45,10), Hausner oranı (1,83) ve porozite (%81,78) değerlerinin, kırımın pencereci kurutma yöntemiyle elde edilen örneklere (31,56, 1,50 ve %66,61) kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, dondurarak kurutma ile oluşan daha gözenekli ve düzensiz partikül morfolojisinin tozların serbest akışını kısıtlayabileceğini göstermektedir.

Üretim yöntemi açısından Carr indeksi sonuçlarında, en yüksek değer 39,69 ile ultrason uygulamasında, en düşük değer ise 37,19 ile geleneksel uygulamada elde edilmiştir (Çizelge 4.12). Ultrason uygulamasının nispeten yüksek Carr indeksi değerleriyle ilişkilendirilmesi, partikül yüzeyinde oluşturduğu mikro düzensizlikler ve küçük partiküllerin birbirine tutunma eğilimi ile açıklanabilir. Chen ve ark. (2022), ultrason uygulamasının proteinlerin yüzey özelliklerini ve yapılarını değiştirerek fonksiyonel özelliklerini iyileştirebildiğini belirtmiştir. Shishir ve Chen (2017) tarafından yapılan çalışmada, püskürtürek kurutulmuş meyve tozlarının Carr indeksinin 15–45 aralığında değiştiği ve düşük Carr indeksine sahip örneklerin daha iyi akış özellikleri sergilediği bildirilmiştir. Benzer şekilde Jinapong ve ark. (2008), süt tozu üretiminde

Hausner oranını 1,20–1,40 aralığında rapor etmiş ve düşük Hausner oranlarının daha serbest akış davranışını yansıttığını ifade etmiştir.

Bu bulgular ışığında, çalışmamızda soya bazlı ve dondurarak kurutulmuş süt tozu örneklerinin yüksek Carr indeksi ve Hausner oranı değerleriyle daha zayıf akış davranışı sergilediği, buna karşın pirinç bazlı ve kırımım pencereli kurutma yöntemiyle üretilen örneklerin daha iyi akış özellikleri gösterdiği söylenebilir. Ayrıca, yüksek porozite değerleri dondurarak kurutma ve ultrason uygulamalarıyla ilişkili olarak daha gevşek, gözenekli partikül yapısının oluştuğunu ve bu yapıların yeniden çözünürlük avantajı sağlayabileceğini göstermektedir.

Hausner oranı üzerinde üretim yöntemi faktörünün herhangi bir etkisi gözlemlenmemiş olup değerler 1,64–1,70 aralığında değişmiştir ($p>0,05$). Ultrason uygulanmış süt tozu örneklerinin ortalama porozite değeri %88,34 ile en yüksek bulunurken, bunu sırasıyla kontrol grubu örnekleri (%69,98) ve geleneksel yöntemle üretilen örnekler (%64,28) takip etmiştir (Çizelge 4.12). Porozitenin yüksek bulunması, partiküller arası boşluk oranının fazla olduğunu göstermekte; bu durum akışkanlığın azalmasına yol açarken, aynı zamanda yeniden çözünürlük açısından avantaj sağlayabilmektedir. Bu bulgu, Esa ve ark., (2013) tarafından porozite arttıkça akış özelliklerinin zayıfladığı ancak gözenekliliğin yeniden çözünürlük davranışını iyileştirdiğinin belirtildiği çalışmalarla paralellik göstermektedir. Süt tozu örneklerinin Carr indeksi değerleri üzerinde etkili olan “*hammadde çeşidi × kurutma yöntemi × üretim yöntemi*” interaksiyonu Şekil 4.14’te verilmiştir. Pirinç sütü tozu örneklerinde Carr indeksi değerleri kontrol grubuna benzer veya daha düşük olarak belirlenirken, soya sütü tozu örneklerinde anlamlı biçimde daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, hammadde kaynaklı yapısal farklılıkların akış davranışı üzerinde belirleyici olduğunu ve soya proteinlerinin daha kompakt partikül yapısı nedeniyle akışkanlığın azaldığını göstermektedir.

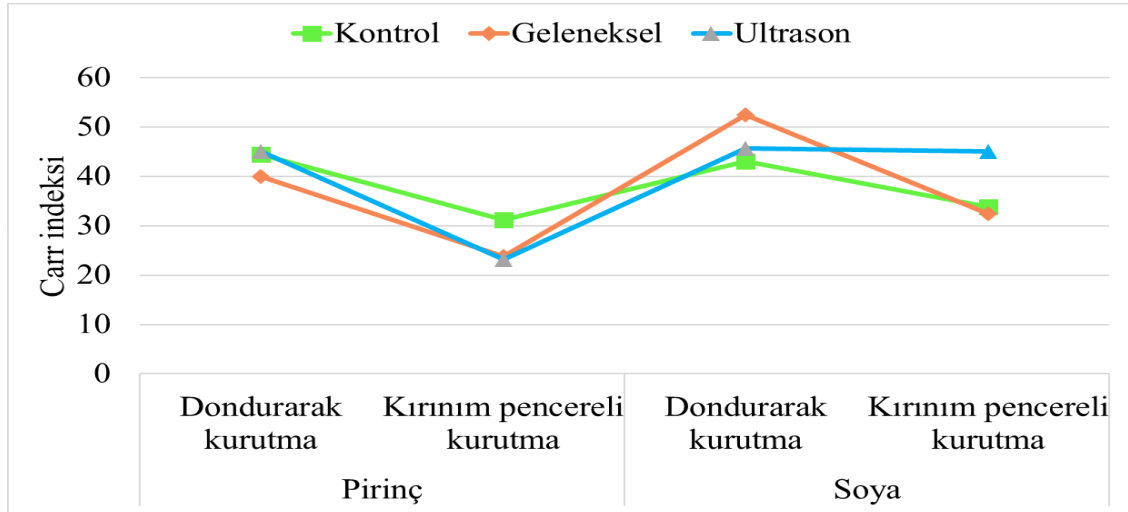
Kurutma yöntemine bağlı olarak kırımım pencereli kurutma işleminin Carr indeksini düşürdüğü, dolayısıyla akışkanlığı artırdığı belirlenmiştir.

Tonon ve ark. (2008), açai tozu üzerinde yürüttükleri çalışmada yüksek sıcaklıklarda partiküllerin daha kompakt hale geldiğini ve bu nedenle Carr indeksinin arttığını rapor etmiştir. Bu bulgular, çalışmamızda kırımım pencereli kurutmanın Carr indeksini azaltıcı, dondurarak kurutmanın ise artırıcı etkisiyle uyum göstermektedir.

Çalışmamızda, soya bazlı süt tozu örneklerinin pirinç bazlı örneklere kıyasla daha yüksek Carr indeksi ve porozite değerleri göstermesi, Shishir ve Chen (2017) tarafından

bildirilen sonuçlarla örtüşmektedir. Ayrıca, ultrason uygulamasının akış parametreleri üzerindeki etkisi, Chen ve ark. (2022) ve Jinapong ve ark. (2008) tarafından araştırılan protein yapısındaki mikroyapısal iyileşmeler ile desteklenmektedir.

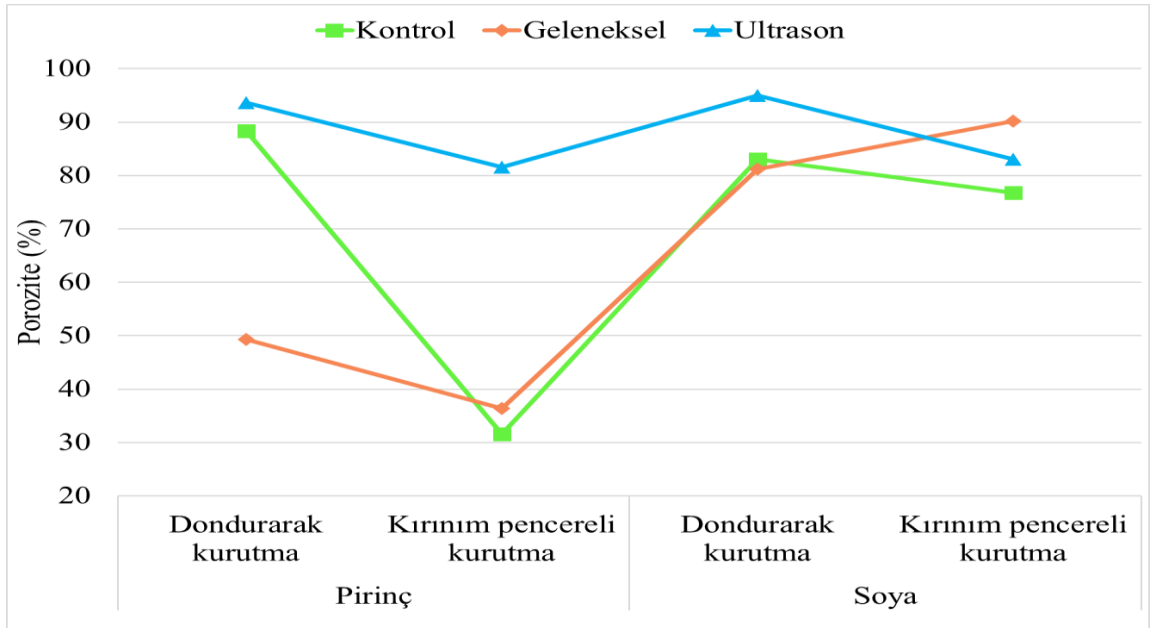
Genel olarak değerlendirildiğinde, akış özellikleri üzerinde en güçlü belirleyici etkenlerin hammadde türü ve kurutma koşulları olduğu, üretim yöntemi faktörünün ise ikincil düzeyde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.14. Süt tozu örneklerinin Carr indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” etkileşimi ($p < 0,01$)

Süt tozu örneklerinin porozite değerleri üzerinde etkili olan “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” etkileşimini Şekil 4.15’te gösterilmiştir. Pirinç sütü tozu örneklerinde, kurutma yöntemine bağlı porozite farkının en belirgin olduğu grup kontrol grubu olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, soya sütü tozu örneklerinde porozite değerleri arasındaki en yüksek farkın ultrason uygulamasıyla elde edildiği görülmüştür. Her iki hammadde türü için de, kırınım pencereli kurutma ile elde edilen soya sütü tozu örneği haricindeki tüm örneklerde, ultrason uygulaması porozite değerini artırmıştır.

Bu sonuçlar, ultrasonun süt tozlarında gözenekli yapı oluşumunu teşvik ederek partikül içi boşluk oranını artırdığını ve bu yolla porozite değerlerinde artışa neden olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.15. Süt tozu örneklerinin porozite değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonu ($p<0,01$)

4.2.3. Renk sonuçları

Süt tozu örneklerinin L^* değerleri 82,23-100,32 arasında değişmiş olup ortalama 93,17 bulunmuştur. En yüksek L^* değerleri dondurarak kurutulmuş pirinç sütü tozu örneklerinde elde edilmiş olup en düşük L^* değeri ise kırınım pencereci kurutulmuş soya sütü tozu örneklerinde tespit edilmiştir. Kırınım pencereci kurutma yönteminde uygulanan ısı işlemlerin Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon gibi renk koyulaştırıcı süreçleri hızlandırarak L^* değerinde düşüşe yol açtığı düşünülmektedir. Bu bulgu, düşük sıcaklıkta gerçekleşen dondurarak kurutmanın ürünlerin doğal rengini koruduğunu, buna karşılık kırınım pencereci kurutmanın ise ısı yük nedeniyle renk açısında daha fazla kayba yol açtığını göstermektedir.

Varyans analiz sonuçlarına göre süt tozu örneklerinin L^* üzerinde hammadde çeşidi, kurutma yöntemi, üretim yöntemi faktörleri ile “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi”, “hammadde çeşidi x üretim yöntemi”, “üretim yöntemi x kurutma yöntemi”, “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” etkileşimlerinin, $p<0,01$ seviyesinde istatistiksel açıdan anlamlı fark oluşturduğu saptanmıştır.

Hammadde çeşidi açısından değerlendirilecek olursa en yüksek L^* değerleri pirinç kullanılan süt tozu örneklerinde (97,81), en düşük L^* değerleri ise soya kullanılan süt tozu örneklerinde (88,53) bulunmuştur. Pirinç kullanımı ile belirlenen yüksek L^*

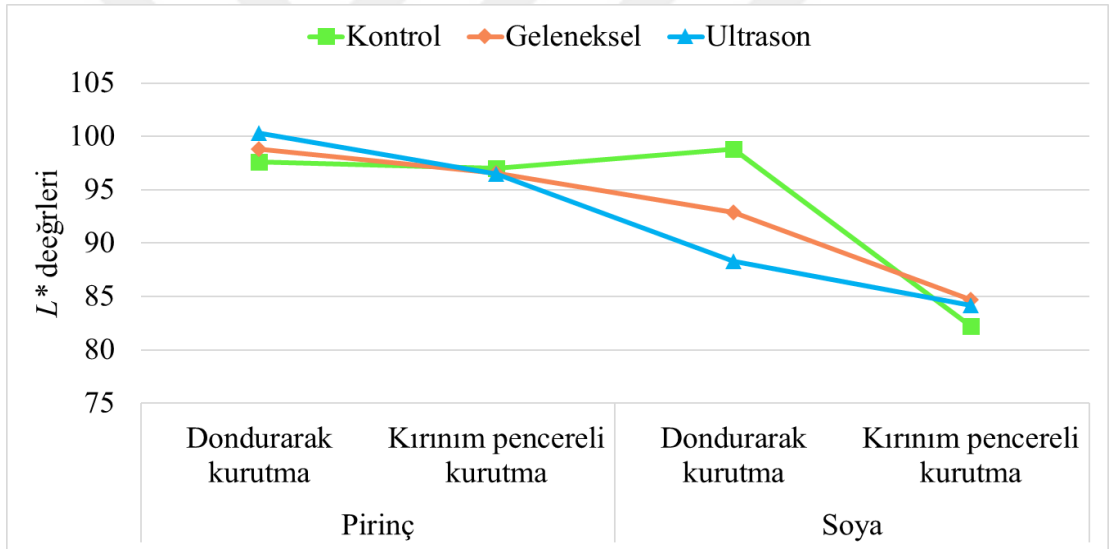
değeri hammaddenin kendine has renk özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dondurarak kurutma ve kırımım pencereli kurutma ile toz haline getirilen örneklerin L^* değerleri sırasıyla 96,14 ve 90,21 olarak belirlenmiştir. Kontrol grubu süt tozu örneklerinde L^* değerleri geleneksel ve ultrason uygulanan örneklerle kıyasla daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Üretim sırasında uygulanan ısı işlem proseslerin hammadde rengini etkileyebilecek reaksiyonlara sebep olabileceği düşünülmektedir.

Veriler incelendiğinde, süt tozlarının L^* sonuçları üzerinde $p<0,01$ seviyesinde anlamlı etkiye sahip olan “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Soya kullanılan süt tozu örneklerinde, kurutma yöntemleri arasında L^* değerlerindeki değişimin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak, kırımım pencereli kurutma yöntemi L^* değerinde azaltıcı bir etki göstermiştir.

Bu durum, soya proteinlerinin yüksek amino asit içeriği nedeniyle Maillard reaksiyonlarına daha yatkın olmasından kaynaklanabilir. Dolayısıyla, ısı etkiye duyarlı yapıya sahip soya proteinlerinde renk koyulaşması eğiliminin pirinç proteinlerine kıyasla daha belirgin olduğu düşünülmektedir. Bu bulgular literatürde bildirilen sonuçlarla da uyumludur. Dong ve ark. (2022), protein hidrolizatlarının farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen tozlarının renk ve fonksiyonel özelliklerini inceledikleri çalışmada, dondurarak kurutulan örneklerde L^* değerinin 91,03, püskürtmeli kurutulan örneklerde ise 87,49 olduğunu belirlemişlerdir.

Araştırmacılar, yüksek sıcaklık uygulanan püskürtmeli kurutma yönteminde proteinlerin Maillard reaksiyonuna daha yatkın hale geldiğini, bunun da renk koyulaşmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Dondurarak kurutma yöntemi ise düşük sıcaklık koşulları sayesinde ürün rengini daha iyi koruyarak daha yüksek L^* değerleri sağlamıştır. Bu bulgu, çalışmamızda pirinç sütü tozlarının dondurarak kurutma yöntemiyle en yüksek L^* değerine ulaşmasıyla tam bir paralellik göstermektedir. Benzer şekilde, Wang ve ark. (2022), protein bazlı tozlarda farklı kurutma yöntemlerinin fiziksel ve kimyasal özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, sıcak hava ile kurutulan örneklerde L^* değerinde belirgin düşüşler kaydedilmiş, bu durumun yüksek sıcaklığın neden olduğu oksidasyon ve renk koyulaştırıcı reaksiyonlardan kaynaklandığı açıklanmıştır. Buna karşılık, vakumlu veya düşük sıcaklıklı yöntemlerle kurutulan örneklerde renk daha iyi korunmuş ve L^* değerleri yüksek bulunmuştur.

Araştırmacılar, kurutma sıcaklığının ürün rengini belirleyici bir faktör olduğunu ve düşük sıcaklık koşullarının rengin korunmasına katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Bu açıklamalar, çalışmamızda dondurarak kurutmanın renk koruyucu etkisi ve kırınım pencereli kurutmanın L^* değerini düşürücü etkisiyle doğrudan örtüşmektedir. Ayrıca, Dwivedi ve ark. (2014), soya sütü tozunun püskürtmeli kurutma parametrelerini (sıcaklık ve atomizer hızı) değiştirerek renk üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada, giriş havası sıcaklığının 160–200 °C aralığında artırılmasıyla ürünlerde L^* değerinin anlamlı biçimde azaldığı rapor edilmiştir. Bu azalmanın, yüksek sıcaklıkta gerçekleşen Maillard reaksiyonları ve protein–polisakkarit etkileşimleri sonucu oluştuğu belirtilmiştir. Dolayısıyla, yüksek sıcaklıklı kurutma işlemlerinin renk parlaklığını düşürücü etkisi, çalışmamızda kırınım pencereli kurutma yöntemiyle elde edilen düşük L^* değerleriyle tam bir paralellik göstermektedir.



Şekil 4.16. Süt tozu örneklerinin L^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonu ($p < 0,01$)

Ayrıca Singh (2023), soya sütü tozlarının püskürtmeli kurutma yöntemi ile elde edilmesi sırasında renk ve besinsel kalite değişimlerini incelemiştir. Araştırmada püskürtmeli kurutma sonrasında ürünlerin L^* değerlerinin 77-90 aralığında olduğu rapor edilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamasının pigmentlerde parçalanmaya, proteinlerde ise esmerleşme reaksiyonlarının hızlanmasına sebep olduğu ve bu nedenle L^* değerlerinde azalma görüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca soya bazlı ürünlerde formülasyondaki bileşim farklılıklarının (örneğin şeker ve protein oranı) da L^* değerinde düşüşü

hızlandırabileceğini ifade etmiştir. Bu çalışma, bizim araştırmamızda soya sütü tozlarının pirinç sütü tozlarına göre daha düşük L^* değerleri göstermesi ile uyumlu bulunmuştur.

Süt tozu örneklerinin a^* değerleri -0,59 ile 4,32 aralığında gözlemlenmiştir (Çizelge 4.13). En yüksek a^* değerleri kırımın pencereci kurutma uygulanmış soya sütü tozu örneklerinde elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıkların Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon gibi esmerleşme süreçlerini hızlandırmasıyla a^* değerlerinde artış meydana gelebildiği düşünülmektedir (Al-Amin ve ark., 2015). Bu bulgu, kırmızıya kayma eğiliminin ısı işlem yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olduğunu ve özellikle protein-seker etkileşimlerinin bu artışta kritik rol oynadığını göstermektedir. Süt tozu örneklerinin a^* üzerinde hammadde çeşidi, kurutma yöntemi, üretim yöntemi faktörleri ile “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi”, “hammadde çeşidi x üretim yöntemi”, “üretim yöntemi x kurutma yöntemi”, “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” etkileşimi, $p < 0,01$ seviyesinde anlamlılık göstermiştir (Çizelge 4.14).

Hammadde çeşidi açısından en yüksek a^* değeri 1,86 ile soya sütü tozu örneklerinde belirlenirken pirinç sütü tozu örneklerinde ise -0,29 olarak bulunmuştur. Soya ve pirinç kullanımının a^* değeri üzerindeki bu etkisi hammaddenin kendine has sahip olduğu a^* değerinden kaynaklanmaktadır. Bu farkın, soya hammaddesinde bulunan doğal karotenoid pigmentlerden ve üretim sürecinde gerçekleşen Maillard reaksiyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Cai ve ark., 2021). Ayrıca, soya proteinlerindeki fenolik bileşiklerin oksidatif tepkimelere daha yatkın olması da kırmızı ton artışını hızlandırabilmektedir.

Dondurarak kurutulan süt tozu örneklerinin ortalama a^* değerinin (0,07) kırımın pencereci kurutulan süt tozlarının ortalama a^* sonuçları (1,50) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Al-Amin ve ark. (2015), farklı kurutma yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, yüksek sıcaklıkta yapılan kurutma işlemlerinin dondurarak kurutmaya kıyasla daha düşük L^* değerleri, buna karşılık daha yüksek a^* ve b^* değerleri ile sonuçlandığını, bunun da Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon gibi esmerleşme süreçlerinin hızlanmasıyla ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.13. Süt tozu örneklerine ait renk değerleri¹

Hammadde çeşidi	Üretim yöntemi	Kurutma yöntemi	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	Doygunluk indeksi	Ton açısı
Pirinç sütü	Kontrol	DK	97,62±0,23	0,00±0,00	3,94±0,02	3,94±0,02	90,04±0,01
		KPK	97,04±0,13	-0,45±0,01	6,17±0,06	6,18±0,06	94,18±0,17
	Geleneksel	DK	98,84±0,14	-0,19±0,00	3,06±0,06	3,06±0,06	93,56±0,07
		KPK	96,58±0,01	-0,35±0,03	6,31±0,05	6,31±0,05	93,18±0,23
	Ultrason	DK	100,32±0,06	-0,16±0,04	2,77±0,11	2,77±0,11	93,19±0,60
		KPK	96,50±0,06	-0,59±0,01	6,19±0,06	6,22±0,06	95,40±0,02
Soya Sütü	Kontrol	DK	98,84±0,14	-0,19±0,00	3,04±0,04	3,04±0,04	93,58±0,04
		KPK	82,23±0,16	4,32±0,14	26,77±0,08	27,11±0,08	80,83±0,33
	Geleneksel	DK	92,90±0,13	-0,23±0,00	3,93±0,07	3,94±0,07	93,35±0,06
		KPK	84,74±0,03	3,23±0,01	22,56±0,48	22,79±0,48	81,85±0,14
	Ultrason	DK	88,34±0,06	1,20±0,01	17,39±0,06	17,43±0,06	86,07±0,01
		KPK	84,17±0,05	2,81±0,08	22,65±0,28	22,82±0,28	82,94±0,11
Minumum-Maksimum			82,23-100,32	-0,59-4,32	2,77-26,77	2,77-27,11	80,83-95,40
Ortalama±std			93,17±6,52	0,78±1,70	10,40±9,13	10,47±9,23	89,85±5,39

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: Isıl İşlem uygulanmamış, DK: Dondurarak kurutma, KPK: Kırınım pencereci kurutma

Çizelge 4.14. Süt tozu örneklerinin renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<i>L</i> *		<i>a</i> *		<i>b</i> *		Doygunluk indeksi		Ton açısı	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	516,62	35949,04**	27,57	11569,3**	768,51	25981,63**	785,34	26746,19**	279,00	5640,86**
Üretim yöntemi (B)	2	10,35	360,19**	0,38	80,30**	45,32	766,06**	45,08	767,65**	5,14	51,97**
Kurutma yöntemi (C)	1	211,29	14702,42**	12,16	5103,0**	532,32	17996,59**	546,35	18606,17**	76,44	1545,46**
A×B	2	29,21	1016,32**	0,43	89,22**	55,08	931,00**	54,42	926,61**	27,24	275,34**
A×C	1	82,70	5754,43**	18,79	7883,17**	249,81	8445,42**	258,30	8796,93**	185,31	3746,63**
B×C	2	22,76	791,75**	2,23	467,99**	81,63	1379,88**	83,30	1418,43**	31,67	320,12**
A×B×C	2	63,27	2201,40**	2,13	447,44**	101,27	1711,89**	103,41	1760,88**	33,37	337,32**
Hata	12	0,17		0,03		0,36		0,35		0,59	

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

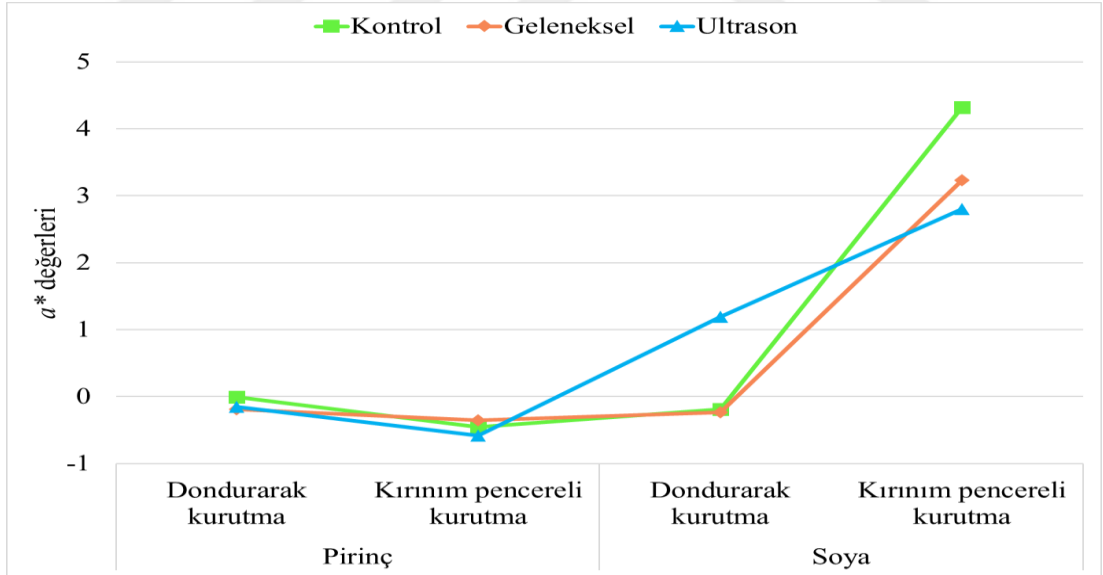
Çizelge 4.15. Süt tozu örneklerinin renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	Doygunluk indeksi	Ton açısı
<i>Hammadde çeşidi</i>						
Pirinç	12	97,81±1,43a	-0,29±0,20b	4,74±1,59b	4,75±1,60b	93,26±1,71a
Soya	12	88,53±6,01b	1,86±1,80a	16,05±9,71a	16,19±9,83a	86,44±5,46b
<i>Üretim yöntemi</i>						
Kontrol	8	93,93±7,26a	0,92±2,11a	9,98±10,43b	10,07±10,59b	89,66±5,71b
Geleneksel	8	93,26±5,73b	0,62±1,62c	8,96±8,49c	9,03±8,59c	90,48±5,33a
Ultrason	8	92,33±6,84c	0,82±1,42b	12,25±8,64a	12,31±8,70a	89,40±5,43b
<i>Kurutma yöntemi</i>						
Dondurarak kurutma	12	96,14±4,38a	0,07±0,53b	5,69±5,49b	5,70±5,50b	91,63±2,91a
Kırınım pencereleli kurutma	12	90,21±6,83b	1,50±2,10a	15,11±9,39a	15,24±9,52a	88,06±6,53b

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Benzer şekilde, Liu ve ark. (2023) farklı kurutma yöntemlerinin bitkisel bazlı süt tozlarının renk parametreleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve dondurarak kurutmanın rengi en iyi koruduğunu ifade etmiştir. Bu durum, çalışmamızda kırınım pencereli kurutma gibi yüksek sıcaklık içeren işlemlerde a^* değerlerinin artmasıyla uyumludur. Geleneksel ve ultrason yönteminin kullanıldığı süt tozu örneklerinde elde edilen a^* değerinin kontrol grubu süt tozu örneklerine göre düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Bu bulgu, ultrasonun protein agregatlarını parçalayarak ve Maillard reaksiyonu için gerekli serbest amino gruplarını azaltarak renk koyulaşmasını sınırladığına işaret etmektedir.

Süt tozu örneklerinin a^* verilerinde etkili ($p<0,01$) “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” etkileşimi incelendiğinde, kırınım pencereli kurutulmuş soya süt tozu örneklerinin a^* değerleri diğer örneklere kıyaslandığında daha yüksek olarak belirlenmiştir. Pirinç süt tozu örneklerinde uygulanan kurutma prosesleri a^* değeri üzerindeki etkisi soya süt tozlarına örneklerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılık, hammaddenin yapısında bulunan proteinler ve renk pigmentleri gibi kimyasal bileşenlerden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.17).



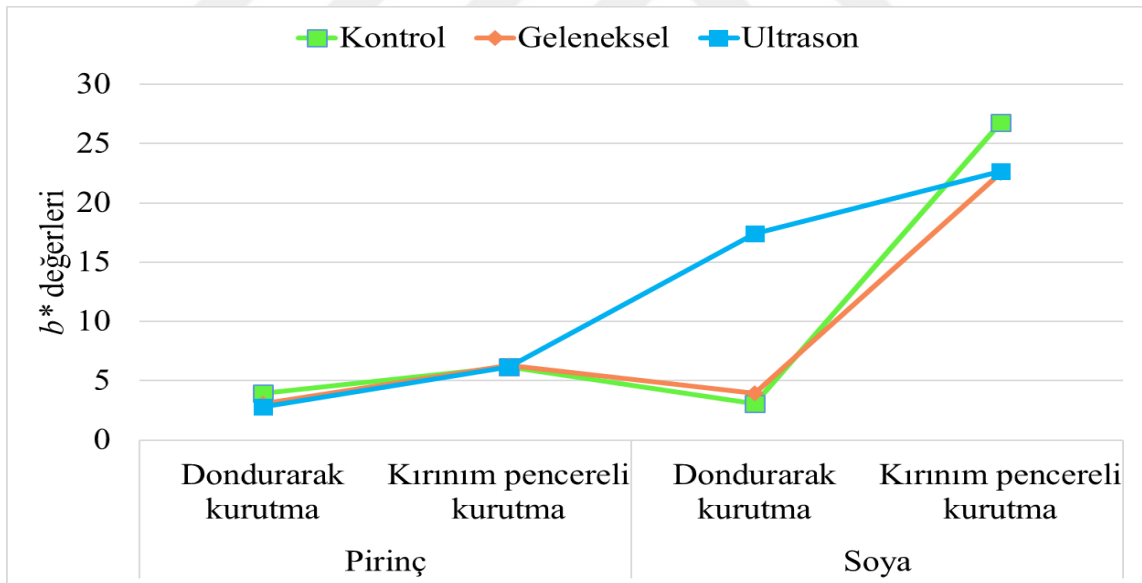
Şekil 4.17. Süt tozu örneklerinin a^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksiyonu ($p<0,01$)

Çizelge 4.13. süt tozu örneklerinin b^* değerlerini; Çizelge 4.14. bu değerlere yönelik varyans analiz sonuçlarını; Çizelge 4.15 ise çoklu karşılaştırma testinden elde edilen verileri içermektedir.

Varyans analiz sonuçlarına göre süt tozu örneklerinin b^* değerleri üzerinde hammadde çeşidi, kurutma yöntemi ve üretim yöntemi faktörleri ile “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi”, “hammadde çeşidi $\times$ üretim yöntemi”, “üretim yöntemi $\times$ kurutma yöntemi” ve “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” etkileşimlerinin $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.14).

Hammadde çeşidi açısından incelendiğinde, soya sütü tozu örneklerinin ortalama b^* değerleri (16,05) pirinç sütü tozu örneklerinden (4,74) daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.15). Bu durum, soya hammaddesinin doğal olarak daha yüksek karotenoid ve fenolik bileşikler içermesi nedeniyle b^* renginin (sarı tonun) daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır. Cai ve ark. (2021), soya ürünlerinde uygulanan ısıt işlemlerin karotenoidlerin parçalanmasına ve Maillard reaksiyonlarının başlamasına neden olarak ürünlerde sarımsı-kahverengi tonların (b^*) artışına yol açtığını bildirmiştir.

Süt tozu örneklerinin b^* değerinde etkili olan “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu $p < 0,01$ düzeyinde anlamlı bulunmuş olup, bu etkileşime ait grafik Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Süt tozu örneklerinin b^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Pirinç süt tozu örneklerinin b^* değerlerinin dondurarak kurutma ve kırınım pencereli kurutma ile elde edilmesi arasındaki farklılık soya sütü tozu örneklerinden daha düşüktür. Pirinç ve soya süt tozu b^* değerleri dondurarak kurutma yöntemi ile benzer değerler verirken kurutma yöntemi olarak kırınım pencereli kurutucunun kullanımı soya

örneklerinde daha yüksek b^* değeri elde etmemizi sağlamıştır. Bu bulgu, soya proteinlerinin yüksek amino asit içeriği nedeniyle Maillard reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini ve b^* değerinin artışı desteklediğini ortaya koymaktadır. Dwivedi ve ark. (2014), soya sütü tozu üzerine yaptıkları çalışmada püskürtmeli kurutma parametrelerinin (giriş havası sıcaklığı ve atomizer hızı) artmasıyla L^* verilerinde düşüş, a^* ve b^* sonuçlarında ise belirgin artış gözlemlenmiştir. Bu bulgu, çalışmamızda kırım pencere kurutmanın yüksek sıcaklık etkisiyle b^* değerini artırmasıyla uyumludur.

Dondurarak kurutulan örneklerin ortalama b^* değerinin daha düşük bulunması, bu yöntemin düşük sıcaklık koşullarında uygulanması ve pigmentlerin daha iyi korunmasından kaynaklanmaktadır. Dong ve ark. (2022), protein hidrolizatlarını inceledikleri çalışmalarında, dondurarak kurutulan örneklerde b^* değerinin düşük, püskürtmeli kurutulan örneklerde ise Maillard reaksiyonlarının etkisiyle b^* değerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla, düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma koşulları renk stabilitesini korumakta, yüksek sıcaklık içeren yöntemler ise b^* değerini artırmaktadır.

Bitkisel süt tozu üretiminde ultrason uygulamasının b^* değeri üzerinde etkisinin daha yüksek olduğu belirlenmiş, bunu 9,98 ile kontrol grubu ve 8,96 ile geleneksel yöntem izlemiştir. Ultrason uygulamasının bu etkisi, ses dalgalarının hücre yapısını bozarak renk pigmentlerinin açığa çıkmasını kolaylaştırmasından kaynaklanabilir. Ayrıca ultrasonun protein ve şeker etkileşimlerini artırarak Maillard reaksiyonlarını hızlandırabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Wang ve ark. (2022), farklı kurutma yöntemlerinin protein yapısında oksidatif değişimlere yol açarak renk parametrelerini etkilediğini, özellikle sıcaklık ve ön işlemlerin b^* artışına katkı sağladığını rapor etmişlerdir.

Liu ve ark. (2023), bitkisel bazlı süt tozlarının kurutma yöntemlerine bağlı renk değişimlerini inceledikleri çalışmalarında, dondurarak kurutulan örneklerde b^* değerlerinin düşük kaldığını, sıcaklık içeren yöntemlerde ise b^* değerlerinin arttığını rapor etmişlerdir. Bu bulgu, çalışmamızda soya örneklerinde kırım pencere kurutma ile daha yüksek b^* değerleri elde edilmesiyle paralellik göstermektedir.

Süt tozu örneklerinin doygunluk indeksi ve ton açısı verileri sırayla 2,77-27,11 ve 80,83-95,40 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.13). En yüksek doygunluk indeksi ve en düşük ton açısı değerleri kırım pencere kurutma yöntemi ile elde edilmiş soya süt tozu örneklerinde belirlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklık koşullarının Maillard

reaksiyonu ve pigment parçalanması gibi süreçleri hızlandırarak a^* ve b^* değerlerinin artmasına yol açtığını göstermektedir. Al-Amin ve ark. (2015), yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma yöntemlerinde doygunluk indeksi değerlerinin yükseldiğini ve ton açısının düştüğünü, bunun da esmerleşme süreçleriyle ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir. Dolayısıyla, kırım pencere kurutma yönteminde gözlenen yüksek doygunluk ve düşük ton açısı değerleri, esmerleşmenin daha yoğun yaşandığını ortaya koymaktadır. Çizelge 4.13’de görülen bu değerler ton açısı ile doygunluk indeksi hesaplamalarında kullanılan a^* ve b^* değerlerin hammadde ve yapılan işlemlerle önemli düzeyde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Yapılan varyans analizinin sonuçları incelendiğinde doygunluk indeks ve ton açısı üzerinde, hammadde çeşidi, kurutma yöntemi, üretim yöntemi faktörleri ile “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi”, “hammadde çeşidi x üretim yöntemi”, “üretim yöntemi x kurutma yöntemi”, “hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi” interaksiyonların, $p < 0,01$ istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (Çizelge 4.14).

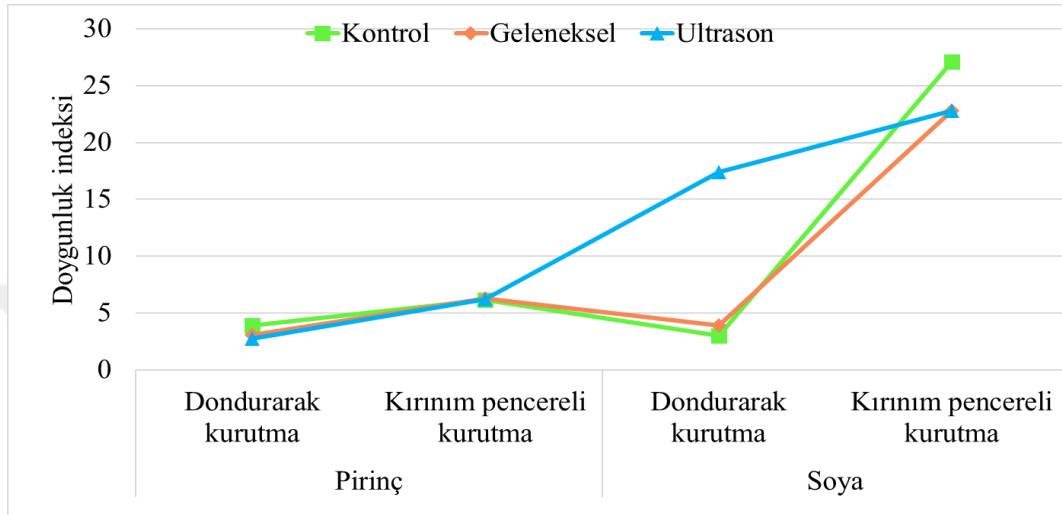
Hammadde çeşidi açısından sonuçlar değerlendirildiğinde soya kullanımı ile daha yüksek doygunluk indeksi değerinin (16,19) aksine daha düşük ton açısı değeri (86,44) bulunmuş. Pirinç kullanımında ise süt tozlarının doygunluk indeksi değerleri azalırken ton açısı değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu sonuç, pirinç bazlı ürünlerin daha yüksek b^* değerlerine sahip olduğunu, soya bazlı ürünlerin ise yüksek a^* değeri verme eğiliminin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Kurutma yöntemi açısından incelendiğinde, dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen örneklerde doygunluk indeksi değeri 5,70, kırım pencere kurutma yöntemiyle ise 15,24 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15). Ton açısı değerleri dondurarak kurutulan örneklerde 91,63 olarak hesaplanmış olup, kırım pencere kurutulan örneklere (88,06) göre daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgu, düşük sıcaklık koşullarının pigment stabilitesini koruyarak rengin daha açık kalmasını, buna karşılık yüksek sıcaklık koşullarının Maillard reaksiyonlarını hızlandırarak ton açısını düşürdüğünü göstermektedir.

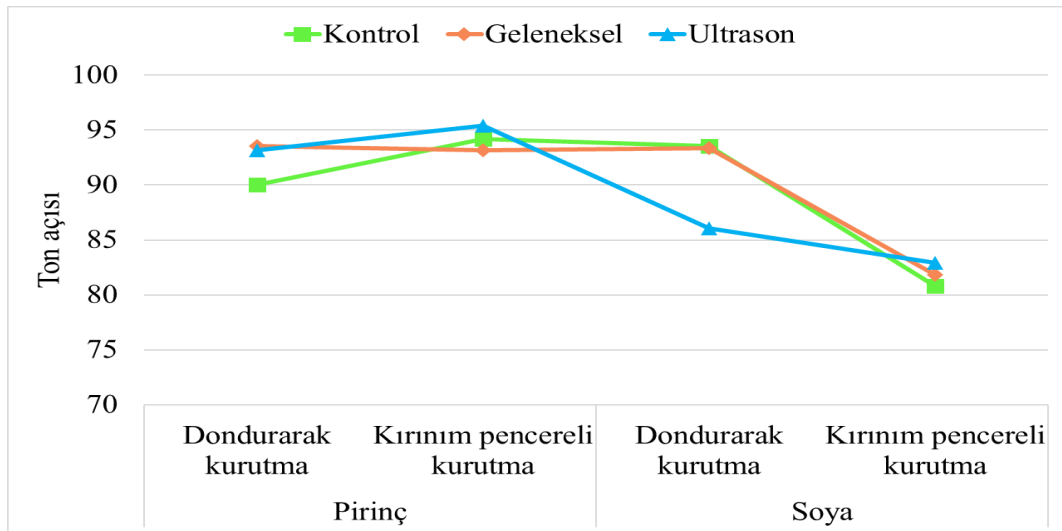
Kontrol grubu süt tozu örneklerinde doygunluk indeksi değeri 10,07 olarak belirlenirken, geleneksel yöntemle bu değer 9,03’e kadar azalmış, ultrason uygulamasıyla ise 12,31’e kadar artış göstermiştir (Çizelge 4.15). Ultrasonun bu etkisi, protein yapısında kısmi denatürasyon oluşturarak pigmentlerin açığa çıkmasını kolaylaştırması ve rengin doygunluğunu artırmasıyla açıklanabilir. Ayrıca, ultrason uygulaması sonucu partikül

yüzeyinde meydana gelen mikro yapısal değişimlerin, rengin daha yoğun ve homojen algılanmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

Süt tozu örneklerinin doygunluk indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” etkileşimi $p<0,01$ seviyesinde anlamlı görülmüş, bu etkileşime ilişkin grafik Şekil 4.19’da sunulmuştur.



Şekil 4.19. Süt tozu örneklerinin doygunluk indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)



Şekil 4.20. Süt tozu örneklerinin ton açısı değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ kurutma yöntemi $\times$ üretim yöntemi” interaksyonu ($p<0,01$)

Şekil incelendiğinde, soya bazlı örneklerde ısı yükünün artmasıyla doygunluk indeksinin yükseldiği ve ton açısının düştüğü, buna karşılık pirinç bazlı örneklerin daha sınırlı renk değişimleri sergilediği görülmektedir. Bu durum, hammaddenin yapısal

bileşimi ve pigment içeriği farklılıklarının renk davranışları üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Süt tozu örneklerinin ton açısı verileri üzerimde etkili “*hammadde çeşidi x kurutma yöntemi x üretim yöntemi*” etkileşimi Şekil 4.20’de verilmiştir ($p<0,01$).

4.3. Kek Hamuru Analiz Sonuçları

4.3.1. Kek hamuru pH ve yoğunluk değerleri

Hamur örneklerine ait pH değerleri 6,57 ile 6,92 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.16). Pirinç süt tozu içeren hamurların pH değerlerinin, soya süt tozu içeren hamurlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu farklılık, pirinç proteinlerinin daha düşük asidik amino asit oranına sahip olmasından kaynaklanabilirken; soya proteinlerinde bulunan asidik grupların pH’ı düşürme eğilimini artırdığı düşünülmektedir.

Analiz sonuçlarına incelendiğinde kek hamuru örneklerinin pH sonuçları üzerinde süt tozu çeşidi faktörü ile “*hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi*” interaksyonu $p<0,01$ düzeyinde anlamlı, buna karşın hammadde çeşidi faktörünün istatistiksel olarak önemsiz ($p>0,05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.18’de, pirinç süt tozu içeren hamurlar 6,86 değeri ile en yüksek pH’a sahip olurken, soya süt tozu içerenlerde bu değer 6,71 olarak tespit edilmiştir. Hammadde kaynaklı kek hamurlarında gözlenen pH değişimlerinin, pirinç ve soya proteinlerinin amino asit bileşimi ve iyonik yük farklılıklarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, soya proteinlerinin yüksek fosfor içeriğinin iyonik dengeyi etkileyerek pH’ın düşmesine katkı sağlayabileceği de göz önünde bulundurulabilir.

Süt tozu çeşidi açısından pH değerleri incelendiğinde, inek sütü tozu ve işlem uygulanmamış süt tozu içeren kek hamuru örneklerinin pH değerleri birbirine oldukça yakın (sırasıyla 6,81 ve 6,82) bulunmuştur. Bu değerleri ultrason yöntemi (6,77) ve geleneksel yöntem (6,75) takip etmiştir. Bu sonuç, ultrason ve ısıl işlemlerin pH üzerinde sınırlı ancak yönlendirici etkiler yaratabildiğini göstermektedir.

Süt tozlarının işlenmesi sırasında uygulanan ısıl veya mekanik işlemler, protein denatürasyonu ve bazı asidik bileşiklerin açığa çıkması yoluyla pH değişimlerine neden olabilmektedir. Özellikle ısıl işlemler protein yapısında bozulmalara yol açarak pH’ı düşürürken, ultrason uygulaması protein yüzeyinde kısmi yapısal değişimlerle pH stabilitesinin korunmasına katkıda bulunabilmektedir.

Çizelge 4.16. Hamur örneklerine ait pH ve yoğunluk değerleri¹

Hammadde çeşidi	Süt tozu çeşidi	pH	Yoğunluk (g/cm ³)
Pirinç	İnek sütü tozu	6,81±0,01	1,18±0,04
	İşlem uygulanmamış	6,88±0,01	1,12±0,10
	Geleneksel	6,92±0,00	0,90±0,02
	Ultrason	6,83±0,01	1,00±0,12
Soya	İnek sütü tozu	6,81±0,01	1,22±0,10
	İşlem uygulanmamış	6,76±0,03	0,94±0,07
	Geleneksel	6,57±0,03	1,03±0,13
	Ultrason	6,71±0,01	1,01±0,08
Minimum-Maksimum		6,57-6,92	0,90-1,22
Ortalama±std		6,78±0,11	1,05±0,11

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). Kontrol: İnek sütü tozu içeren kek örneği

Çizelge 4.17. Hamur örneklerinin pH ve yoğunluk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	pH		Yoğunluk	
		KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	0,09	348,10ns	0,00	0,00ns
Süt tozu çeşidi (B)	3	0,01	19,30**	0,13	5,52*
A×B	3	0,06	85,70**	0,05	2,17ns
Hata	8	0,00		0,06	

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.18. Hamur örneklerinin pH ve yoğunluk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

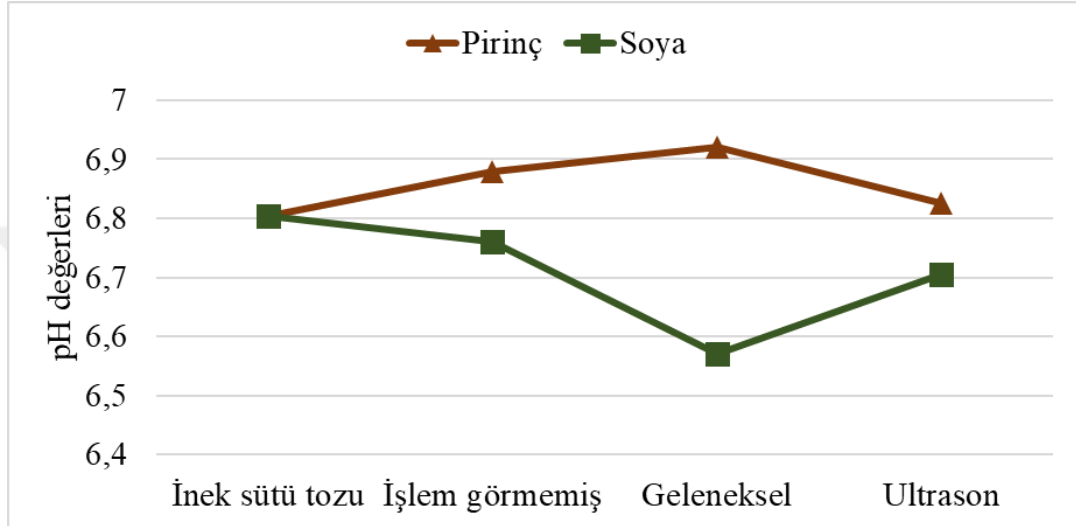
Faktör	n	pH	Yoğunluk (g/cm ³)
Hammadde çeşidi			
Pirinç	8	6,86±0,05a	1,05±0,13a
Soya	8	6,71±0,10b	1,05±0,13a
Süt tozu çeşidi			
İnek sütü tozu	4	6,81±0,01a	1,20±0,07a
İşlem uygulanmamış	4	6,82±0,07a	1,03±0,12ab
Geleneksel	4	6,75±0,20b	0,97±0,11b
Ultrason	4	6,77±0,07b	1,00±0,08ab

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Chen ve ark. (2008), püskürterek kurutma gibi ısı işlemlerin soya sütü tozunun pH'ında hafif düşüslere sebep olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde, Kong ve ark. (2023) ultrason uygulamasının protein yapısındaki değişiklikler sonucu bazı asidik grupların ortaya çıkmasına neden olabileceğini rapor etmiştir. Dolayısıyla, çalışmamızda ultrason ve geleneksel işlemlerde gözlenen pH düşüsleri literatürde bildirilen bu mekanizmalarla uyum göstermektedir.

Hamur örneklerinin pH verilerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” bileşimi Şekil 4.21’de gösterilmiştir (p<0,01). Pirinç süt tozu içeren kek hamur örneklerinin pH değerlerinin aynı işleme tabi tutulmuş soya süt tozu kullanımına göre

daha yüksek değerleri elde edilmiştir. Bu bulgu, hammaddenin pH üzerinde belirleyici rol oynadığını ve aynı işlem koşullarında bile pirinç bazlı formülasyonların daha nötr değerlere yakın sonuç verdiğini göstermektedir. Geleneksel yöntemi ile üretilen pirinç ve soya süt tozu örneklerinin kek hamuru pH üzerinde değişen etki gösterdiği belirlenmiş olup pirinç süt tozu ilavesi ile artan pH değerine kıyasla soya süt tozu kullanımı ile bu değerin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.21. Kek hamuru örneklerinin pH değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Pirinç ve soya süt tozlarının süt yerine farklı miktarlarda kullanıldığı kek hamuru örneklerine ait yoğunluk analiz sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, kek hamuru örneklerinin yoğunluk sonuçları üzerinde süt tozu çeşidi faktörü $p < 0,05$ düzeyinde anlamlı bulunurken; hammadde çeşidi bileşeni ile “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” interaksyonu istatistiki olarak önemsiz ($p > 0,05$) raporlanmıştır (Çizelge 4.17). Buna göre, hammadde çeşidi kek hamuru yoğunluğu üzerinde anlamlı bir etki göstermemiştir.

Süt tozu çeşidi açısından değerlendirildiğinde, en yüksek yoğunluk değeri $1,20 \text{ g/cm}^3$ ile inek sütü tozu eklenmiş kek hamurlarında tespit edilmiştir. Buna karşılık, en düşük yoğunluk değeri geleneksel yöntem ile elde edilen örneklerde belirlenmiştir (Çizelge 4.18). Isıl işlem uygulanmamış ve ultrason uygulanmış süt tozu içeren kek hamurlarının yoğunluk değerleri birbirine benzer bulunmuş olup ($p > 0,05$), bu durum ultrasonun hamurun yapısında hava tutma kapasitesini artırarak yoğunluk üzerinde dengeleyici bir etki yarattığını göstermektedir.

Bu sonuçlar, çalışmamızda elde edilen pH bulgularıyla da paralellik göstermektedir. Özellikle pirinç süt tozu içeren kek hamurlarında daha yüksek pH değerlerinin, soya süt tozu içerenlerde ise daha düşük pH değerlerinin belirlenmesi literatürdeki benzer araştırmalarla uyumludur. Aynı şekilde, geleneksel yöntemle işlenen süt tozlarının kullanıldığı kek hamurlarında yoğunluk değerlerinin düşmesi, ısıtma işlemlerin protein yapısı ve hava tutma kapasitesi üzerindeki etkilerini doğrulamaktadır.

Isıl işlem kaynaklı protein denatürasyonu, hamurda gaz tutma kapasitesinin azalmasına yol açarak daha sıkı, düşük kabarma potansiyeline sahip bir yapı oluşturabilmektedir. Bu durum, kek hamurunun viskoelastik yapısındaki zayıflama ile de ilişkilendirilebilir.

Literatürde de benzer bulgular rapor edilmiştir. Gómez ve ark. (2008), baklagil katkılı kek hamurlarında yüksek sıcaklığa maruz kalan proteinlerin gaz tutma kapasitesinin düştüğünü ve bunun yoğunluk artışına neden olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Singh (2023), soya bazlı süt tozlarının yüksek sıcaklıkta kurutulması sonucu protein yapısında meydana gelen değişimlerin hamur yoğunluğu ve kabarma özelliklerinde farklılıklara yol açtığını rapor etmiştir. Bu bulgular, çalışmamızda geleneksel yöntemle işlenen örneklerde yoğunluk değerlerinin düşmesiyle doğrudan örtüşmektedir.

4.4. Kek Analiz Sonuçları

4.4.1. Renk sonuçları

Kek örneklerinin kabuk L^* verileri Çizelge 4.19'da özetlenmektedir. Analiz sonuçlarına göre örneklerin kabuk L^* değerlerinin 46,09-68,68 arasında değiştiği görülmüştür. Kek örneklerinde, en düşük kabuk L^* değeri inek süt tozu eklenmiş örneğinde tespit edilirken, en yüksek kabuk L^* değeri işlem uygulanmamış pirinç süt tozu içeren kek örneklerinde belirlenmiştir. Çizelge 4.19 kabuk L^* değeri açısından incelendiğinde pirinç süt tozu kullanımının kek kabuk L^* değerleri üzerinde daha yüksek artırıcı özellik gösterdiği bulunmuştur. Bu durum, pirinç bazlı süt tozlarının daha açık renk pigment profiline sahip olmasından ve ısıtma işlem sırasında daha sınırlı Maillard reaksiyonu geliştirmesinden kaynaklanabilir. Kek örneklerinin kabuk L^* değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.20'de gösterilmektedir. Hammadde çeşidi ve süt tozu çeşidi faktörleri

ile “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksiyonunun etkilerinin $p<0,01$ düzeyinde istatistiki açıdan önemli olduğu belirlenmiştir.

Kek örneklerinin kabuk L^* değerleri için yapılan çoklu karşılaştırma analizinin sonuçlarını içermektedir. Çoklu karşılaştırma testinden elde edilen bulgulara göre, kabuk L^* değerleri hammadde çeşidi faktörü bakımından değerlendirildiğinde, pirinç süt tozu içeren kek örneklerinin kabuk L^* değerlerinin, soya süt tozu içeren kek örneklerinde istatistiksel olarak önemli derecede daha yüksek olduğu görülmektedir ($p<0,05$).

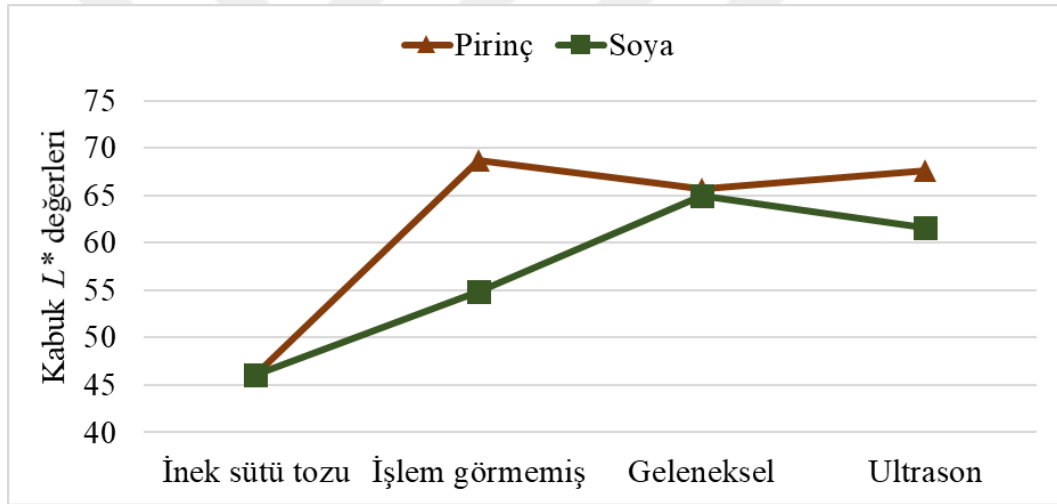
Süt tozu çeşidi faktörüne göre kabuk L^* değerleri önemli oranda değişim göstermiştir ($p<0,05$). En yüksek kabuk L^* değeri 65,31 ve 64,62 ile geleneksel ve ultrason yöntem ile elde edilen süt tozu içeren kek örneklerinde tespit edilirken en düşük kabuk L^* değeri inek sütü tozu eklenmiş kek örneğinde belirlenmiştir. İşlem uygulanmamış süt tozu içeren kek örneklerinin kabuk L^* değerlerinde ise önemli bir oranda azalma gözlemlenmiştir. Bu bulgu, işlenmemiş süt tozlarında protein-şeker etkileşimlerinin daha kontrolsüz ilerlediğini ve kabuk renginde koyulaşma eğilimini artırdığını göstermektedir.

Şekil 4.22’de farklı kek örneklerinin kabuk L^* değerleri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksiyonu gösterilmektedir. İnteraksiyon incelendiğinde inek sütü tozu eklenmiş ve geleneksel yöntem ile elde edilen pirinç ve soya süt tozu kullanımının kabuk L^* değeri üzerine benzer etki gösterdiği belirlenmiştir. Ancak işlem uygulanmamış ve ultrason uygulanmış süt tozları ilaveli kek örneklerinde kabuk L^* değerlerinin pirinç süt tozu kullanımı ile daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak hem hammadde çeşitliliği hem de süt üretim yöntemlerinin farklılığı kek örneklerinin kabuk renk değişimine yol açmıştır. Özellikle ultrason yöntemi ile elde edilen süt tozlarının kek kabuk rengini daha yüksek L^* değeri verdiği, bu yöntemin protein yapısını kısmen stabilize ederek Maillard reaksiyonlarını yavaşlatabileceğini düşündürmektedir.

Literatürde, baklagil esaslı süt ikamelerinin kullanılması durumunda kek kabuğunun L^* değerinin genellikle azaldığı ve bu etkinin ikame oranı ile uygulanan işlem türüne bağlı olarak arttığı bildirilmiştir. Gómez ve ark. (2008), buğday ve nohut kompozit unlarla ürettikleri keklerde, ikame oranı arttıkça kabuk ve iç L^* değerlerinin anlamlı biçimde düştüğünü ($p<0,05$) ve bu düşüşün formülasyonda artan serbest amino grupları ile indirgen şekerlerin hızlandığı Maillard reaksiyonlarıyla ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Bu eğilime sayısal bir örnek olarak, Ertop ve Hayta (2018), nohut ekşi mayası kullanılan model keklerde kabuk L^* değerinin 45,83'ten 42,75'e (3,08 birim) düştüğünü, buna paralel olarak kabuk a^* değerinin 16,53'ten 17,84'e (1,31 birim) yükseldiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada özgül hacim kontrol grubunda 2,39 cm³/g iken, ekşi maya uygulamasıyla 2,23 cm³/g'a düşmüştür (yaklaşık %6,7 azalma). Bu bulgular, protein ve azot bakımından zengin katkıların kabuk renginde koyulaşmaya ve ürün yapısında yoğunlaşmaya yol açabileceğini nicel olarak doğrulamaktadır.

Benzer şekilde, Gallego ve ark. (2022), glutensiz keklerde nohut ve kestane unu katkısının kabuk L^* değerini anlamlı düzeyde azalttığını ($p<0,05$) ve bu değişimin özgül hacim–viskozite–duyusal kabul dengesi üzerinde belirleyici olduğunu rapor etmiştir. Araştırmacılar, bu L^* düşüşünü baklagil unlarının protein ve fenolik bileşimlerinin tetiklediği kahverengileşme süreçleriyle ilişkilendirmiştir.



Şekil 4.21. Kek örneklerinin kabuk L^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” etkileşimi ($p<0,01$)

Hedayati ve Mazaheri Tehrani (2018), soya sütü ile yumurta ikamesi üzerine yürüttükleri çalışmada, lesitin eklenmemiş soya sütlü keklerin daha koyu kabuk rengine (düşük L^*), daha yüksek yoğunluğa ve daha düşük hacme sahip olduğunu; formülasyona %2–4 oranında soya lesitini eklendiğinde ise renk, hacim ve doku özelliklerinin kontrole yaklaştığını, %4’ün üzerindeki oranlarda ise duyusal özelliklerin olumsuz etkilendiğini bildirmiştir. Bu bulgu, renk farklılıklarının yalnızca protein/şeker oranına değil, aynı zamanda emülsifikasyon kapasitesi ve hava tutma yeteneğine de doğrudan bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Kek örneklerine ait kabuk a^* değerlerindeki değişim Çizelge 4.19’da verilmiştir. Kek örneklerinin kabuk a^* değerleri pirinç süt tozu içeren kek örneklerinin 7,25-14,17 arasında soya süt tozu içeren kek örneklerinde ise 11,24-14,17 arasında değişim göstermiştir. İnek sütü tozu eklenmiş kek örneği ile karşılaştırıldığında, soya sütü tozu kullanımı ile kek örneklerinin kabuk a^* değerlerinde değişim pirinç süt tozu ilavesine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Bu durum, pirinç bazlı süt tozlarının daha düşük pigment içeriği nedeniyle esmerleşmeye daha az katkı sağlamasından, soya bazlı süt tozlarının ise yüksek protein ve serbest amino grubu içeriğiyle daha yoğun Maillard reaksiyonlarına yol açmasından kaynaklanmaktadır.

Soya proteinlerinin ve diğer bileşenlerin Maillard reaksiyonlarına girme eğilimleri, pirinç hammaddesinin kimyasal bileşenlerinden farklılık göstermektedir ve bu durum kabuk renginde farklılaşmalara yol açabilmektedir (Li ve ark., 2013). Liu ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, soya proteinlerinin Maillard reaksiyonları için pirinç proteinlerinden daha fazla reaktif grup sunarak pişme sırasında daha yoğun esmerleşmeye yol açabileceği belirtilmiştir. Bu durum, soya süt tozu ilaveli kek örneklerinin kabuk renginde gözlemlediğimiz daha düşük L^* ve daha yüksek a^* değerleri ile uyumludur. Kek örneklerinin kabuk a^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.20’de gösterilmektedir. Kek örneklerinin kabuk a^* değerleri üzerinde hammadde ve süt tozu çeşidi faktörleri ile “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksiyonunun istatistiki açıdan önemli ($p<0,01$) görülmüştür.

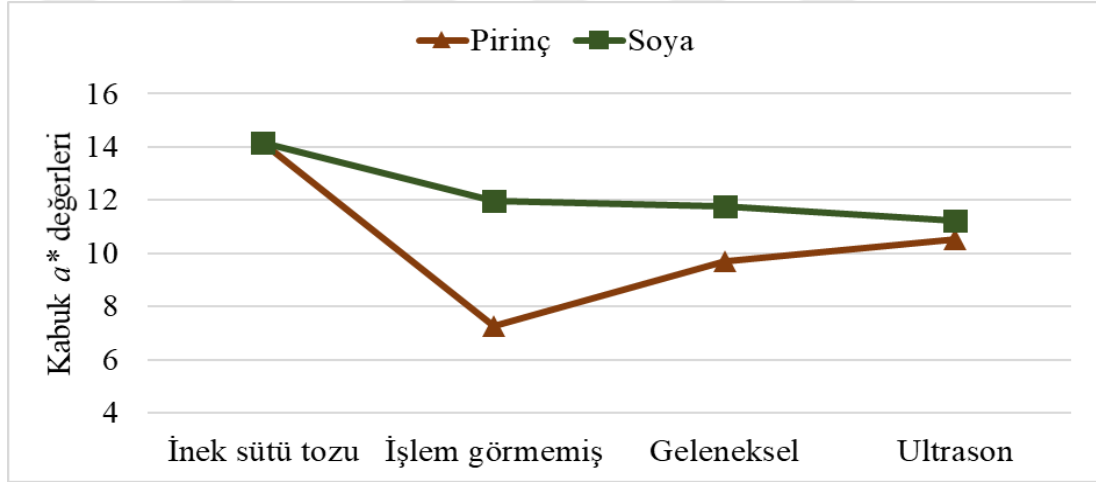
Çizelge 4.21’de verilen sonuçlar incelendiğinde pirinç ve soya süt tozu ilave edilmesinin kek örneklerinin kabuk a^* değerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Bunu pirinç süt tozu ilaveli (10,41) kek örnekleri izlemiştir. Kek örneklerinin kabuk a^* değerleri süt tozu çeşidi açısından değerlendirildiğinde inek sütü tozu eklenmiş kek örneklerinde 14,17 olan değerler süt tozu ilavesi ile birlikte sırasıyla işlem uygulanmamış için 9,61, geleneksel için 10,73 ve ultrason için 10,89 olarak bir azalma tespit edilmiştir.

Gómez ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, buğday nohut kompozit un kullanılarak hazırlanan keklerde kontrol grubunun kabuk a^* değeri 7,92 iken, %30 nohut unu ilavesiyle bu değerin 10,65’e yükseldiği ($p<0,05$) bildirilmiştir. Aynı çalışmada kabuk L^* değerinin 47,3’ten 43,1’e düşmesi, koyulaşma eğiliminin açık bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızda süt tozu ikamesiyle gözlenen kabuk a^* artışlarının literatürle doğrudan paralellik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Mudgil ve ark. (2024) ise keklerde pişirme sürecinde gerçekleşen Maillard reaksiyonları ve karamelizasyonun, kabuk renginin temel belirleyicileri olduğunu;

özellikle protein kaynağındaki farklılıkların (örneğin soya ve pirinç proteinleri) kabuk a^* değerlerinde anlamlı değişimlere neden olabileceğini rapor etmiştir.

Şekil 4.22’de keklerin kabuk a^* değerlerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu gösterilmektedir. İnteraksiyon incelendiğinde, pirinç süt tozu içeren kek örneklerinin kabuk a^* değerlerinin, tüm süt tozu çeşitlerinde soya süt tozu ilavesine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, işlem uygulanmamış pirinç ve soya süt tozu ilavesiyle hazırlanan kek örneklerinde kabuk a^* değerlerindeki değişimin en yüksek düzeyde olduğu; buna karşın işlenmiş (geleneksel ve ultrason uygulanmış) süt tozlarının kullanımıyla bu farklılıkların azaldığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, işlem uygulanmamış süt tozlarının Maillard reaksiyonları için daha reaktif bileşenler içerdiğini ve bu nedenle kek kabuğunda daha yoğun esmerleşmeye yol açtığını göstermektedir.



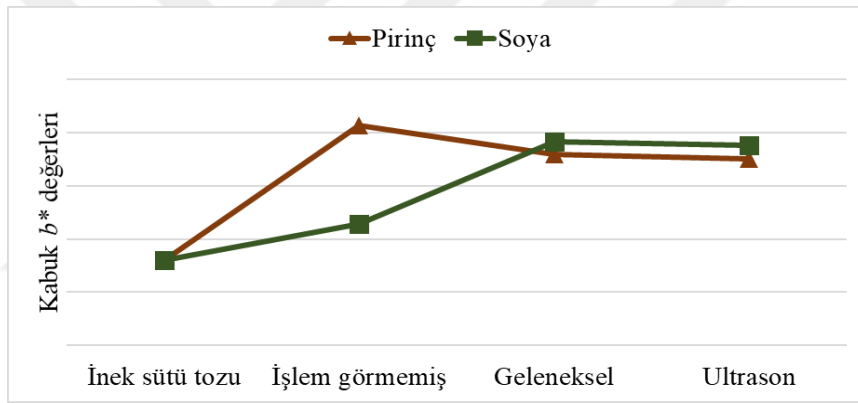
Şekil 4.22. Kek örneklerinin kabuk a^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Kek örneklerinin kabuk kısmına ait b^* değerleri Çizelge 4.19’da, bu değerlere yönelik varyans analizi bulguları Çizelge 4.20’de ve kabuk b^* değerlerinin ortalamalarına ilişkin sonuçlar ise Çizelge 4.21’de sunulmuştur. Kabuk b^* değerleri, 23,01 ile 35,66 aralığında değişmiştir (Çizelge 4.19). Varyans analizi sonuçları, kabuk b^* değerleri üzerinde hammadde çeşidi, süt tozu çeşidi ve bu iki faktörün etkileşiminin “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” $p < 0,01$ düzeyinde etkilidir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.21’de verilen bulgulara göre, pirinç süt tozu ilavesi ile hazırlanan kek örneklerinin kabuk b^* değerinin (31,02), soya sütü tozu ilavesi ile hazırlanan kek örneklerinin kabuk b^* değerinden (29,34) daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu durum, pirinç bazlı süt tozlarının daha açık sarı pigmentlere sahip olması ve ısıl işlemde renk

tonunu daha parlak korumasıyla açıklanabilirken, soya bazlı süt tozlarının fenolik bileşenler ve protein-şeker reaksiyonları nedeniyle daha yüksek b^* değerlerinin geliştirdiğini göstermektedir. Kek örneklerine ait ortalama kabuk b^* değeri süt tozu çeşidi açısından karşılaştırıldığında, inek sütü tozu eklenmiş kek örneklerine kıyasla işlem uygulanmamış, geleneksel ve ultrason uygulamasının kabuk b^* değeri üzerinde arttırıcı bir etkisi belirlenmiştir (Çizelge 4.21). Bu bulgu, süt tozu ilavesinin genel olarak kek kabuğunda sarı rengin daha baskın hale gelmesine neden olduğunu ortaya koymaktadır.

Kek örneklerinin kabuk b^* değeri üzerine etkili ($p<0,01$) “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” etkileşimi incelendiğinde, Pirinç ve soya süt tozu kullanımı ile kabuk b^* değerlerinin inek sütü tozu eklenmiş geleneksel ve ultrason yöntemlerinin kullanıldığı süt tozlarının kullanımına benzer etki göstermişken işlem uygulanmamış süt tozu örneklerinin kek örneklerinde kullanımı kabuk b^* değerinde en yüksek değişime sebep olmuştur.



Şekil 4.23. Kek örneklerinin kabuk b^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” etkileşimi (p<0,01)

Çizelge 4.19. Kek örneklerine ait kabuk renk değerleri¹

Hammadde çeşidi	Süt tozu çeşidi	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	Doygunluk indeksi	Ton açısı
Pirinç	İnek sütü tozu	46,09±0,04	14,17±0,06	23,01±1,12	27,02±0,99	58,35±1,15
	İşlem uygulanmamış	68,68±0,68	7,25±0,96	35,66±0,34	36,40±0,14	78,50±1,59
	Geleneksel	65,66±0,40	9,69±0,16	32,91±0,73	34,30±0,65	73,59±0,60
	Ultrason	67,61±0,37	10,53±0,03	32,50±0,44	34,16±0,43	72,05±0,18
Soya	İnek sütü tozu	46,09±0,04	14,17±0,06	23,01±0,99	27,02±0,99	58,35±1,15
	İşlem uygulanmamış	54,85±1,47	11,97±0,08	26,43±0,51	29,01±0,51	65,63±0,27
	Geleneksel	64,95±1,06	11,77±0,01	34,14±1,11	36,11±1,11	70,98±0,60
	Ultrason	61,63±0,78	11,24±0,54	33,80±0,33	35,62±0,33	71,61±0,73
Minimum-Maksimum		46,09-68,68	7,25-14,17	23,01-35,66	27,02-36,40	58,35-78,50
Ortalama±std		59,45±9,29	11,35±2,29	30,18±5,19	32,46±4,07	68,63±7,26

¹Sonuçlar iki tekrerrün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütündeki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Çizelge 4.20. Kek örneklerinin kabuk renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<i>L</i> *		<i>a</i> *		<i>b</i> *		Doygunluk indeksi		Ton açısı	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	105,27	181,12**	14,10	89,92**	11,21	17,76**	4,23	8,09*	63,42	77,62**
Süt tozu çeşidi (B)	3	979,43	561,73**	46,35	98,52**	288,89	152,66**	172,39	109,90**	564,52	230,32**
A×B	3	122,27	70,12**	13,00	27,65**	77,20	40,80**	55,66	35,49**	109,33	44,61**
Hata	8	4,65		1,26		5,05		4,18			

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.21. Kek örneklerinin kabuk renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	L*	a*	b*	Doygunluk indeksi	Ton açısı
<i>Hammadde çeşidi</i>						
Pirinç	8	62,01±9,90a	10,41±268b	31,02±5,14a	32,97±3,82a	70,32±8,03a
Soya	8	56,88±7,75b	12,29±1,21a	29,34±5,15b	31,94±4,31b	66,64±5,72b
<i>Süt tozu çeşidi</i>						
İnek sütü tozu	4	46,09±0,03c	14,17±0,05a	23,01±0,92c	27,02±0,81c	58,35±0,94b
Isıl İşlem uygulanmamış	4	61,77±8,04b	9,61±2,78c	31,05±5,34b	32,71±4,27b	72,07±7,49a
Geleneksel	4	65,31±0,77a	10,73±1,20b	33,52±1,07a	35,21±1,28a	72,28±1,59a
Ultrason	4	64,62±3,49a	10,89±0,51b	33,15±0,80a	34,89±0,90a	71,83±0,50a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

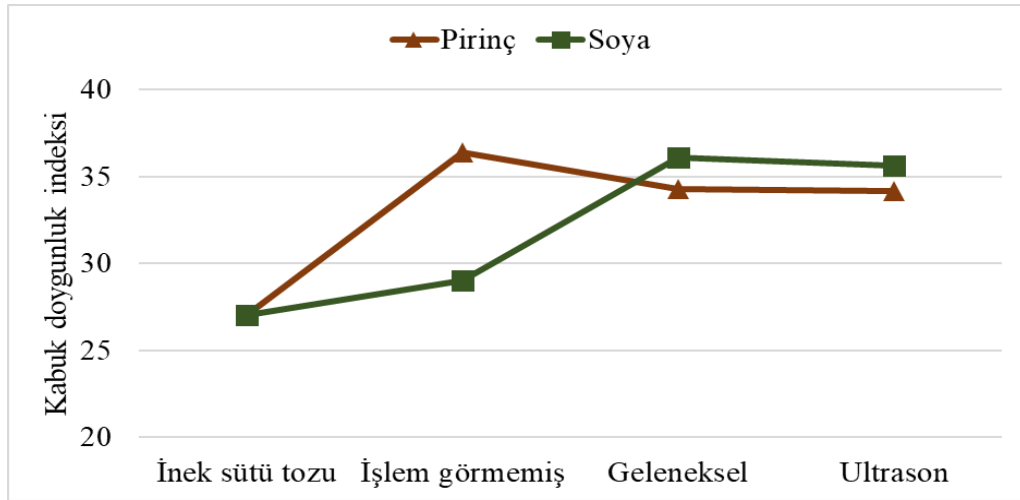
İşlem uygulanmamış pirinç süt tozu ilavesinin kabuk b^* değeri önemli oranda artışını sağlamıştır. Bu durum, işlenmemiş süt tozlarının içeriğinde bulunan serbest şekerler ve pigmentlerin daha aktif Maillard reaksiyonlarına girerek sarı tonun daha yoğun gelişmesine yol açtığını göstermektedir.

Varyans analizine ilişkin bulgulara göre kek örneklerinin kabuk doygunluk indeksi değeri üzerinde, hammadde çeşidi faktörü $p<0,05$ düzeyinde, süt tozu çeşidi faktörü ile “hammadde çeşidi x süt tozu çeşidi” interaksyonu $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Kabuk ton açısı değeri üzerinde hammadde çeşidi ve süt tozu çeşidi faktörü ile “hammadde çeşidi x süt tozu çeşidi” interaksyonu $p<0,01$ düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.20).

Kek örneklerine ait doygunluk indeksi ve ton açısı değerleri hammadde çeşidi açısından değerlendirildiğinde; pirinç süt tozu ilavesinin kek örneklerinin doygunluk indeksi ve ton açısı değerleri (32,97 ve 70,32), soya süt tozu ilaveli kek örneklerinin aynı değerinden (31,94 ve 66,64) daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgu, pirinç bazlı süt tozlarının daha açık pigment profiliyle sarımsı tonları daha dengeli yansıttığını, soya bazlı süt tozlarının ise daha koyu pigmentler ve fenolik bileşiklerle ton açısını düşürdüğünü göstermektedir. Süt tozu çeşidi açısından en yüksek doygunluk indeksi değerleri geleneksel ve ultrason yöntemi ile elde edilirken en yüksek ton açısı değerleri ise işlem uygulanmamış, geleneksel ve ultrason uygulaması ile tespit edilmiştir.

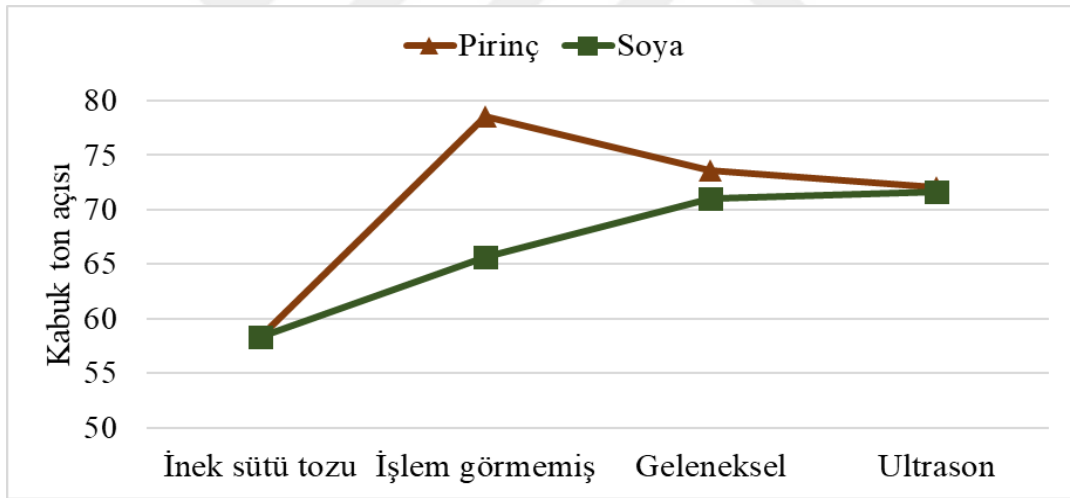
Ultrason uygulamasının kabukta daha yüksek ton açısı sağlaması, bu yöntemin protein yapısında denatürasyonu sınırlayarak renk bileşenlerinin daha stabil kalmasına katkıda bulunduğunu düşündürmektedir.

Kek örneklerinin kabuk doygunluk indeksi sonuçlarında etkili “hammadde çeşidi x süt tozu çeşidi” interaksyonu Şekil 4.24’de gösterilmiştir ($p<0,01$).



Şekil 4.24. Kek örneklerinin kabuk doygunluk indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Kek örneklerinin kabuk ton açısı sonuçları üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” interaksyonu Şekil 4.25’te gösterilmiştir ($p < 0,01$).



Şekil 4.25. Kek örneklerinin kabuk doygunluk indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p < 0,01$)

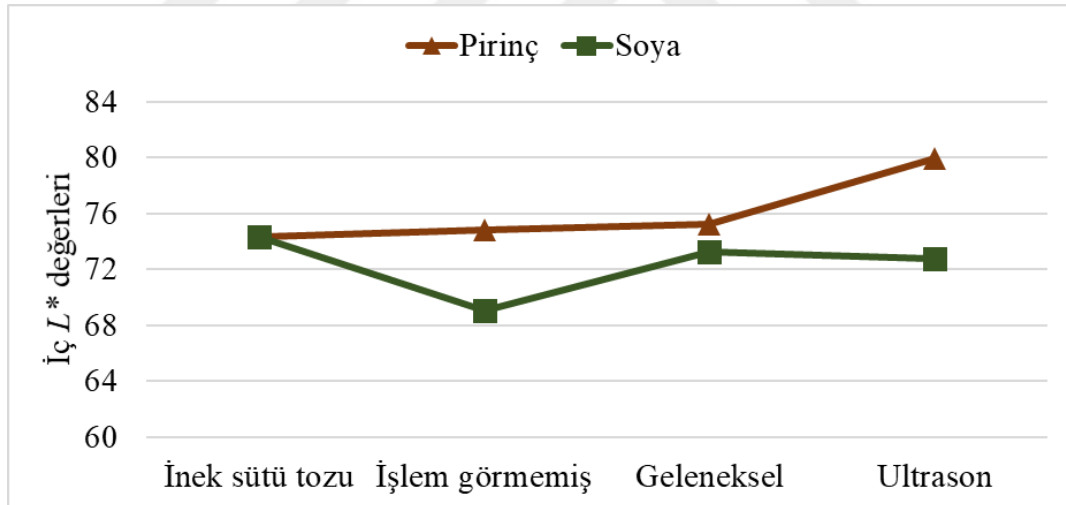
Varyans analizindeki bulgulara göre, kek örneklerinin iç L^* değerleri üzerinde hammadde çeşidi, süt tozu çeşidi ve bu iki faktörün etkileşimi “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” $p < 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı belirlenmiştir (Çizelge 4.23).

En yüksek iç L^* sonucu ise pirinç süt tozu ilavesiyle hazırlanan kek örneklerinde belirlenmiştir. Bu örnekleri soya süt tozu ilaveli kekler 72,35 değeriyle takip etmiştir. Hammadde faktörü açısından bu farkın, pirinç süt tozunun daha açık pigment profili ve

daha düşük fenolik bileşik içeriği nedeniyle renk koyulaşmasına karşı daha dirençli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Süt tozu çeşidi faktörü incelendiğinde, işlem uygulanmamış süt tozu ilavesinin, keklerin iç L^* değerini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Buna karşın, geleneksel ve ultrason yöntemleriyle elde edilen süt tozlarının kullanımı, inek sütü tozu içeren kontrol grubu ile benzer L^* değerleri vermiştir (Çizelge 4.24). Bu durum, ultrason ve geleneksel işlemlerin renk koruyucu etkilerinin, muhtemelen protein yapı stabilizasyonu ve Maillard reaksiyonlarının sınırlanması ile ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Kek örneklerinin iç L^* değerlerini etkileyen “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksiyonu Şekil 4.26’da verilmiştir ($p<0,01$). İnteraksiyon incelendiğinde, işlem uygulanmamış ve ultrason uygulanmış süt tozu örneklerinin kullanıldığı keklerde, iç L^* değerleri arasındaki farkın en belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle pirinç bazlı süt tozu ilavesi, iç kısmın daha açık renkli kalmasına katkı sağlarken, soya bazlı süt tozu ilavesi, iç yapının daha koyu tonlara kaymasına neden olmuştur.



Şekil 4.26. Kek örneklerinin kabuk doygunluk indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksiyonu ($p<0,01$)

Kek örneklerine ait iç a^* değeri -2,81 ile -1,21 arasında belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Kek örneklerinin iç a^* değerleri üzerinde hammadde çeşidi, süt tozu çeşidi ve bu iki faktörün etkileşimi “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.23).

Sonuçlara göre, en yüksek iç a^* değeri soya sütü tozu ilaveli kek örneklerinde (-1,70) belirlenmiş, bunu pirinç sütü tozu ilaveli örnekler (-2,60) takip etmiştir. Bu farkın,

kullanılan hammaddelerin doğal renk pigmenti miktarı ve protein yapısındaki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Soya sütü tozu, daha yoğun renk bileşenleri içerdiği için kekin iç kısmında hafif kırmızımsı tonların oluşmasına katkı sağlamaktadır.

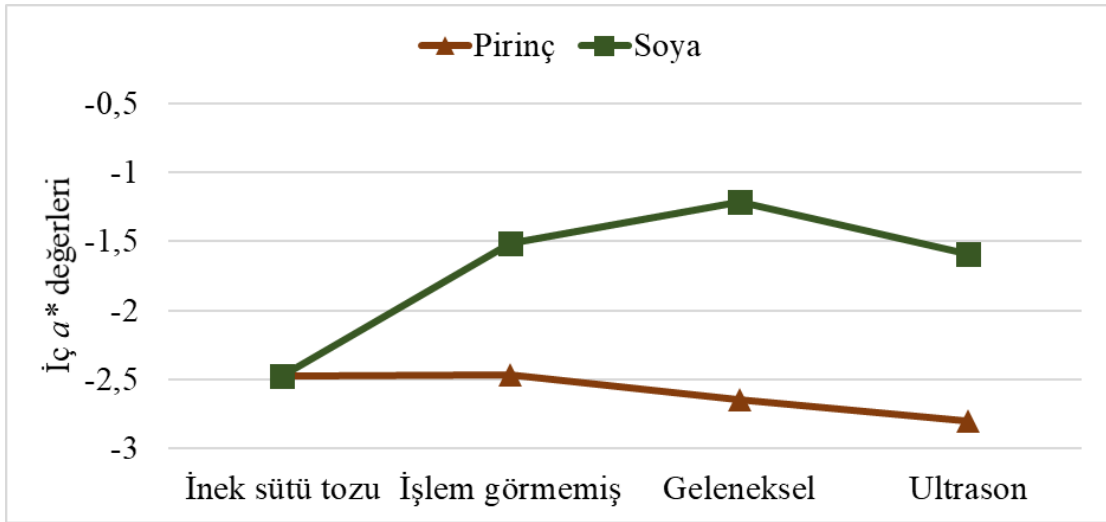
Süt tozu çeşidi faktörü açısından değerlendirildiğinde, işlem uygulanmamış ve geleneksel yöntemle elde edilen süt tozlarının iç a^* değerini artırdığı, ultrason uygulanmış süt tozlarının ise daha düşük a^* değerleri verdiği belirlenmiştir. Ultrason uygulaması, yapısal homojenliği artırarak renk bileşenlerinin daha dengeli dağılmasına neden olmuş olabilir. İnek sütü tozu içeren kontrol örneği (-2,48), bu değerlere benzer sonuçlar göstermiştir.

Literatürde de benzer eğilimler rapor edilmiştir. Gómez ve ark. (2008), buğday–nohut kompozit unla hazırlanan keklerde kontrol grubunun a^* değerini 7,92, %30 nohut unu ilavesiyle 10,65 olarak bildirmiştir ($p<0,05$). Aynı çalışmada L^* değerinde düşüş gözlenmiş, bu değişim formülasyondaki renk pigmentleri ve protein oranı ile ilişkilendirilmiştir.

Benzer şekilde Gao ve ark. (2021), buğday bazlı keklerde kontrol grubunun a^* değerini 9,8; %15 soya unu ilavesiyle 11,2; pirinç unu ilavesiyle ise 10,3 olarak rapor etmiştir ($p<0,05$). Bu bulgular, çalışmamızda soya sütü tozu ilavesinin pirinç süt tozuna göre daha yüksek iç a^* değerleri oluşturmasıyla uyumludur.

Ayrıca Foods (2023) derlemesinde, ürün renginin yalnızca ısıl işlemle değil; formülasyondaki protein, pigment ve nem oranı gibi parametrelerle de değiştiği, bu faktörlerin a^* değerinde 2–4 birim arası farklılıklara yol açabileceği belirtilmiştir. Bu bilgi, çalışmamızda gözlenen hammaddeye bağlı iç renk farklılıklarını desteklemektedir.

Kek örneklerinin iç a^* değerleri üzerinde etkili olan “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” bileşimi, Şekil 4.27’de sunulmuştur ($p<0,01$). Pirinç sütü içeren kek örneklerinin iç a^* değerlerinin soya sütü içeren örneklere göre daha düşük olduğu ve pirinç bazlı formülasyonların daha açık renkli iç yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Kek örneklerinin iç a^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p < 0,01$)

Kek örneklerinin iç b^* değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.23’te gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, iç b^* değeri üzerinde hammadde çeşidi ve “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu $p < 0,01$ düzeyinde, süt tozu çeşidi faktörü ise $p < 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Pirinç süt tozu içeren kek örneklerinin iç b^* değerleri, soya süt tozu içeren örneklerle kıyasla daha yüksek olarak belirlenmiştir. Süt tozu çeşidi açısından değerlendirildiğinde, iç b^* değerlerinin 26,81 ile 27,42 arasında değiştiği, bu farklılığın ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0,05$) (Çizelge 4.24). Bu sonuç, süt tozu üretim yöntemlerinin kekin iç kısmındaki sarı renk tonunu önemli ölçüde değiştirmediğini, renk farklarının esas olarak hammadde bileşiminden kaynaklandığını göstermektedir.

Literatürde yer alan bulgular, bu sonuçları desteklemektedir. Yadav ve ark. (2019), bezelye proteini ile zenginleştirilmiş keklerde kontrol grubunun iç b^* değerini 25,6 olarak, %10 bezelye proteini ilavesinde ise 27,1 olarak rapor etmiştir ($p < 0,05$). Aynı çalışmada iç L^* değerinde 68,3’ten 64,7’ye düşüş gözlenmiştir.

Benzer şekilde, Sim ve ark. (2021), soya proteini eklenmiş keklerde iç b^* değerinin 24,8–26,9, pirinç proteini ilaveli keklerde ise 27,5–29,3 aralığında değiştiğini bildirmiştir.

Çizelge 4.22. Kek örneklerine ait iç renk değerleri¹

Hammadde çeşidi	Süt tozu çeşidi	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	Doygunluk indeksi	Ton açısı
Pirinç	İnek sütü tozu	74,32±0,33	-2,48±0,09	27,36±0,56	27,47±0,56	95,17±0,09
	İşlem uygulanmamış	74,82±0,46	-2,47±0,00	30,71±0,18	30,81±0,18	94,60±0,03
	Geleneksel	75,21±1,48	-2,65±0,14	27,82±0,34	27,95±0,35	95,44±0,22
	Ultrason	79,99±0,62	-2,81±0,06	28,00±0,57	28,14±0,57	95,72±0,01
Soya	İnek sütü tozu	74,32±0,33	-2,48±0,09	27,36±0,56	27,47±0,56	95,17±0,09
	İşlem uygulanmamış	69,03±0,49	-1,51±0,01	24,13±0,64	24,17±0,64	93,58±0,13
	Geleneksel	73,26±0,36	-1,21±0,11	24,65±0,59	24,67±0,58	92,81±0,33
	Ultrason	72,80±2,16	-1,60±0,04	25,63±0,59	25,67±0,59	93,56±0,00
Minumum-Maksimum		69,03-79,99	-2,81- -1,21	24,13-30,71	24,17-30,81	92,81-95,72
Ortalama±std		74,22±3,04	-2,15±0,61	26,95±2,12	27,04±2,15	94,51±1,06

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Çizelge 4.23. Kek örneklerinin iç renk değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	<i>L</i> *		<i>a</i> *		<i>b</i> *		Doygunluk indeksi		Ton açısı	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	55,80	55,56**	3,26	472,18**	36,82	134,11**	38,28	138,39**	8,41	353,35**
Süt tozu çeşidi (B)	3	40,08	13,30**	0,73	35,19**	3,67	4,45*	3,74	4,51*	3,09	43,35**
A×B	3	33,32	11,06**	1,20	58,03**	22,27	27,04**	22,55	27,18**	4,18	58,49**
Hata	8	8,03		0,55		2,20		2,21		0,19	

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

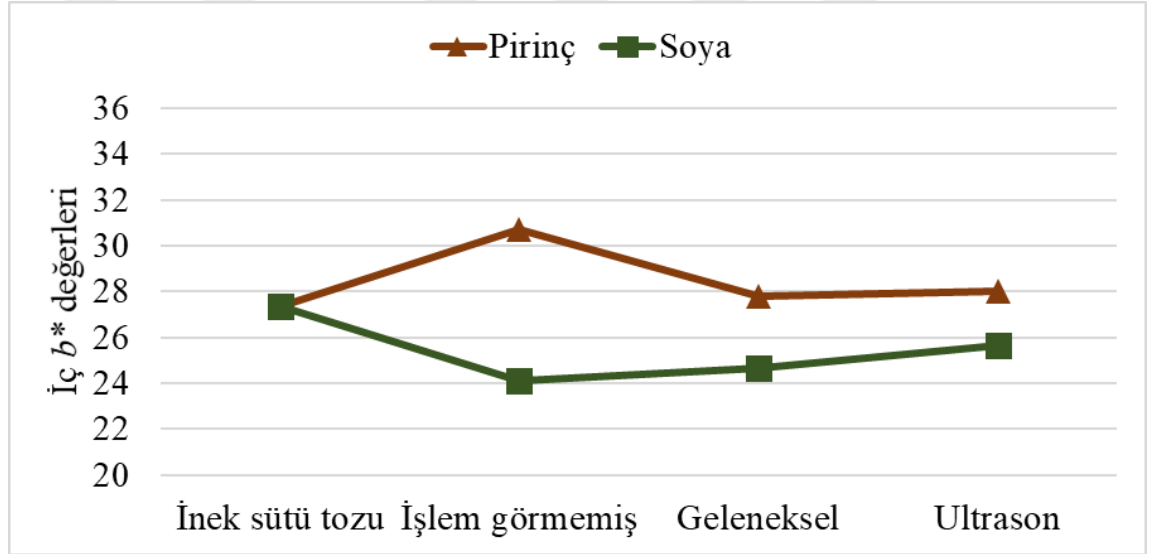
Çizelge 4.24. Kek örneklerinin iç renk değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	Doygunluk indeksi	Ton açısı
<i>Hammadde çeşidi</i>						
Pirinç	8	76,08±2,52a	-2,60±0,16b	28,47±1,44a	28,59±1,43a	95,23±0,45a
Soya	8	72,35±2,30b	-1,70±0,51a	25,44±1,39b	25,50±1,42b	93,78±0,93b
<i>Süt tozu çeşidi</i>						
İnek sütü tozu	4	74,32±0,27a	-2,48±0,08c	27,36±0,46a	27,47±0,46a	95,17±0,07a
İşlem uygulanmamış	4	71,92±3,37b	-1,99±0,55a	27,42±3,82a	27,49±3,85a	94,09±0,59c
Geleneksel	4	74,23±1,43a	-1,93±0,84a	26,23±1,87a	26,31±1,93a	94,13±1,53c
Ultrason	4	76,39±4,35a	-2,20±0,70b	26,81±1,45a	26,91±1,50a	94,64±1,25b

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Ayrıca Zhang ve ark. (2021), baklagil unlarının kek içi renk değerleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve kontrol grubunda iç b^* değerini 28,4 olarak rapor etmiş; nohut unu ilavesiyle bu değer 26,2'ye, mercimek unu ilavesiyle ise 25,7'ye düştüğünü belirtmiştir ($p<0,05$). Bu bulgular, çalışmamızda pirinç süt tozu ilavesiyle daha yüksek, soya süt tozu ilavesiyle daha düşük iç b^* değerleri elde edilmesiyle tam uyum göstermektedir.

Kek örneklerine ait kek içi b^* üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu incelendiğinde pirinç süt tozu ilaveli kek örneklerin inek sütü tozu eklenmiş kek örneğine kıyasla kek içi b^* değerlerinin benzer ve ya yüksek olduğu görülmüş olup soya süt tozu ilavesi ile bu değerler inek sütü tozu eklenmiş keklerde daha düşük olarak belirlenmiştir. Kek içi b^* değerleri arasında en yüksek fark işlem uygulanmamış pirinç ve soya süt tozu kullanılan örneklerde bulunmuştur (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. Kek örneklerinin iç b^* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p<0,01$)

Farklı hammadde kaynakları ve süt tozu örnekleri kullanılarak üretilen keklerin iç doygunluk indeksi ve ton açısı değerleri sırasıyla 24,17–30,81 ve 92,81–95,72 arasında değişmiş olup, ortalama değerler 27,04 ve 94,51 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.22). En yüksek doygunluk indeksi, işlem uygulanmamış pirinç süt tozu ilaveli kek örneklerinde; en yüksek ton açısı ise ultrason uygulanmış pirinç süt tozu içeren kek örneklerinde tespit edilmiştir.

Soya süt tozu kullanımıyla elde edilen keklerde, inek sütü tozu eklenmiş örneklere kıyasla hem doygunluk indeksi hem de ton açısı değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.22).

Varyans analizi bulguları çerçevesinde (Çizelge 4.23), keklerin doygunluk indeksi üzerinde hammadde çeşidi faktörü ve “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu $p<0,01$ düzeyinde, süt tozu çeşidi faktörü ise $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Ton açısı değerleri açısından da hammadde çeşidi, süt tozu çeşidi ve “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu $p<0,01$ düzeyinde anlamlı etki göstermiştir.

Pirinç süt tozu kullanımıyla üretilen keklerin doygunluk indeksi ve ton açısı değerleri, soya süt tozu ile üretilen keklere göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$) (Çizelge 4.24).

Süt tozu çeşidi faktörü doygunluk indeksi üzerinde belirgin bir etki göstermemiştir ($p>0,05$).

Ton açısı değerleri açısından değerlendirildiğinde, en yüksek ton açısı değeri 95,17 ile inek sütü tozu eklenmiş kek örneklerinde tespit edilmiş; bunu 94,64 ile ultrason, 94,13 ile geleneksel ve 94,06 ile işlem uygulanmamış süt tozu örnekleri izlemiştir.

İnek sütü tozu eklenmiş keklerle karşılaştırıldığında, süt tozu ilavesi yapılan örneklerde ton açısı değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu azalmanın en belirgin olduğu gruplar, işlem uygulanmamış ve geleneksel yöntemle üretilmiş süt tozlarının kullanıldığı kekler olmuştur. Bu bulgu, işlenmemiş veya yüksek sıcaklıkta üretilen süt tozlarında pigmentlerin parçalanmasının hızlanması sonucu, kek iç renginde daha düşük ton açısı (daha koyu ton) oluştuğunu göstermektedir.

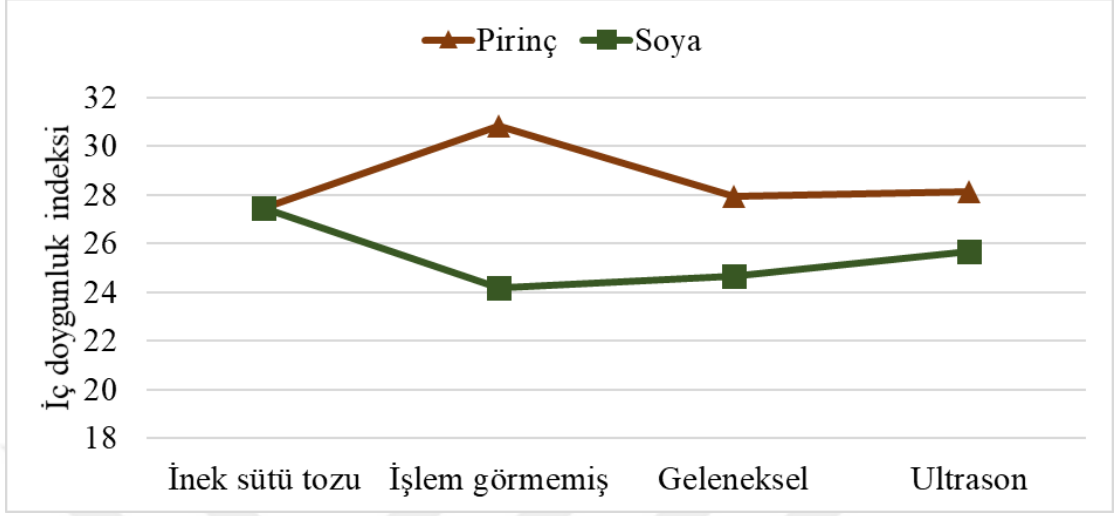
Kek örneklerinin iç doygunluk indeksi ve ton açısı üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu incelendiğinde, pirinç süt tozu ile üretilen kek örneklerinin iç doygunluk indeksinin, soya süt tozu ilaveli kek örneklerine kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Pirinç ve soya süt tozu kullanımıyla üretilen keklerde iç doygunluk indeksi arasındaki en yüksek farklılık, ısıtılmış işlem uygulanmamış süt tozu örneklerinde gözlemlenmiştir (Şekil 4.29).

Çizelge 4.30’da görüldüğü üzere, ton açısı değerleri bakımından soya ve pirinç süt tozu ilaveli kek örneklerinde, inek sütü tozu eklenmiş keklere kıyasla daha düşük ton açısı değerleri elde edilmiştir. Bu azalma en belirgin şekilde soya süt tozu kullanılan keklerde ortaya çıkmıştır.

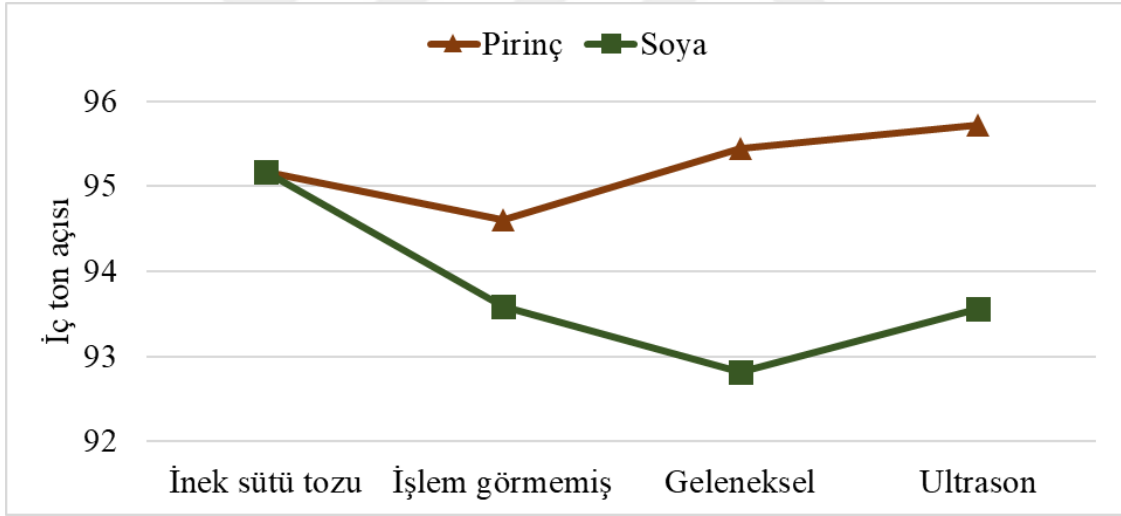
Bu sonuçlar, kek içi renk parametrelerinin hem hammadde pigment yapısından hem de süt tozu üretim yönteminden doğrudan etkilendiğini göstermektedir.

Literatür bulguları da bu eğilimi desteklemektedir. Yadav ve ark. (2019), bezelye proteini ile zenginleştirilen keklerde kontrol grubunun doygunluk indeksini 28,6, %15

bezelye proteini ilavesinde ise 25,9 olarak rapor etmiş; aynı çalışmada ton açısı değerinin kontrol grubunda 96,1 iken protein ilavesiyle 94,7'ye düştüğünü bildirmiştir ($p<0,05$).



Şekil 4.29. Kek örneklerinin iç *doygunluk indeksi* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p<0,01$)



Şekil 4.30. Kek örneklerinin iç *ton açısı* değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p<0,01$)

Benzer şekilde Sim ve ark. (2021), soya ve pirinç proteini eklenmiş keklerde ton açısı değerlerini sırasıyla 93,2–94,8 ve 94,5–95,6 aralığında belirlemiş; pirinç proteini içeren örneklerde daha yüksek ton açısı elde edildiğini göstermiştir.

Ayrıca Zhang ve ark. (2021), baklagil unu ilavesinin kek içi renk özellikleri üzerine etkilerini incelemiş ve kontrol grubunda ton açısı değerini 95,2 olarak rapor ederken, mercimek unu ilavesiyle bu değerin 92,9'a düştüğünü bildirmiştir.

Bu bulgular, çalışmamızda soya süt tozu kullanımının ton açısını düşürmesi, pirinç süt tozu kullanımının ise daha yüksek ton açısı sağlaması ile doğrudan paralellik göstermektedir.

4.4.2. Hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi

Kek örneklerine ait hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.25'te, çoklu karşılaştırma testi bulguları ise Çizelge 4.27'de sunulmuştur. Kek örneklerinin hacim indeksi değerleri 87,5 mm ile 107,5 mm, simetri indeksi değerleri 3,0 mm ile 18,0 mm ve tek düzelik indeksi değerleri 0,0 mm ile 3,5 mm arasında değişmiş olup, ortalama değerler sırasıyla 98,94; 8,06 ve 1,56 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.25).

Kek hacmi, ürünün kalitesi ve tüketici kabul edilebilirliği açısından kritik bir parametredir ve hamur hazırlama, pişirme koşulları ve bileşenlerin etkileşimi gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Lahtinen ve ark., 1998). Simetri indeksi ve tek düzelik indeksi ise kekin iç yapısının homojenliğini ve pişirme süresince şekil stabilitesini yansıtan parametrelerdir (Grillo ve ark., 2014).

İstatistiksel analizlerin ortaya koyduğu sonuçlara göre kek hacim indeksi değerleri üzerinde süt tozu çeşidi faktörü $p < 0,01$ düzeyinde ve "*hammadde çeşidi x süt tozu çeşidi*" bileşiminin etkisi ise $p < 0,05$ ölçüsünde istatistiksel olarak anlam taşıdığı hammadde çeşidi faktörünün ise önemsiz ($p > 0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Ton açısı değerleri üzerinde ise süt tozu çeşidi faktörü $p < 0,01$ düzeyinde önemli ancak hammadde çeşidi ile "*hammadde çeşidi x süt tozu çeşidi*" interaksiyonunun önemsiz ($p > 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, kek hacminin daha çok kullanılan süt tozu çeşidinden ve işleme yönteminden etkilendiğini, hammaddenin ise ikincil rol oynadığını göstermektedir. Kek örneklerinin tek düzelik indeksi değerleri üzerinde hammadde çeşidi, süt tozu çeşidi faktörleri ile "*hammadde çeşidi x süt tozu çeşidi*" interaksiyonunun etkisi önemsiz ($p > 0,05$) düzeyde bulunmuştur (Çizelge 4.26).

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, kek örneklerinin hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerleri hammadde çeşidi açısından incelendiğinde pirinç ve soya süt tozu kullanılan örneklerde benzer değerler elde edilmiştir ($p > 0,05$). Süt tozu çeşidi açısından değerlendirildiğinde, geleneksel ve ultrason yöntemiyle işlenmiş süt tozu kullanılan keklerde hacim indeksi değerlerinin inek sütü tozu eklenmiş örneklerle kıyasla anlamlı düzeyde yüksek olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Bu durum, ısıtılma işlem ve ultrason

uygulamalarının proteinlerin fonksiyonel özelliklerini değiştirerek hamurun gaz tutma kapasitesini artırdığına işaret etmektedir.

Çizelge 4.25. Kek örneklerine ait hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerleri¹

Hammadde çeşidi	Süt tozu çeşidi	Hacim indeksi (mm)	Simetri indeksi (mm)	Tek düzelik indeksi (mm)
Pirinç	İnek sütü tozu	90,0±1,41	18,0±2,83	3,0±1,41
	İşlem uygulanmamış	87,5±0,71	2,5±0,71	0,0±0,00
	Geleneksel	106,0±1,41	5,0±1,41	0,5±0,71
	Ultrason	107,5±2,12	6,0±1,41	3,5±2,12
Soya	İnek sütü tozu	90,0±1,41	18,0±2,83	3,0±1,41
	İşlem uygulanmamış	100,0±2,83	5,0±1,41	1,0±1,41
	Geleneksel	103,0±5,66	7,0±1,41	1,0±1,41
	Ultrason	107,5±1,86	3,0±1,41	0,5±0,71
Minimum-Maksimum		87,5-107,5	3,0-18,0	0,0-3,5
Ortalama±std		98,94±8,49	8,06±6,30	1,56±1,37

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Çizelge 4.26. Kek örneklerinin hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Hacim indeksi		Simetri indeksi		Tek düzelik indeksi	
		KO	F	KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	22,56	3,25ns	0,56	0,17ns	0,56	0,33ns
Süt tozu çeşidi (B)	3	844,19	40,56**	537,19	54,06**	16,19	3,20ns
A×B	3	142,69	6,86*	18,69	1,88ns	9,69	1,91ns
Hata	8	55,50		28,50		13,50	

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.27. Kek örneklerinin hacim indeksi, simetri indeksi ve tek düzelik indeksi değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	Hacim indeksi (mm)	Simetri indeksi (mm)	Tek düzelik indeksi (mm)
<i>Hammadde çeşidi</i>				
Pirinç	8	97,75±9,75a	7,88±6,53a	1,75±1,91a
Soya	8	100,13±7,34a	8,25±6,36a	1,38±1,41a
<i>Süt tozu çeşidi</i>				
İnek sütü tozu	4	90,00±1,15b	18,00±2,31a	3,00±1,15a
İşlem uygulanmamış	4	93,75±7,41b	3,75±1,71b	0,50±1,00a
Geleneksel	4	104,50±3,79a	6,00±1,63b	0,75±0,96a
Ultrason	4	107,50±1,73a	4,50±2,08b	2,00±2,16a

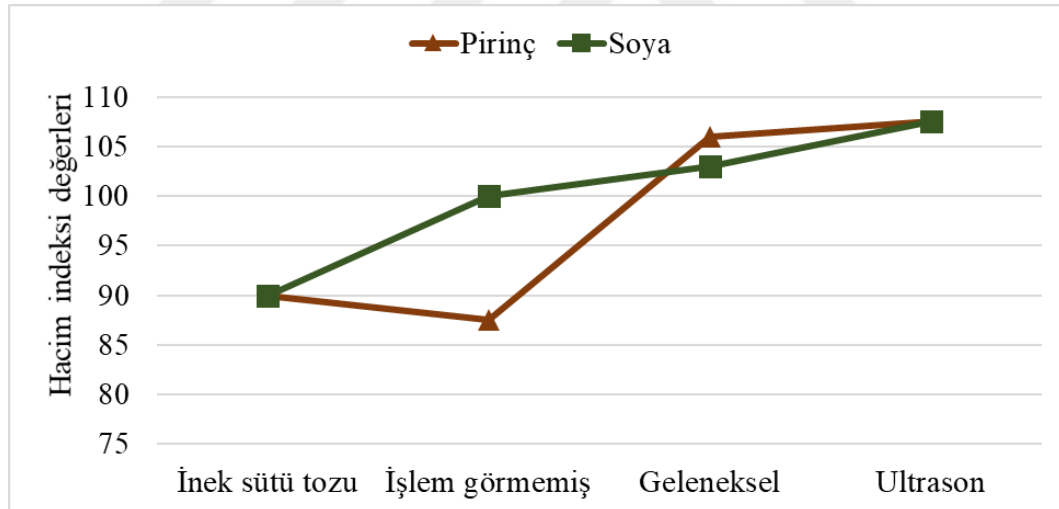
¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Pirinç ve soya süt tozlarındaki proteinlerin kek hamuru içinde gluten benzeri ağ yapıları oluşturarak veya mevcut gluten ağını güçlendirerek gaz tutma kapasitesini geliştirebildiği bildirilmektedir (Iuga ve ark., 2020). Ayrıca ultrason uygulamaları,

proteinlerde kısmi denatürasyon ve yapı değişiklikleri oluşturarak fonksiyonel özelliklerin iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Kong ve ark., 2023).

Simetri indeksi sonuçlarına göre, süt tozu çeşidi faktörü istatistiksel bakımdan anlamlı bulunmuştur ($p<0,01$). İnek sütü tozu eklenmiş örneklerde simetri indeksi en yüksek, işlem uygulanmamış süt tozu kullanılan keklerde ise en düşük değerler elde edilmiştir. Bu sonuç, işlenmemiş süt tozlarının hamurda gaz dağılımını yeterince sağlayamaması nedeniyle pişirme sırasında kekin daha asimetric kabarmasına yol açtığını düşündürmektedir. Soya ve pirinç süt tozlarının hamur içindeki su bağlama ve protein stabilitesi özellikleri, kekin pişme sırasında daha homojen hacim kazanmasına ve daha simetrik bir yapı oluşmasına katkıda bulunabilir (Singh ve ark., 2020).

Tek düzelik indeksi değerleri süt tozu çeşidinden anlamlı şekilde etkilenmemiştir ($p>0,05$). Kek örneklerinin hacim indeksi üzerinde “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu $p<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Şekil 4.31). En yüksek hacim indeksleri ultrason işlemleri süt tozu kullanılan örneklerde elde edilmiştir. Bu bulgu, ultrasonun hamur yapısını güçlendirici etkisini açıkça doğrulamaktadır.



Şekil 4.31. Kek örneklerinin hacim indeksi değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu ($p<0,05$)

Literatür sonuçları da bu bulguları desteklemektedir. Gómez ve ark. (2008), buğday-nohut unu ile hazırlanan keklerde kontrol grubunun hacim indeksini 92,3 mm, %20 nohut unu ilavesinde ise 105,6 mm olarak bildirmiştir ($p<0,05$). Aynı çalışmada simetri indeksi kontrol grubuna göre %35 oranında azalmıştır. Benzer şekilde Yadav ve ark. (2019), bezelye proteini içeren keklerde kontrol grubunun hacim indeksini 95,4 mm,

%15 protein ilavesinde 108,2 mm; simetri indeksini ise 16,4 mm'den 5,8 mm'ye düşmüş olarak rapor etmiştir ($p<0,05$). Bu veriler, çalışmamızda elde edilen hacim artışı ve simetri azalışı eğilimiyle birebir örtüşmektedir.

4.4.3. Sertlik ve esneklik

Pirinç ve soya süt tozu ilaveli kek örneklerinin tekstür özellikleri Çizelge 4.28'de sunulmuştur. Sertlik, ürünün çiğnenebilirlik direncini; esneklik ise deformasyon sonrası orijinal şeklini geri kazanma yeteneğini ifade etmektedir (Adal ve ark., 2024). Bu parametreler; kullanılan bileşenlerin türü, oranı, hamur hazırlama ve pişirme koşulları gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Singla ve ark., 2023). Kekin sertliği ve esnekliği, unun nişasta jelatinleşmesi, protein denatürasyonu ve bileşenler arası matriks etkileşimleriyle doğrudan ilişkilidir (Rosell ve ark., 2007).

Kek örneklerinin sertlik değerleri 484,78 g ile 1187,01 g arasında değişmiştir. En düşük sertlik değeri ultrason işlemlili pirinç süt tozu ilaveli keklerde, en yüksek sertlik değeri ise inek sütü tozu eklenmiş keklerde belirlenmiştir. İşlem uygulanmamış ve geleneksel pirinç süt tozu ilavesiyle üretilen keklerin sertlik değerleri, aynı işlemlerle elde edilen soya süt tozu ilaveli keklerden daha yüksek bulunmuştur. Buna karşın, ultrason uygulanmış soya süt tozu kullanılan örneklerde sertlik değeri pirinçli örneklerle göre daha yüksek tespit edilmiştir.

Kek örneklerinin sertlik değeri üzerinde süt tozu çeşidi faktörü ile “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu $p<0,01$ düzeyinde istatistik açısından anlamlı bulunmuştur. Buna karşılık, hammadde çeşidi faktörü sertlik üzerinde anlamlı bir etki göstermemiştir ($p>0,05$) (Çizelge 4.29). Bu sonuç, kekin sertlik özelliğinin esas olarak kullanılan süt tozu çeşidinden ve uygulanan işlem yönteminden etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Kek örneklerinin esneklik değerleri %41,38 ile %45,36 arasında değişmiş olup ortalama %43,50 olarak belirlenmiştir. En yüksek esneklik değeri ultrason işlemlili soya süt tozu içeren keklerde (%45,36), en düşük esneklik değeri ise geleneksel yöntemle üretilen pirinç süt tozu içeren keklerde (%41,38) tespit edilmiştir. Esneklik değeri açısından hammadde ve süt tozu çeşidi faktörlerinin etkileri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$) (Çizelge 4.29). Ancak genel eğilim incelendiğinde, ultrason uygulamasının kek yapısında elastikiyet kazandırdığı ve daha yumuşak doku özelliklerinin elde edilmesine katkı sağladığı görülmektedir. Bu bulgu, ultrasonun protein

yapısında kısmi denatürasyon ve ağ oluşumunu kolaylaştırarak elastik yapıyı güçlendirdiğini öne süren çalışmaları desteklemektedir (Kong ve ark., 2023).

Çizelge 4.28. Kek örneklerine ait tekstür değerleri¹

Hammadde çeşidi	Süt tozu çeşidi	Sertlik (g)	Esneklik (%)
Pirinç	İnek sütü tozu	1182,41±65,89	43,41±1,22
	İşlem uygulanmamış	1187,01±157,56	44,00±1,05
	Geleneksel	979,85±15,44	41,38±1,15
	Ultrason	482,78±4,38	42,79±0,91
Soya	İnek sütü tozu	1182,41±65,89	43,41±1,22
	İşlem uygulanmamış	1107,51±129,55	44,96±0,08
	Geleneksel	737,67±16,69	42,74±3,28
	Ultrason	922,26±116,28	45,36±0,33
Minimum-Maksimum		482,78-1187,01	41,38-45,36
Ortalama±std		972,74±253,52	43,50±1,28

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Çizelge 4.29. Kek örneklerinin tekstür değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	Sertlik		Esneklik	
		KO	F	KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	3469,21	0,43ns	5,98	2,79ns
Süt tozu çeşidi (B)	3	641709,13	26,59**	13,43	2,09ns
A×B	3	254644,86	10,55**	3,40	0,53ns
Hata	8	64348,52		17,13	

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.30. Kek örneklerinin tekstür değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

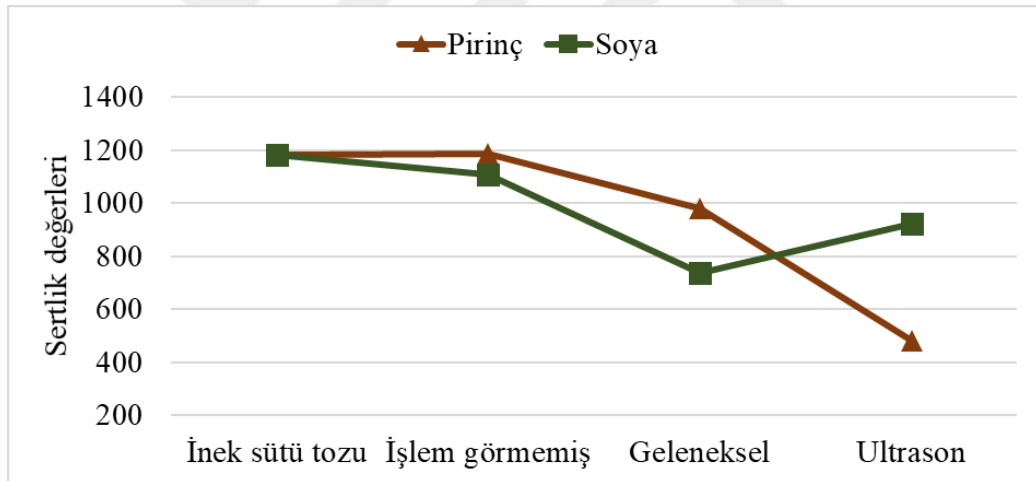
Faktör	n	Sertlik (g)	Esneklik (%)
Hammadde çeşidi			
Pirinç	8	958,01±313,43a	42,89±1,33a
Soya	8	987,46±197,50a	44,11±1,76a
Süt tozu çeşidi			
İnek sütü tozu	4	1182,41±53,80a	43,41±1,00a
İşlem uygulanmamış	4	1147,26±126,40a	44,48±0,82a
Geleneksel	4	858,76±140,44b	42,06±2,15a
Ultrason	4	702,52±262,48b	44,07±1,59a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Kek örnekleri sertlik değeri açısından incelendiğinde, hammadde faktörünün istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiştir (p>0,05) (Çizelge 4.30). Pirinç süt tozu kullanılan kek örneklerinin ortalama sertlik değeri 958,01 g, soya süt tozu kullanılan kek örneklerinin sertlik değeri ise 987,46 g olarak tespit edilmiştir. Bu

sonuç, pirinç süt tozu ilavesiyle üretilen keklerin daha yumuşak bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Pirinç proteinlerinin daha düşük jel oluşturma kapasitesine sahip olması, bu yapı farkının temel nedeni olarak değerlendirilebilir.

Süt tozu çeşidi faktörü açısından sertlik değerlerinde belirgin farklılıklar belirlenmiştir ($p<0,05$). Sertlik değeri en yüksek olan ise inek sütü tozu eklenmiş (1182,41 g) ve işlem uygulanmamış süt tozu kullanılan (1147,26 g) kek örneklerinde belirlenmiştir. Buna karşılık, geleneksel (858,76 g) ve ultrason (702,52 g) işlemleri içeren kek örnekleri istatistiksel olarak en düşük sertlik değerlerini vermiştir (Çizelge 4.30). Bu sonuçlar, ultrason ve ısı işlemlerinin protein yapısında kısmi denatürasyon, partikül boyutunda azalma ve su bağlama kapasitesinde değişim oluşturarak kek dokusunun daha yumuşak hale gelmesine katkı sağladığını göstermektedir. Kong ve ark. (2023), benzer şekilde ultrason uygulamasının proteinlerin fonksiyonel özelliklerini geliştirerek ürünlerde daha düşük sertlik ve daha esnek yapı oluşumuna neden olduğunu bildirmiştir.



Şekil 4.32. Kek örneklerinin sertlik değeri üzerinde etkili “hammadde çeşidi × süt tozu çeşidi” etkileşimi ($p<0,01$)

Ultrason uygulamasıyla proteinlerin kısmen denatüre olması, protein-su etkileşimlerini artırarak hamur matrisinde daha esnek bir ağ yapısının oluşmasına ve sertliğin azalmasına katkı sağlamaktadır. Pirinç süt tozu kullanılan kek örneklerinde, sertlik değerlerinin işlem uygulanmamış ve geleneksel uygulamalar sonucunda soya sütü tozu kullanılan kek örneklerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.32). Buna karşılık, ultrason uygulanmış süt tozu örneklerinin sertlik değerleri, soya hammaddesi kullanıldığında pirinç süt tozu örneklerine göre daha yüksek bulunmuştur. Kek örnekleri

arasında en yüksek fark, ultrason uygulamasıyla üretilen süt tozlarının kullanıldığı grupta gözlenmiştir.

Geleneksel ve ultrason uygulamaları, süt tozu üretimi sırasında bitkisel proteinlerde kısmi denatürasyon veya moleküler yapı değişikliklerine neden olarak su tutma kapasitesini artırabilmektedir. Bu nedenle, ultrason destekli süt tozlarının kullanıldığı keklerde daha düşük sertlik ve daha yüksek esneklik değerleri elde edilmiştir. Bu durum literatürde bildirilen bulgularla da uyumludur. Yadav ve ark. (2019), bezelye proteini ilaveli keklerde inek sütü tozu eklenmiş örneklerde sertliği 1215 g, %10 bezelye proteini ilavesiyle 975 g ve %15 ilaveyle 842 g olarak belirlemiştir ($p<0,05$). Bu sonuçlar, çalışmamızda geleneksel ve ultrason işlemleri süt tozu kullanılan keklerde sertlik değerlerinin azalmasıyla paralellik göstermektedir.

Benzer şekilde, Sim ve ark. (2021) soya proteini eklenmiş keklerde sertlik değerlerini 910–1120 g, pirinç proteini eklenmiş keklerde ise 780–950 g aralığında tespit etmiş ve pirinç proteini kullanılan keklerin daha yumuşak yapıda olduğunu rapor etmiştir. Kong ve ark. (2023), ultrason uygulamasının protein çözünürlüğünü ve su bağlama kapasitesini artırarak daha düşük sertlik değerlerine yol açtığını; Singh ve ark. (2020) ise geleneksel ısıtma işlemlerinin protein fonksiyonelliğini değiştirerek daha esnek bir ağ yapısı oluşturduğunu ve böylece kek sertliğinin azaldığını bildirmiştir.

Çizelge 4.29’da gösterildiği üzere, kek örneklerinin esneklik değerleri %41,38 ile %45,36 arasında değişmiştir. Varyans analizine göre hammadde çeşidi, süt tozu çeşidi ve “hammadde çeşidi $\times$ süt tozu çeşidi” etkileşimi esneklik üzerinde istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, pirinç süt tozu kullanılan kek örneklerinin esneklik değeri %42,89 iken, soya süt tozu kullanılan kek örneklerinde %44,11 olarak ölçülmüştür. Süt tozu çeşidi faktörü açısından değerlendirildiğinde, esneklik değerlerinin %42,06 ile %44,48 arasında değiştiği ve bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamsız belirlenmiştir ($p>0,05$) (Çizelge 4.30).

Bu veriler, sertlik parametresinde gözlenen farklılıkların esneklik değerlerine doğrudan yansımadağını; yani keklerin daha yumuşak olmasına rağmen elastikiyet özelliklerinin büyük ölçüde sabit kaldığını göstermektedir. Bu durum, kekin iç yapısında ultrason ve ısıtma işlemleriyle oluşan kısmi protein ağlarının deformasyon sonrası toparlanma kabiliyetini sınırlı biçimde etkilediğini göstermektedir.

4.4.4. Toplam fenolik madde miktarı

Çizelge 4.31’da kek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı değerleri, Çizelge 4.32’de bu değerlere yönelik varyans analizi sonuçları ve Çizelge 4.33’te çoklu karşılaştırma testi sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.31. Kek örneklerine ait toplam fenolik madde miktarı değerleri¹

Hammadde çeşidi	Süt tozu çeşidi	TFM (mg GAE/g)
Pirinç	İnek sütü tozu	0,82±0,25
	İşlem uygulanmamış	0,29±0,00
	Geleneksel	0,47±0,08
	Ultrason	0,25±0,27
Soya	İnek sütü tozu	0,82±0,25
	İşlem uygulanmamış	0,83±0,19
	Geleneksel	0,68±0,07
	Ultrason	0,82±0,18
Minumum-Maksimum		0,25-0,83
Ortalama±std		0,62±0,25

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalamasıdır. Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). TFM: Toplam fenolik madde

Çizelge 4.32. Kek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait varyans analizi sonuçları¹

VK	SD	TFM	
		KO	F
Hammadde çeşidi (A)	1	0,43	12,17**
Süt tozu çeşidi (B)	3	0,21	1,99ns
A×B	3	0,22	2,09ns
Hata	8		0,28

¹ * p< 0,05 düzeyinde önemli. ** p< 0,01 düzeyinde önemli. ns: önemsiz.

Çizelge 4.33. Kek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Faktör	n	TFM (mg GAE/g)
Hammadde çeşidi		
Pirinç	8	0,46±0,28b
Soya	8	0,79±0,16a
Süt tozu çeşidi		
İnek sütü tozu	4	0,82±0,21a
İşlem uygulanmamış	4	0,56±0,33a
Geleneksel	4	0,58±0,14a
Ultrason	4	0,54±0,38a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Kek örneklerinde toplam fenolik madde miktarı değerleri 0,25-0,83 mg GAE/g arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.31). Toplam fenolik madde miktarı, ürünün antioksidan kapasitesi ve besinsel değeri hakkında bilgi sağlayan önemli bir parametre olup, özellikle bitkisel bileşenler ve protein kaynakları bu değeri doğrudan etkilemektedir (Brewer, 2011). Varyans analizine göre, kek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı değerleri üzerinde hammadde çeşidi faktörü $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Buna karşın, süt tozu çeşidi ve “hammadde $\times$ süt tozu çeşidi” interaksyonu istatistiksel olarak önemsizdir ($p > 0,05$).

Pirinç süt tozu kullanılan keklerin ortalama toplam fenolik madde miktarı değeri 0,46 mg GAE/g olarak belirlenmiş, soya süt tozu kullanılan keklerde ise bu değer 0,79 mg GAE/g olarak tespit edilmiştir. Bu bulgu, soya proteini ve türevlerinin fenolik bileşenler açısından daha zengin bir profile sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. Süt tozu çeşidi açısından değerlendirildiğinde, inek sütü tozu eklenmiş örnekte 0,82 mg GAE/g, işlem uygulanmamış süt tozu grubunda 0,56 mg GAE/g, gelenekselde 0,58 mg GAE/g ve ultrason grubunda 0,54 mg GAE/g değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, süt tozu üretiminde uygulanan işlemlerin toplam fenolik madde miktarı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir ($p > 0,05$). Sonuç olarak, kek örneklerinin toplam fenolik madde içeriği üzerinde belirleyici unsurun hammadde çeşidi olduğu, süt tozu üretim yöntemlerinin ise bu parametre üzerinde sınırlı bir etkiye sahip kaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, bitkisel kaynak farklılığının ürünlerin antioksidan kapasitesini şekillendirmede temel rol oynadığını göstermektedir.

4.4.5. Duyusal analiz sonuçları

Şekil 4.33’te verilen grafik, farklı bitkisel süt tozları (pirinç ve soya) kullanılarak hazırlanan kek örneklerinin tat, koku, renk ve genel beğeni parametrelerine ilişkin duyusal değerlendirme sonuçlarını göstermektedir. Değerlendirme 1-5 puan aralığında yapılmış olup elde edilen bulgular hammadde türü ve uygulanan işlem yönteminin keklerin duyusal kalitesi üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Değerlendirme Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölüm öğrencilerinin bulunduğu 10 kişilik (18-25 yaş) grup tarafından yapılmıştır.

Pirinç bazlı keklerde inek sütü tozu eklenmiş örnekler tüm parametrelerde en yüksek duyusal puanları almış; tat, koku ve genel beğeni yaklaşık 5,0 seviyesinde bulunurken, renk puanı 3,5 düzeyinde kalmıştır. Bu durum, pirinç sütü ile hazırlanan

keklerin açık renkli görünümünün bazı tüketiciler tarafından daha az tercih edildiğini düşündürmektedir (Day, 2013). İşlem uygulanmamış pirinç sütlü keklerde tat ve koku 4,0-4,5 aralığında, renk 4,5 ve genel beğeni 4,5 seviyesinde kaydedilmiştir. Geleneksel yöntemle hazırlanan pirinç bazlı keklerde ise koku, renk ve genel beğeni 4,5 düzeyinde sabit kalırken tat 3,5-4,0'a düşmüştür. Bu bulgu, ısıt işlemlerin aroma bileşiklerini kısmen parçalayarak tat profilinde değişikliğe neden olabileceğini göstermektedir (Lee ve ark., 2015).

Ultrason uygulanmış pirinç sütlü keklerde tat ve koku değerleri 3,0 seviyelerine gerilemiş, renk 4,0, genel beğeni ise 3,5 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, ultrasonun oluşturduğu kavitasyon ve serbest radikal etkilerinin tat ve aroma bileşenleri üzerinde olumsuz etki yapabileceğini göstermektedir (Jambrak ve ark., 2008). Benzer şekilde, Zhou ve ark. (2019) tarafından rapor edildiği üzere, ultrason uygulaması hammadde bileşimine bağlı olarak bazı durumlarda olumlu, bazı durumlarda olumsuz duyu etkiler oluşturabilmektedir. Çalışmamızda pirinç bazlı keklerde gözlenen olumsuz etki bu bulgularla uyum göstermektedir.

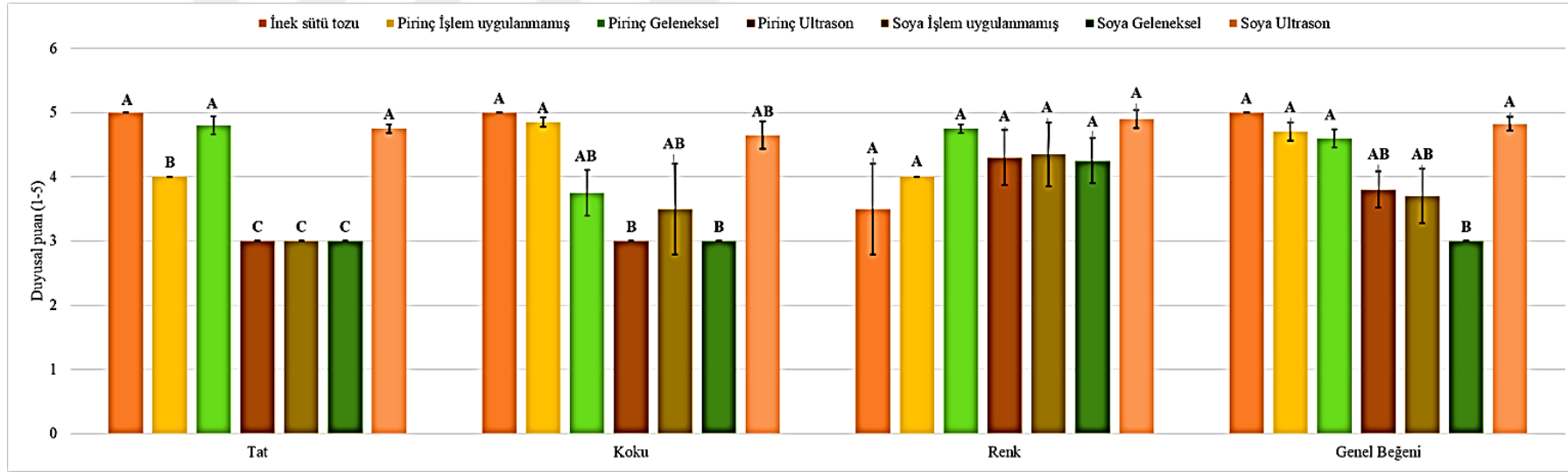
Soya bazlı keklerde inek sütü tozu eklenmiş örnekler tüm duyu parametrelerde en yüksek puanları almıştır. Bu sonuç, soya sütü tozunun kek formülasyonlarına başarılı şekilde entegre edilebildiğini göstermektedir (Rahmati ve Mazaheri Tehrani, 2015). İşlem uygulanmamış soya sütlü keklerde tat ve koku yaklaşık 3,0'a düşerken, renk 4,5'e çıkmış ve genel beğeni 4,0 seviyesinde kalmıştır. Bu durum, işlenmemiş soya sütünde bulunan "fasulye" aromasının bazı tüketicilerce olumsuz algılandığını ortaya koymaktadır (Sethi ve ark., 2016).

Geleneksel yöntemle hazırlanan soya sütlü keklerde tat ve koku 3,0 seviyelerinde düşük kalmış, renk 5,0'a ulaşmış ve genel beğeni 3,0 olarak belirlenmiştir. Bu durum, ısıt işlemlerin istenmeyen tatları kısmen azaltabilmesine rağmen aşırı ısıt yükün aromatik profili baskılayabildiğini göstermektedir (Lee ve ark., 2015).

Ultrason uygulanmış soya sütlü keklerde tat ve koku 4,5'e, renk ve genel beğeni ise 5,0 seviyesine ulaşmıştır. Bu sonuç, ultrason uygulamasının uygun koşullarda tat ve aroma bileşenlerini dengelediğini ve istenmeyen aromaları baskılayarak tüketici kabulünü artırabildiğini göstermektedir (Zhou ve ark., 2019). Bu bulgu, pirinç bazlı örneklerin aksine, soya proteinlerinin ultrason uygulamasına daha olumlu tepki verdiğini ve işlem koşullarının hammaddeye göre farklı etkiler gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak inek sütü tozu eklenmiş örnekler en yüksek duyusal beğeniye sahip olmuştur. Ancak işlem uygulanmamış ve ultrason gruplarında hammaddeye bağlı farklı etkiler gözlenmiştir: pirinç bazlı keklerde ultrason işlemi olumsuz, soya bazlı keklerde ise olumlu sonuçlar doğurmuştur. Bu çift yönlü etki, ultrasonun hammadde bileşimi (protein yapısı, fenolik içerik, uçucu aroma profili) ile güçlü bir etkileşim içinde olduğunu ve duyusal kaliteyi belirleyen temel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

Duyusal analiz sonuçları, inek sütü tozu eklenmiş örneklerin tüm parametrelerde (tat, koku, renk ve genel beğeni) en yüksek skorlara sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum, inek sütü tozunun protein ve yağ içeriğiyle kek yapısında emülsiyon stabilitesini artırarak tat ve aromatik bileşenlerin salınımını kolaylaştırmasıyla açıklanabilir. İşlem uygulanmamış soya sütü kullanılan keklerde karakteristik “fasulyemsi” tat, lipoksigenaz aktivitesinden kaynaklanan uçucu bileşiklerin varlığı nedeniyle bazı tüketiciler tarafından olumsuz değerlendirilmiştir (Sethi ve ark., 2016). Buna karşın, ultrason uygulamasının pirinç bazlı keklerde tat ve koku üzerinde olumsuz etkiler yarattığı; ancak soya bazlı keklerde tat ve aroma bileşenlerini iyileştirerek tüketici kabulünü artırdığı belirlenmiştir. Bu fark, pirinç ve soya proteinlerinin ultrason işlemine karşı farklı tepkiler vermesinden kaynaklanmaktadır. Pirinç proteinlerinin düşük yüzey aktiflik ve antioksidan kapasiteye sahip olması, ultrason sırasında oluşan serbest radikallerin aroma bileşenlerini parçalayarak olumsuz tatların oluşmasına yol açabilir (Jambrak ve ark., 2008). Buna karşılık, soya proteinlerinin daha yüksek yüzey etkinliği ve fenolik bileşen içeriği, ultrasonun oluşturduğu kavitasyon etkisini tolere edebilmekte ve aroma kaybını sınırlandırarak duyusal kabulü artırabilmektedir. Sonuç olarak, ultrason işlemi hammadde türüne bağlı olarak duyusal kalite üzerinde çift yönlü bir etki göstermekte; pirinç bazlı ürünlerde olumsuz, soya bazlı ürünlerde ise olumlu sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu bulgular, işlem koşullarının hammadde bileşimiyle uyumlu şekilde optimize edilmesinin duyusal kaliteyi iyileştirmede kritik bir faktör olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.33. Kek örneklerine ait duyusal değerler

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çalışmada, soya ve pirinç gibi iki farklı bitkisel kaynaktan elde edilen sütlere dört farklı işleme yöntemi (kontrol, geleneksel ısıtma işlemi, mikrodalga ve ultrason) uygulanmış ve elde edilen bitkisel süt örnekleri üzerinde fizikokimyasal ve fonksiyonel analizler gerçekleştirilmiştir. Üstün özellikler sergileyen örneklerin belirlenmesi çalışmanın ilk aşamasını oluşturmuştur. Bu aşamada;

- Hammadde türü, tüm parametreler üzerinde istatistiksel olarak önemli etki göstermiştir ($p<0,05$). Üretim yöntemi ve hammadde-yöntem etkileşimi de pH, stabilite ve protein çözünürlüğü değerlerini anlamlı düzeyde etkilemiştir.
- pH değerleri açısından, geleneksel ısıtma işlemin yükseltici, ultrason uygulamasının ise düşürücü etki gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, ultrasonun kavitasyon etkisiyle ortamda serbest iyon oluşumunu artırmasından kaynaklanmaktadır.
- Soya sütü örnekleri, pirinç sütlerine kıyasla daha yüksek protein içeriği ve emülsiyon stabilitesi göstermiş; bu da çözünürlük ve köpük kapasitesi parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlara ($p<0,05$) neden olmuştur.
- TÇKMM değerleri, hammaddeden kaynaklı olarak önemli düzeyde değişim göstermiştir ($p<0,05$). Soya sütü örneklerinde TÇKMM 4,85–5,05 aralığında yüksek bulunurken, pirinç sütlerinde bu değer 0,10–0,25 Brix aralığında ölçülmüştür. Üretim yöntemleri arasında anlamlı fark gözlenmemiştir ($p<0,01$).

Çalışmanın ikinci aşamasında, ilk aşama analizleri sonucunda elde edilen bulgular dikkate alınarak mikrodalga yöntemi hariç, kontrol, geleneksel ısıtma işlemi ve ultrason uygulamalarıyla çalışmalar sürdürülmüştür. Elde edilen bitkisel süt örnekleri, dondurarak kurutma (DK) ve kırıyım pencereci kurutma (KPK) yöntemleriyle toz hâline getirilmiş ve bu örneklerin fonksiyonel özellikleri değerlendirilmiştir. Bu aşamada;

- Kurutma ve işleme yöntemlerinin tozların fiziksel ve fonksiyonel özellikleri üzerinde önemli etkiler yarattığı belirlenmiştir. Dondurarak kurutulan örnekler genellikle daha açık renge, daha gözenekli yapıya ve daha yüksek köpük ile

emülsiyon kapasitesine sahip olmuştur. Buna karşılık, kırınım pencereli kurutma yöntemiyle elde edilen tozlar daha yoğun, daha akışkan ve enerji açısından daha verimli bulunmuştur.

- Renk parametreleri açısından, geleneksel işlemin kabuk a^* değerini düşürdüğü, ultrason uygulamasının ise iç renk b^* değerlerinde sınırlı değişiklikler oluşturduğu tespit edilmiştir.
- Dondurarak kurutma yöntemi, protein yapısındaki bozulmayı en aza indirerek köpük kapasitesi ve çözünürlük özelliklerinin korunmasını sağlamıştır.
- Kırınım pencereli kurutma yöntemi, bu parametreler açısından daha sınırlı performans sergilese de enerji verimliliği ve işlem süresi bakımından endüstriyel ölçekte uygulanabilir bir alternatif olarak öne çıkmıştır.
- Soya sütü tozları, daha yüksek protein çözünürlüğü ve emülsiyon kapasitesiyle öne çıkarken; pirinç sütü tozları renk stabilitesi ve duyuşal nötrlük bakımından avantaj sağlamıştır.
- Genel olarak değerlendirildiğinde, dondurarak kurutma yöntemi tozların renk ve fonksiyonel özelliklerini korurken, kırınım pencereli kurutma yöntemi endüstriyel ölçekte uygulanabilir bir alternatif olarak öne çıkmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında, farklı yöntemlerle elde edilen bitkisel süt tozları kek formülasyonuna eklenmiş ve inek sütü tozu içeren kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Bu aşamada;

- Pirinç bazlı hamur örneklerinin ortalama pH değeri $6,86 \pm 0,05$; soya bazlı hamurlarda ise $6,71 \pm 0,10$ olarak belirlenmiş; pirinç sütü tozu içeren örneklerin pH değerleri genel olarak daha yüksek bulunmuştur. En yüksek pH, pirinç geleneksel yöntem örneğinde ($6,92 \pm 0,00$), en düşük pH ise soya geleneksel örneğinde ($6,57 \pm 0,03$) ölçülmüştür.
- Hamur yoğunluk değerleri $0,90 - 1,22 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişmiştir. Hammadde türü açısından fark bulunmazken, süt tozu çeşidi faktörü yoğunluk üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı etki göstermiştir ($p < 0,05$). En yüksek yoğunluk kontrol örneklerinde ($1,20 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$), en düşük değer ise pirinç geleneksel örneğinde ($0,90 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$) gözlenmiştir.

- Renk parametreleri (L^* , a^* , b^* , doygunluk indeksi ve ton açısı) açısından hammadde türü ve süt tozu çeşidi arasında istatistiksel olarak önemli farklar belirlenmiştir ($p<0,05$). Pirinç sütü tozu ile üretilen keklerin L^* (parlaklık) değeri $76,08\pm2,52$ ile soya sütü tozuna ($72,35\pm2,30$) kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunmuştur.
- Ultrason yöntemiyle üretilen süt tozlarının kullanıldığı keklerde hacim, simetri ve tekdüzelik indekslerinde artış görülmüş; bu yapısal iyileşme protein çözünürlüğü ve su bağlama kapasitesindeki artışla ilişkilendirilmiştir.
- Geleneksel ve ultrason uygulamalarıyla hazırlanan süt tozu ikameli keklerde sertlik değerlerinin kontrol grubuna göre anlamlı biçimde düşük ($p<0,05$) olduğu, dolayısıyla daha yumuşak ve tüketici açısından daha kabul edilebilir dokular elde edildiği belirlenmiştir.
- Toplam fenolik madde miktarı açısından, soya sütü tozu içeren keklerde 0,79 mg GAE/g ile en yüksek, pirinç sütü tozu içeren keklerde ise 0,46 mg GAE/g ile daha düşük değerler tespit edilmiştir. Bu bulgu, soya sütü tozunun antioksidan kapasiteyi artırıcı etkisini ortaya koymuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bitkisel süt tozlarının kek üretiminde hem fonksiyonel hem de duyuşal açıdan başarılı sonuçlar verdiği, bu tür alternatiflerin hayvansal bileşen içermeyen, fonksiyonel ve sürdürülebilir fırıncılık ürünlerinin geliştirilmesinde etkin biçimde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu tez çalışması, bitkisel kaynaklı sütlerin toz forma dönüştürülerek gıda sistemlerine entegrasyonu konusunda literatüre katkı sağlamış; değişen tüketici beklentileri ve artan bitkisel bazlı beslenme eğilimleri doğrultusunda, yeni ürün geliştirme süreçlerine yön verebilecek bilimsel bir temel oluşturmuştur.

5.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda pirinç ve soya süt tozlarının kek üretiminde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Soya süt tozu fenolik madde içeriğini ve fonksiyonel özellikleri geliştirmiştir. Endüstriyel ölçekte bu iki hammaddenin birlikte kullanımı hem fonksiyonel hem de duyuşal kaliteyi optimize edebilecek potansiyele sahiptir. Ultrason işlemi özellikle soya sütü bazlı keklerde tat ve koku üzerinde olumlu etkiler oluşturmuş,

pirinç sütü bazı ürünlerde ise bazı olumsuzluklar gözlenmiştir. Bu nedenle endüstriyel üretimde, hammaddeye özgü işlem optimizasyonunun yapılması önem taşımaktadır. Ayrıca dondurarak kurutma yöntemi üstün kalite sağlamasına rağmen yüksek maliyetli bir yöntemdir. Enerji verimliliği daha yüksek olan kırıyım pencerele kurutma yöntemi, endüstriyel ölçekte daha uygulanabilir bir alternatif olarak değerdendirilebilir.

Bu tez çalışması pirinç ve soya süt tozlarına odaklanmıştır. Gelecek araştırmalarda yulaf, badem, fındık, bezelye gibi farklı bitkisel sütlerin toz formları da incelenerek kapsamlı karşılaştırmalar yapılmalıdır. Ayrıca protein yapısı ve polifenolik bileşenlerdeki değışimleri daha ayrıntılı anlamak için ileri tekniklerin kullanılması önerilmektedir. Bunun yanında, duyusal panel çalışmalarının daha geniş tüketici grupları üzerinde uygulanması, pazar kabulü ve tüketici beğenisinin güvenilirliği açısından önemli olacaktır.

Soya sütü tozunun daha yüksek toplam fenolik madde içeriğı sayesinde antioksidan kapasiteyi artırıcı etkisi dikkate alınmalı ve bu özellik fonksiyonel kek formülasyonlarının geliştirilmesinde kullanılmalıdır. Pirinç sütü tozunun nötr aromatik profili ise özellikle çocuk ürünleri ve hassas tüketici grupları için daha yüksek kabul edilebilirlik sağlamaktadır. Bu özellikler, bitkisel süt tozlarının fonksiyonel gıda geliştirme çalışmalarında önemli bir avantaj sunabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması bitkisel süt tozlarının fonksiyonel ve duyusal özellikler açısından kek üretiminde kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Ancak endüstriyel ölçekte uygulanabilirlik için maliyet analizleri, depolama stabilitesi ve raf ömrü üzerine yapılacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Böylece bitkisel süt tozları, fonksiyonel ve sürdürülebilir ürün geliştirme süreçlerinde daha geniş bir kullanım alanı bulabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- AACC, Approved Methods of the AACC: 8th ed., American Association of Cereal Chemists, Saint Paul, MN, 1990.
- Adal, S., ve Savlak, N. (2024). Rheological and Textural Characteristics of Functional Breads Fortified with Different Eggshell Powders. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(3), 1144-1163. <https://doi.org/10.21597/jist.1466425>
- Adams, G. D., Cook, I., ve Ward, K. R. (2014). The principles of freeze-drying. In *Cryopreservation and freeze-drying protocols* (pp. 121-143). New York, NY: Springer New York. https://link.springer.com/protocol/10.1007/978-1-4939-2193-5_4
- Al-Amin, M., Hossain, M. S., ve Iqbal, A. (2015). Effect of pre-treatments and drying methods on dehydration and rehydration characteristics of carrot. *Universal Journal of Food and Nutrition Science*, 3(2), 23-28.
- Amini, R. K., Islam, M. Z., Kitamura, Y., ve Kokawa, M. (2019). Utilization of fermented rice milk as a novel coagulant for development of paneer (soft cheese). *Foods*, 8(8), 339. <https://doi.org/10.3390/foods8080339>
- Anekella, K., ve Orsat, V. (2013). Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.003>
- Barać, M., Stanojević, S., Jovanović, S., ve Pešić, M. (2004). Soy protein modification: A review. *Acta periodica technologica*, (35), 3-16. DOI: [10.2298/APT0435003B](https://doi.org/10.2298/APT0435003B)
- Bardakçi, M. S., ve Karacabey, E. (2024). Drying of Tarhana dough by Refractance Window™ technology under vacuum/atmospheric conditions: Characterization of physical and quality parameters. *Food Science & Nutrition*, 12(2), 971-984. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3811>
- Başçam, Z. A. (2014). *Bitkisel Protein Katkılı Yağsız Fermente süt İçeceğinin Özelliklerinin Belirlenmesi* (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey)). <https://www.proquest.com/openview/5b01a98b2cf860bf533f04893ad12ff7/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Baysan, U. (2024). Bitkisel Sütlerin Gıda Endüstrisindeki Önemi Ve Mikrobiyal Güvenliğinin Sağlanması. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(1), 116-124. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i1.116-124.6464>
- Bilgin, A. B., ve Güneş, G. (2024). Effects of ultraviolet-C treatment on postharvest physiologies and decay of berries: A review. *ITU Journal of Food Science and Technology*, 2(2), 85-100. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i1.116-124.6464>
- Bocker, R., ve 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, 100098. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100098>

- Brewer, M. S. (2011). Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 10(4), 221-247. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>
- Cai, J. S., Zhu, Y. Y., Ma, R. H., Thakur, K., Zhang, J. G., ve Wei, Z. J. (2021). Effects of roasting level on physicochemical, sensory, and volatile profiles of soybeans using electronic nose and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*, 340, 127880.
- Carrillo-Lopez, L. M., Garcia-Galicia, I. A., Tirado-Gallegos, J. M., Sanchez-Vega, R., Huerta-Jimenez, M., Ashokkumar, M., ve Alarcon-Rojo, A. D. (2021). Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105467. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105467>
- Chaudhari, P. R., Tamrakar, N., Singh, L., Tandon, A., ve Sharma, D. (2018). Rice nutritional and medicinal properties: A. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 150-156.
- Chemat, F., ve 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> [Get rights and content](#)
- Chen, W., Ma, H., ve Wang, Y. Y. (2022). Recent advances in modified food proteins by high intensity ultrasound for enhancing functionality: Potential mechanisms, combination with other methods, equipment innovations and future directions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 85, 105993. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105993>
- Chen, X. D., ve Patel, K. C. (2008). Manufacturing better quality food powders from spray drying and subsequent treatments. *Drying Technology*, 26(11), 1313-1318. <https://doi.org/10.1080/07373930802330904>
- Coşkun, N., Sarıtaş, S., Jaouhari, Y., Bordiga, M., ve Karav, S. (2024). The impact of freeze drying on bioactivity and physical properties of food products. *Applied Sciences*, 14(20), 9183. <https://doi.org/10.3390/app14209183>
- Datta, A. K., ve Anantheswaran, R. C. (2001). *Handbook of microwave technology for food application*. CRC Press.
- Day, L. (2013). Proteins from land plants—potential resources for human nutrition and food security. *Trends in Food Science & Technology*, 32(1), 25-42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>
- de Barcelos Costa, H. C., Siguemoto, E. S., Cavalcante, T. A. B. B., de Oliveira Silva, D., Vieira, L. G. M., ve 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, 128287. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128287>
- Deeseenthum, S., Luang-In, V., ve Chunchom, S. (2018). Characteristics of Thai pigmented rice milk kefir with potential as antioxidant and anti-inflammatory foods. *Pharmacognosy Journal*, 10(1). DOI: [10.5530/pj.2018.1.26](https://doi.org/10.5530/pj.2018.1.26)

- Demirkesen, I., Sumnu, G., ve Şahin, S. (2011). Utilization of chestnut flour in gluten-free cakes. S. Deshpande, P. C. Bargale, K. Jha, Suitability of soy milk for development of shrikhand, *Journal of Food Science and Technology*, 45(3), (2008), 284–286.
- Detchewa, P., Aphibanthammakit, C., Moongngarm, A., Avallone, S., Prasajak, P., Boonpan, C., ... ve Sriwichai, W. (2025). Microencapsulation techniques and encapsulating materials influenced the shelf life and digestion release of vitamin E and isoflavones in soymilk powder. *Scientific Reports*, 15(1), 10627.
- Dong, Y., Yan, W., ve Zhang, Y. Q. (2022). Effects of spray drying and freeze drying on physicochemical properties, antioxidant and ace inhibitory activities of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) skin hydrolysates. *Foods*, 11(14), 2083. <https://doi.org/10.3390/foods11142083>
- Dupont, C., Bocquet, A., Tomé, D., Bernard, M., Campeotto, F., Dumond, P., ... ve Kalach, N. (2020). Hydrolyzed rice protein-based formulas, a vegetal alternative in cow's milk allergy. *Nutrients*, 12(9), 2654. <https://doi.org/10.3390/nu12092654>
- Erfanian, A., ve Rasti, B. (2019). Effects of soy milk on physical, rheological, microbiological and sensory properties of cake. *International Food Research Journal*, 26(1).
- Ersan, L. Y., ve Topçuoğlu, E. (2019). Badem sütü ile zenginleştirilmiş probiyotik yoğurtların mikrobiyolojik ve bazı fiziko-kimyasal özellikleri. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(2), 321-339.
- Ertop, M. H., ve Hayta, M. (2018). Optimization of the level of chickpea sourdough and baking powder in cake formulation by response surface methodology: effects on physicochemical, sensory and antioxidant properties. *Food Science and Technology Research*, 24(4), 697-706. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.697>
- Esa, N. M., Ling, T. B., ve Peng, L. S. (2013). By-products of rice processing: An overview of health benefits and applications. *J Rice Res*, 1(107), 2.
- Fawzi, N. Y., Abdelghani, D. Y., Abdel-azim, M. A., Shokier, C. G., Youssef, M. W., El-Rab, M. K. G., ... ve Abou-Taleb, K. A. (2022). The ability of probiotic lactic acid bacteria to ferment Egyptian broken rice milk and produce rice-based yoghurt. *Annals of Agricultural Sciences*, 67(1), 107-118. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2022.06.004>
- Franks, F., ve Auffret, T. (2008). *Freeze-drying of Pharmaceuticals and Biopharmaceuticals*. royal Society of Chemistry.
- Fu, G. M., Xu, Z. W., Luo, C., Xu, L. Y., Chen, Y. R., Guo, S. L., ... ve Wan, Y. (2021). Modification of soy protein isolate by Maillard reaction and its application in microencapsulation of *Limosilactobacillus reuteri*. *Journal of bioscience and bioengineering*, 132(4), 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2021.06.007>
- Gallego, C., Belorio, M., Guerra-Oliveira, P., ve Gómez, M. (2022). Effects of adding chickpea and chestnut flours to layer cakes. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 4840-4846. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15719>

- Gamez-Meza, N., Noriega-Rodriguez, J. A., Medina-Juarez, L. A., Ortega-Garcia, J., Cazarez-Casanova, R., ve Angulo-Guerrero, O. (1999). Antioxidant activity in soybean oil of extracts from Thompson grape bagasse. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(12), 1445-1447.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., ve Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat–chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1701-1709. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.024>
- Goonathilaka, P. D. S. A., Abeysundara, P. D. A., ve Jayasinghe, M. A. Food Chemistry Advances.
- Goula, A. M., ve Adamopoulos, K. G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.029>
- Grabowski, J. A., Truong, V. D., ve Daubert, C. R. (2006). Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of food science*, 71(5), E209-E217. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00036.x>
- Grillo, O., Rizzo, V., Saccone, R., Fallico, B., Mazzaglia, A., Venora, G., ve Muratore, G. (2014). Use of image analysis to evaluate the shelf life of bakery products. *Food research international*, 62, 514-522.
- Guiné, R. P. (2022). Textural properties of bakery products: A review of instrumental and sensory evaluation studies. *Applied Sciences*, 12(17), 8628. <https://doi.org/10.3390/app12178628>
- Gürsoy, O., ve Gökçe, R. (2011). SOYA VE ÜRÜNLERİNDE FENOLİK BİLEŞİKLER VE BESLENMEYİ KISITLAYICI FAKTÖRLER. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 87-93.
- Hartmann, C., ve Siegrist, M. (2017). Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.006>
- Hayta, M., Alpaslan, M., ve Baysar, A. H. M. E. T. (2002). Effect of drying methods on functional properties of tarhana: A wheat flour-yogurt mixture. *Journal of Food Science*, 67(2), 740-744. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10669.x>
- Hedayati, S., ve Mazaheri Tehrani, M. (2018). Effect of total replacement of egg by soymilk and lecithin on physical properties of batter and cake. *Food science & nutrition*, 6(4), 1154-1161. <https://doi.org/10.1002/fsn3.656>
- Hu, H., Wu, J., Li-Chan, E. C., Zhu, L., Zhang, F., Xu, X., ... ve Pan, S. (2013). Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. *Food hydrocolloids*, 30(2), 647-655. <https://doi.org/10.1002/fsn3.656>
- Iuga, M., Boestean, O., Ghendov-Mosanu, A., ve Mironeasa, S. (2020). Impact of dairy ingredients on wheat flour dough rheology and bread properties. *Foods*, 9(6), 828.

- Jadhav, P. D. (2024). Refractance Window Drying (RWD) in Food Processing and Preservation: A Comprehensive Review.
- Jaeger, S. R., de Matos, A. D., Oduro, A. F., ve Hort, J. (2024). Sensory characteristics of plant-based milk alternatives: Product characterisation by consumers and drivers of liking. *Food Research International*, 180, 114093
- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Herceg, Z., ve Herceg, I. L. (2008). Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of food engineering*, 86(2), 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.004>
- Jang, C. H., Oh, J., Lim, J. S., Kim, H. J., ve Kim, J. S. (2021). Fermented soy products: Beneficial potential in neurodegenerative diseases. *Foods*, 10(3), 636. <https://doi.org/10.3390/foods10030636>
- Jiang, S., Cai, W., ve Xu, B. (2013). Food quality improvement of soy milk made from short-time germinated soybeans. *Foods*, 2(2), 198-212.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., ve 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>
- Kadam, D. M., ve Balasubramanian, S. (2011). Foam mat drying of tomato juice. *Journal of food processing and preservation*, 35(4), 488-495.
- Kahraman, A. (2017). Nutritional value and foliar fertilization in soybean. *Journal of Elementology*, 22(1).
- Kaleem, M. A., Alam, M. Z., Khan, M., Jaffery, S. H. I., ve Rashid, B. (2021). An experimental investigation on accuracy of Hausner Ratio and Carr Index of powders in additive manufacturing processes. *Metal Powder Report*, 76, S50-S54. <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2020.06.061>
- Kim, W., Yiu, C. C. Y., Wang, Y., Zhou, W., ve Selomulya, C. (2024). Toward diverse plant proteins for food innovation. *Advanced Science*, 11(38), 2408150. <https://doi.org/10.1002/advs.202408150>
- Kong, Y., Sun, L., Wu, Z., Li, Y., Kang, Z., Xie, F., ve Yu, D. (2023). Effects of ultrasonic treatment on the structural, functional properties and beany flavor of soy protein isolate: Comparison with traditional thermal treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106675.
- Lacivita, V., Derossi, A., Caporizzi, R., Lamacchia, C., Speranza, B., Guerrieri, A., ... ve Severini, C. (2024). Discover hidden value of almond by-products: Nutritional, sensory, technological and microbiological aspects. *Future Foods*, 10, 100398. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100398>
- Lahtinen, S., Levola, M., Jouppila, K., ve Salovaara, H. (1998). Factors affecting cake firmness and cake moisture content as evaluated by response surface

- methodology. *Cereal chemistry*, 75(4), 547-550. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.4.547>
- Lamberts, L., De Bie, E., Derycke, V., Veraverbeke, W. S., De Man, W., ve Delcour, J. A. (2006). Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice. *Cereal chemistry*, 83(1), 80-85. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0080>
- Lee, Y., Dias-Morse, P. N., ve Meullenet, J. F. (2019). Effect of rice variety and milling fraction on the starch gelatinization and rheological properties of rice milk. *Food Science and Technology*, 39(4), 1047-1051.
- Li, Y., Zhong, F., Ji, W., Yokoyama, W., Shoemaker, C. F., Zhu, S., ve Xia, W. (2013). Functional properties of Maillard reaction products of rice protein hydrolysates with mono-, oligo-and polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.013>
- Lostie, M., Peczalski, R., Andrieu, J., ve Laurent, M. (2002). Study of sponge cake batter baking process. Part I: Experimental data. *Journal of Food Engineering*, 51(2), 131-137. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00049-8)
- Mahanti, N. K., Chakraborty, S. K., Sudhakar, A., Verma, D. K., Shankar, S., Thakur, M., ... ve Srivastav, P. P. (2021). Refractance Window™-Drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. *Future Foods*, 3, 100024
- Marchwińska, K., Gwiazdowska, D., Juś, K., Gluzińska, P., Gwiazdowska, J., ve Pawlak-Lemańska, K. (2023). Innovative functional lactic acid bacteria fermented oat beverages with the addition of fruit extracts and Lyophilisates. *Applied Sciences*, 13(23), 12707. <https://doi.org/10.3390/app132312707>
- Mazumder, M. A. R., ve Begum, A. A. (2016). Soy milk as source of nutrient for malnourished population of developing country: A review. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, 5(6), 192-203.
- McClements, D. J., Newman, E., ve 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>
- N. Mercan, *Kek kalitesi üzerinde bazı emülgatörlerin etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, (1988).
- Messina, M. (2016). Soy and health update: evaluation of the clinical and epidemiologic literature. *Nutrients*, 8(12), 754.
- Min, S., Yu, Y., ve Martin, S. S. (2005). Effect of soybean varieties and growing locations on the physical and chemical properties of soymilk and tofu. *Journal of Food Science*, 70(1), C8-C21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09026.x>

- Moura-Alves, M., Machado, C., Silva, J. A., ve Saraiva, C. (2022). Shelf-life determination of an egg-based cake, relating sensory attributes microbiological characteristics and physico-chemical properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(10), 6580-6590.
- Mu, Q., Su, H., Zhou, Q., Xiao, S., Zhu, L., Xu, X., ... ve Hu, H. (2022). Effect of ultrasound on functional properties, flavor characteristics, and storage stability of soybean milk. *Food Chemistry*, 381, 132158. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132158>
- Mudgil, D., ve Mudgil, S. B. (Eds.). (2024). *Unit Operations in Food Processing*. Scientific Publishers.
- Munekata, P. E., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Mallikarjunan, K., ... ve 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), 288. <https://doi.org/10.3390/foods9030288>
- Muzaffar, K., ve Kumar, P. (2015). Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technology*, 279, 179-184.
- Muzaffar, K., ve Kumar, P. (2016). Comparative efficiency of maltodextrin and protein in the production of spray-dried tamarind pulp powder. *Drying Technology*, 34(7), 802-809.
- Mwaurah, P. W., Setlhoka, M. D., ve Malik, T. (2022). Refractance Window Drying: Principles and Applications. *Thermal Food Engineering Operations*, 237-260. <https://doi.org/10.1002/9781119776437.ch9>
- Najman, K., Ponikowska, P., Sadowska, A., Hallmann, E., Wasiak-Zys, G., Świdorski, F., ve Buczak, K. (2024). Physicochemical properties and nutritional relevance of rice beverages available on the market. *Applied Sciences*, 14(19), 9150.
- Nielsen, S. S. (2017). Moisture content determination. In *Food analysis laboratory manual* (pp. 105-115). Cham: Springer International Publishing.
- Nielsen, S. S. (2024). Total carbohydrate by phenol-sulfuric acid method. In *Nielsen's Food Analysis Laboratory Manual* (pp. 147-151). Cham: Springer International Publishing.
- Nindo, C. I., ve Tang, J. (2007). Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying technology*, 25(1), 37-48. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>
- Nindo, C., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., ve Powers, J. R. (2003). Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *LWT-Food Science and Technology*, 36(5), 507-516.
- Nowak, D., ve Jakubczyk, E. (2020). The freeze-drying of foods—The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*, 9(10), 1488. <https://doi.org/10.3390/foods9101488>

- Oetjen, G. W., ve Haseley, P. (2004). *Freeze-drying*. John Wiley & Sons.
- Ogunwolu, S. O., Henshaw, F. O., Mock, H. P., Santos, A., ve Awonorin, S. O. (2009). Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut. *Food chemistry*, 115(3), 852-858. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.011>
- Olçay, N. (2019). *Farklı teknikler ile kurutulmuş kamkat meyvesinin, bisküvi ve kek üretiminde kullanım imkânları*(Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- Osthoﬀ, G., Hugo, A., Van Wyk, P., De Wit, M., ve Meyer, S. (2010). Characterization of a spray-dried soymilk powder and changes observed during storage. *Food science and technology international*, 16(2), 169-178. <https://doi.org/10.1177/108201320935323>
- Pathare, P. B., Opara, U. L., ve 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.
- Paul, R. T., ve Krishna Jha, K. J. (2008). Optimization of stabilizer and emulsifier requirement for production of soy ice cream by response surface analysis.
- Pérez-Rodríguez, M. L., Serrano-Carretero, A., García-Herrera, P., Cámara-Hurtado, M., ve Sánchez-Mata, M. C. (2023). Plant-based beverages as milk alternatives? Nutritional and functional approach through food labelling. *Food Research International*, 173, 113244.
- Rahmati, N. F., ve 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>
- Rathna Priya, T. S., Eliazer Nelson, A. R. L., Ravichandran, K., ve Antony, U. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: a review. *Journal of Ethnic Foods*, 6(1), 1-11.
- Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of food engineering*, 49(4), 311-319.
- Reyes-Jurado, F., Soto-Reyes, N., Dávila-Rodríguez, M., Lorenzo-Leal, A. C., Jiménez-Munguía, M. T., Mani-López, E., ve López-Malo, A. (2023). Plant-based milk alternatives: Types, processes, benefits, and characteristics. *Food Reviews International*, 39(4), 2320-2351. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1952421>
- Roland, I. S., Le, T. T., Chen, T., Aguilera-Toro, M., Nielsen, S. D. H., Larsen, L. B., ve Poulsen, N. A. (2024). Storage stability of plant-based drinks related to proteolysis and generation of free amino acids. *Foods*, 13(3), 367. <https://doi.org/10.3390/foods13030367>
- Rosell, C. M., Collar, C., ve Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21(3), 452-462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.05.004>

- Ruchita Dwivedi, R. D., Akash Pare, A. P., ve Sivashankari, M. (2014). Effect of processing parameters of spray-drying on quality of soymilk powder.
- Santos, V. C. S., Souza, R. L. D., Figueiredo, R. T., ve Alsina, O. L. S. D. (2022). A review on refractance window drying process of fruits and vegetables: its integration with renewable energies. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021153. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15321>
- Sejersen, M. T., Salomonsen, T., Ipsen, R., Clark, R., Rolin, C., ve Engelsen, S. B. (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>
- Sethi, S., Tyagi, S. K., ve 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.
- Shende, D., ve Datta, A. K. (2020). Optimization study for refractance window drying process of Langra variety mango. *Journal of food science and technology*, 57(2), 683-692.
- Shishir, M. R. I., ve Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in food science & technology*, 65, 49-67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>
- Silva, B. Q., ve Smetana, S. (2022). Review on milk substitutes from an environmental and nutritional point of view. *Applied Food Research*, 2(1), 100105. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100105>
- Silva, N. C., Freitas, L. V., Silva, T. C., Duarte, C. R., ve Barrozo, M. A. (2023). Use of Refractance window drying as an alternative method for processing the microalga spirulina platensis. *Molecules*, 28(2), 720. <https://doi.org/10.3390/molecules28020720>
- Sim, S. Y. J., Srv, A., Chiang, J. H., ve Henry, C. J. (2021). Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*, 10(8), 1967. <https://doi.org/10.3390/foods10081967>
- Singh, P., ve Krishnaswamy, K. (2023). The influence of flavoring components on the physicochemical properties of spray-dried high oleic (HO) and tofu line (TL) soymilk powder. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3, 1070453.
- Sohail, M., Rakha, A., Butt, M. S., Iqbal, M. J., ve Rashid, S. (2017). Rice bran nutraceuticals: A comprehensive review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(17), 3771-3780.
- Sotelo-Lara, D. M., Amador-Espejo, G. G., Álvarez-Araiza, D. F., Cordero-Rivera, A. K., Millán-Quintero, K. G., Campos-Vega, R., ve Velázquez-Estrada, R. M. (2024). Ultrasound and Thermosonication as Promising Technologies for Processing Plant-Based Beverages: A Review. *Food Technology and Biotechnology*, 62(4), 538-552.
- Stone, H., Bleibaum, R. N., ve Thomas, H. A. (2020). *Sensory evaluation practices*. Academic press.

- Sulistyaningtyas, A. R., Lunggani, A. T., ve Kusdiyantini, E. (2019, June). Kefir produced from red rice milk by *Lactobacillus bulgaricus* and *candida kefir* starter. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 292, No. 1, p. 012038). IOP Publishing
- SV, R., Shameena Beegum, P. P., Pandiselvam, R., Manikantan, M. R., ve Hebbar, K. B. (2022). Plant-based milk alternatives: Nutritional potential and challenges. In *Conceptualizing plant-based nutrition: Bioresources, nutrients repertoire and bioavailability* (pp. 91-106). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Tang, J., Wichers, H. J., ve Hettinga, K. A. (2024). Comprehensive evaluation of plant proteins as potential dairy substitutes in infant formula: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 148, 104528. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i3.587-602.5462>
- Teunou, E., Fitzpatrick, J. J., ve Synnott, E. C. (1999). Characterisation 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)
- Thuy, N. M., Banyavongsa, A., ve Tai, N. V. (2020). The effect of homogenization and sterilization on the stability and nutritional evaluation of vietnamese purple rice milk supplemented with sesame, soybean and water caltrop. *Food Research*, 4(6), 2289-2295.
- Tomasik, P. (2003). *Chemical and functional properties of food saccharides*. CRC press.
- Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., ve 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, İ., Kasimoglu, Z., Asik, S., Atbakan, T., ve Topuz, A. (2018). Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1253-1259. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.135>
- Turabi, E., Sumnu, G., ve Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food hydrocolloids*, 22(2), 305-312..
- Vagadia, B. H., Vanga, S. K., Singh, A., Garipey, Y., ve Raghavan, V. (2018). Comparison of conventional and microwave treatment on soymilk for inactivation of trypsin inhibitors and in vitro protein digestibility. *Foods*, 7(1), 6.
- Wang, S., Niu, L., Zhou, B., Peng, Y., Yang, X., Shen, Y., ve Li, S. (2022). Drying methods affect physicochemical and functional characteristics of *Clanis Bilineata* Tingtauca Mell protein. *Frontiers in nutrition*, 9, 1053422. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1053422>
- Wang, Y., Liu, C., Lang, H., Hu, Z., Wang, X., Yang, Z., ... ve Jiang, L. (2023). Effects of microwave on the structural and emulsifying properties and interfacial properties

- of oxidized soybean protein aggregates. *Food Chemistry: X*, 19, 100861. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100861>
- Wu, J., Chen, S., ve Van der Meeren, P. (2024). Heat Stability Assessment of Milk: A Review of Traditional and Innovative Methods. *Foods*, 13(14), 2236.
- Yang, J., Mocking-Bode, H. C., van den Hoek, I. A., Theunissen, M., Voudouris, P., Meinders, M. B., ve Sagis, L. M. (2022). The impact of heating and freeze or spray drying on the interface and foam stabilising properties of pea protein extracts: Explained by aggregation and protein composition. *Food Hydrocolloids*, 133, 107913 <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107913>
- Yürekli, B. (2021). Elma posasının lifsel kaynak olarak muffin keklerde kullanım olanaklarının araştırılması.
- Zhang, L., Wang, X., Hu, Y., Fakayode, O. A., Ma, H., Zhou, C., ... ve Li, Q. (2021). Dual-frequency multi-angle ultrasonic processing technology and its real-time monitoring on physicochemical properties of raw soymilk and soybean protein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80, 105803. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105803>
- Zhang, Z., Regenstein, J. M., Zhou, P., ve Yang, Y. (2017). Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and water in myofibrillar protein gel. *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 960-967. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.08.008>
- Zhao, H., Shen, C., Wu, Z., Zhang, Z., ve Xu, C. (2020). Comparison of wheat, soybean, rice, and pea protein properties for effective applications in food products. *Journal of food biochemistry*, 44(4), e13157. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13157>
- Zhong, Y., Liu, W., Xu, X., Liu, C., ve Tu, Z. (2014). Correlation analysis between color parameters and sensory characteristics of rice with different milling degrees. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4), 1890-1897. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12161>
- Zhu, Y., Lao, F., Pan, X., ve Wu, J. (2022). Food protein-derived antioxidant peptides: Molecular mechanism, stability and bioavailability. *Biomolecules*, 12(11), 1622. <https://doi.org/10.3390/biom12111622>
- Zor, M., Bulut, M., Karagöz, S. G., Çetintaş, Y., ve Alwazeer, D. (2024). Use of Hydrogen-Rich water in rice milk preparation improves the nutritional and sensory properties of product. *Food Chemistry*, 437, 137821. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137821>